

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS

Avaliações e Diretrizes  
para Adaptação



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
Ciência, Tecnologia e Inovação



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS





# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS

Avaliações e Diretrizes  
para Adaptação

**República Federativa do Brasil**

Michel Temer

Presidente da República Interino

**Ministério do Meio Ambiente (MMA)**

José Sarney Filho

Ministro

**Agência Nacional de Águas (ANA)**

Diretoria Colegiada

Vicente Andreu Guillo (Diretor-Presidente)

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Gisela Damm Forattini

Ney Maranhão

**Gerência Geral de Estratégia (GGES)**

Bruno Pagnoccheschi

**Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)**

Presidência

Mariano Francisco Laplane (Presidente)

**Diretoria**

Marcio de Miranda Santos (Diretor Executivo)

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Gerson Gomes

José Messias de Souza



# **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS**

Avaliações e Diretrizes  
para Adaptação

© 2016, Agência Nacional de Águas (ANA);  
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B, L, M e T.  
CEP 70.610-200, Brasília, DF PABX: 61 2109.5400  
www.ana.gov.br

#### **Comitê de Editoração**

João Gilberto Lotufo Conejo  
*Diretor*

Reginaldo Pereira Miguel  
*Representante da Procuradoria Geral*

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares  
Joaquim Guedes Correa Gondim Filho  
*Superintendentes*

Mayui Vieira Guimarães Scafura  
*Secretária-Executiva*

#### **Agência Nacional de Águas (ANA)**

Coordenação, Acompanhamento e Elaboração  
Gerência Geral de Estratégia

#### **Coordenação Geral**

Bruno Pagnoccheschi  
Alexandre Resende Tofeti  
Ana Paula Fioreze

#### **Equipe técnica de apoio**

Adalberto Meller  
Alessandra Maria Ramos  
Brandina de Amorim  
Bruna Craveiro de Sá e Mendonça  
Flávio Hadler Troger  
Marcelo Pires da Costa  
Márcio Tavares Nóbrega  
Osman Fernandes da Silva  
Pedro Cunha  
Saulo Aires de Souza  
Simone Vendruscolo

#### **Centro de Gestão e Estudo Estratégicos (CGEE)**

##### **Equipe Técnica**

Antonio Rocha Magalhães  
Carmem Silvia Corrêa Bueno  
José Roberto de Lima

##### **Consultores**

Arisvaldo Vieira Mello Junior  
Carlos E. M. Tucci  
Dirceu Silveira Reis Júnior  
Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins  
Francisco Lobato da Costa  
Francisco de Assis Souza Filho  
Gabriela Litre  
Joaquim Ignacio Bonnacarrère Garcia  
Paulo R. Haddad  
Rubem La Laina Porto  
Stéphanie Nasuti

##### **Outros colaboradores**

Antonio Calazans Reis Miranda

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

#### **Catálogo na fonte: CEDOC/Biblioteca**

A265m      Agência Nacional de Águas (Brasil).  
Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes  
para adaptação / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, GGES,  
2016  
93 p. : il.  
ISBN: 978-85-8210-033-2  
1. Mudanças Climáticas 2. Recursos Hídricos – Gestão I. Título.

CDU 551.583:556

# SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CENÁRIOS E IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>17</b>
IMPACTOS GLOBAIS	17
IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS	19
DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	21
<b>A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS FACE AOS DESAFIOS IMPOSTOS PELA MUDANÇA DO CLIMA</b>	<b>25</b>
AVALIAÇÃO e GESTÃO DO RISCO	27
VULNERABILIDADE	29
<b>GOVERNANÇA DOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>31</b>
<b>INSTRUMENTOS DE GESTÃO</b>	<b>35</b>
OS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS	35
O ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA	35
OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA	36
COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA	37
SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS	38
INSTRUMENTOS COMPLEMENTARES PARA A GESTÃO	39
GERAÇÃO, SISTEMATIZAÇÃO E DISPONIBILIZAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS	39
(I) Pesquisa e desenvolvimento em clima e recursos hídricos	40
(II) Séries hidrológicas históricas	40
(III) Disponibilização dos dados hidrológicos	40
(IV) Análise das séries e projeções por bioma	41
(V) Escala geográfica: a questão das pequenas bacias	41
(VI) Monitoramento sistemático e sistemas observacionais	41
<b>O PAPEL DA COMUNICAÇÃO</b>	<b>45</b>
<b>SETORES USUÁRIOS E POTENCIAIS IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NOS USOS DA ÁGUA</b>	<b>47</b>
ABASTECIMENTO URBANO	47
IRRIGAÇÃO	48
ENERGIA	48
INDÚSTRIA	49
QUALIDADE DA ÁGUA E MEIO AMBIENTE	49
GESTÃO DE CONFLITOS ENTRE SETORES USUÁRIOS	50
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>
Anexo A - Impactos de Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos	60
Anexo B - Adaptação do Planejamento e da Operação dos Recursos Hídricos à Variabilidade e Mudanças Climáticas na Bacia Estendida do São Francisco	63
Anexo C - OUTORGA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	69
Anexo D - Aplicação de metodologia custo/benefício ( <i>Economics of Climate Adaptation</i> )	77





# LISTA DE BOXES

Box 1 - Variabilidade e Mudança Climática

Box 2 - Vulnerabilidade, um conjunto de três atributos: exposição, sensibilidade e adaptação

Box 3 - Conceitos de riscos

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação média anual do ciclo da água

Figura 2 - Síntese das mudanças do clima em regiões representativas da América Latina

Figura 3 - Método dos sete passos para avaliação de impactos

Figura 4 - Cascata de incerteza na produção de cenários

Figura 5 - Fontes de incerteza nas projeções climáticas em função do prazo de execução

Figura 6 - Estratégias de planejamento

Figura 7 - Estrutura do prognóstico para gestão dos recursos hídricos

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenários do IPCC (SRES, 2000)

Tabela 2 - Sumário dos Caminhos de Concentração Representativos



# SIGLAS E ABREVIACÕES

ANA	Agência Nacional de Águas
AR4, 5	<i>Assessment Report</i>
CCCII	Centro de Clima Canadense
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CIM	Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project</i>
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CTI	Ciência, Tecnologia e Inovação
ENSO	<i>El Niño Southern Oscillation</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	Gases de Efeito Estufa
Gex	Grupo Executivo
GRH	Gerenciamento dos Recursos Hídricos
GCM	Modelos Globais Climáticos
GT-Adaptação	Grupo de Trabalho sobre Adaptação
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPH	Instituto de Pesquisa Hidrológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
MCG	Modelos de Circulação Geral
MCR	Modelos de Circulação Regional
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
PNA	Plano Nacional de Adaptação
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SAE	Secretaria de Assuntos Estratégicos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SMCQ	Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental - MMA
SREX	<i>Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation</i>
SRHU	Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano - MMA
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente



# APRESENTAÇÃO

Em 2009 foi instituída a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei 12.187/2009. Essa política oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa até 2020.

A governança da PNMC cabe ao Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) e seu Grupo Executivo (GEx), instituídos pelo Decreto presidencial nº 6.263/2007. Os instrumentos para sua execução são, entre outros: o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e a Comunicação do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima foi apresentado oficialmente em dezembro de 2008 e tem o objetivo de incentivar o desenvolvimento e o aprimoramento de ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, bem como objetiva a criação de condições internas para lidar com os impactos das mudanças climáticas globais (adaptação). As metas estabelecidas no Plano dizem respeito à redução de emissões.

O decreto 7.390 de 2010 previu a realização de planos setoriais de mitigação e adaptação, com a inclusão de ações, indicadores e metas específicas de redução de emissões e mecanismos para a verificação do seu cumprimento. Ainda segundo o referido decreto, além de conter uma estratégia de mitigação, os planos setoriais também deveriam incluir ações de adaptação, como iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima. A formulação dos planos setoriais ajudou a constituir a base para a revisão do Plano Nacional de Mudanças Climáticas.

A iniciativa de construção de um Plano Nacional de Adaptação surgiu durante o processo de revisão do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), conduzidas no segundo semestre de 2012, em que houve consenso entre os diversos interlocutores sobre a necessidade de constituir uma agenda de adaptação que: a) identificasse as principais lacunas existentes; b) mapeasse as vulnerabilidades; c) integrasse as ações existentes; e d) adotasse escalas de tempo e espaço apropriadas na

identificação dos impactos e das vulnerabilidades e na implementação de ações.

A partir dessas discussões foi criado, no âmbito do trabalho do GEX, o Grupo de Trabalho sobre Adaptação (GT-Adaptação), com o objetivo de desenvolver subsídios técnicos para a elaboração de um Plano Nacional de Adaptação. O GT-Adaptação é coordenado conjuntamente pelos Ministérios do Meio Ambiente (MMA) e da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Fazem parte do GT todos os órgãos com representação no GEx e órgãos convidados que trabalhem com a agenda de adaptação à mudança do clima no governo federal.

Logo no início dos trabalhos do GT-Adaptação, em 2013, a partir de tratativas entre SMCQ/MMA e ANA, foi estruturada a rede temática da água, denominada de Rede Água, em apoio ao processo de construção do Plano Nacional de Adaptação. Tal opção foi feita por se tratar de temática com debates e documentos que tratam de adaptação às mudanças climáticas em estágio mais avançado.

A Rede Água tinha como composição as seguintes instituições: MME; Agência Nacional de Águas; MMA - SRHU; Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo (Rosa Mancini); IPH - Rio Grande do Sul (Professor Dr. Walter Collischonn); Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME (Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins); Universidade Federal do Ceará - UFCE (Professor Dr. Francisco de Assis Souza Filho); Embrapa (Fernando Antônio Macena da Silva); MCTI - INPE; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN (Javier Tomasella); Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA (Adalberto Luis Val); UnB (Rede Mudança Global do Clima e Sociedade - Clim) (Eduardo Viola); Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) - Presidência da República. O papel da Rede Água era trazer aporte técnico-científico para a elaboração do Plano de Adaptação às Mudanças Climática para Recursos Hídricos.

A iniciativa de construção de um Plano Nacional de Adaptação à Mudança Climática, além da articulação entre diferentes instituições ao redor de um tema de

interesse comum, criou uma oportunidade única para avaliar o estado de preparação do sistema de gestão dos recursos hídricos no Brasil, assim como identificar as principais lacunas a serem preenchidas e as medidas adaptativas a serem tomadas face à aceleração das mudanças ambientais e socioeconômicas. Assim, este documento apresenta o resultado do esforço de repensar a problemática da gestão de recursos hídricos sob a perspectiva das mudanças climáticas.

No presente documento procurou-se resistir à adoção dos complexos exercícios de adaptação e *downscaling* de modelos climatológicos disponibilizados pelo IPCC e à correspondente transformação de seus resultados em variáveis hidrológicas, em especial precipitação e vazão. Essa opção não surgiu de uma constatação de que esse exercício não é importante. Pelo contrário. É fundamental. No entanto, os modelos disponíveis, tanto aqueles do IPCC como os de regionalização do âmbito de cada país ainda carecem de aperfeiçoamentos que permitam diminuir a incerteza de seus resultados.

Outro aspecto que contribuiu para que o presente documento se afastasse dos exercícios de adaptação e *downscaling* diz respeito à magnitude e diversidade física e climática do país. Provavelmente nenhum dos modelos climáticos disponíveis no âmbito do IPCC individualmente responderia de maneira adequada às diferentes características de um país de mais de 8 milhões de quilômetros quadrados. Como se verá no desenvolvimento deste documento, o ideal para fins de transformação das variáveis climatológicas em variáveis hidrológicas seria trabalhar no nível de bacia ou região hidrográfica. Nessa perspectiva, um único modelo certamente não atenderia às características das séries históricas do país e, conseqüentemente, pouco ajudaria nas simulações de situações futuras.

Via de regra, até o momento, a representação em números dos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos carrega divergências e mesmo contradições que dificultam sua aceitação, aumentam o risco envolvido e reduzem a credibilidade das medidas de adaptação construídas a partir desse tipo de análise. Isso não descarta a relevância de buscarem-se esses resultados e o aperfeiçoamento de técnicas e modelos para refinamento das projeções futuras.

Nesse contexto, optou-se por considerar as tendências apontadas pelo relatório do IPCC, intitulado Fifth Assessment Report (AR5), suficientes para uma reflexão

sobre as políticas públicas afetas aos recursos hídricos brasileiros. Ao longo do texto, são apresentadas as linhas gerais do referido relatório, em que se destaca o mapa de tendências para a América do Sul, que demonstra claramente que há enormes chances de virmos a enfrentar um novo patamar hidrológico, caracterizado pela desconstrução do fenômeno da estacionariedade.

Durante décadas, e até hoje, a hidrologia foi considerada predominantemente pautada pela estacionariedade das séries de vazão, com raras exceções. Significa dizer que é aceito o conceito de variabilidade dos eventos hidrológicos como oscilações em torno de uma média fixa, tão precisa quanto mais extensas forem as séries de observações. A grande novidade trazida pelos crescentes conhecimentos que se acumularam ao longo das últimas décadas veio abalar esse conceito. Ao se considerar as mudanças climáticas como elementos de transformação de mais longo prazo, fica evidente que séries hidrológicas assumem tendências crescentes ou decrescentes, até então não consideradas.

Dessa forma, ao evitar tentativas de precisar numericamente as previsões obtidas por meio dos modelos atualmente disponíveis – o que poderia conduzir a discussão a resultados controversos e afetar a viabilidade da implementação de medidas de adaptação – foi possível tratar o conjunto de premissas, critérios, instrumentos e regulamentos que regem a utilização dos recursos hídricos de forma mais abrangente, permitindo avaliações robustas no rumo das precauções necessárias ao exercício de uma gestão eficiente desses recursos.

Essas considerações fizeram com que as avaliações que compõem o presente relatório ganhassem contornos mais próximos dos problemas enfrentados atualmente pelos usuários de recursos hídricos, permitindo que se vislumbrassem alternativas para o enfrentamento das incertezas climáticas futuras. Esse exercício, por sua vez, permitiu constatar que há, sim, espaço para aperfeiçoamentos concretos no atual Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, no rumo da preparação para o enfrentamento das incertezas climáticas que se desenham para o futuro.

O documento ora apresentado trata de um conjunto pragmático de informações, reflexões, constatações, sugestões e alternativas relativas às mudanças climáticas e seus impactos nos recursos hídricos para fornecer alguns elementos e diretrizes de atuação que subsidiem a tomada de decisão no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento

de Recursos Hídricos - SINGREH - e orientem a adoção de medidas de adaptação dos setores correlatos.

Sua construção se deu a partir de parceria com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), celebrada com a finalidade específica de produzir embasamentos ao tema recursos hídricos no Plano Nacional de Adaptação. Para tanto, foram contratados sete especialistas em diversas áreas que se envolveram, ao longo de 2014, produzindo um grande volume de estudos e orientações nas suas áreas de especialidade, em debate direto com as equipes da ANA e do CGEE. Este documento procura sintetizar a informação produzida de maneira a torná-la acessível e orientativo.

O presente documento encontra-se dividido em três partes: (i) Cenários e impactos sobre os recursos hídricos; (ii) Gestão dos recursos hídricos face aos desafios impostos pela mudança do clima; e (iii) Setores usuários

e potenciais impactos da mudança do clima nos usos da água. As diretrizes propostas para adaptação da gestão dos recursos hídricos aos impactos decorrentes das mudanças climáticas encontram-se descritas ao longo do texto e compiladas ao final do documento.

Por fim, quatro anexos procuram ilustrar alguns dos principais aspectos desenvolvidos no documento, por meio de informações e aplicações de metodologias de estudos e avaliação relativas aos seguintes conteúdos específicos: a) informações adicionais acerca do *Assessment Report* AR5; b) resumo da aplicação da metodologia de identificação de *downscaling* de modelos do IPCC na bacia estendida do rio São Francisco; c) outorga e mudanças climáticas; e d) resumo da aplicação de metodologia custo/benefício para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.





# INTRODUÇÃO

Embora de natureza ambiental, as mudanças climáticas constituem um problema complexo, com consequências em todas as esferas da existência. Elas produzem impactos sobre – ou são impactadas por – questões globais, tais como pobreza, desenvolvimento econômico, crescimento populacional, desenvolvimento sustentável e gestão de recursos. Dessa forma, as respostas aos seus impactos exigem coordenação e alto nível de articulação.

A água é um dos meios pelo qual primeiro e mais fortemente a população deverá perceber os efeitos da mudança do clima, considerando as prováveis alterações nos padrões de precipitação e no escoamento dos rios. Nesse sentido, as populações mais pobres são as mais vulneráveis, pois se encontram, já atualmente, em condições de maior exposição à escassez hídrica, quer por questões geográficas, quer pela ausência de saneamento.

O ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação. Com o aquecimento global da atmosfera, esperam-se, entre outras consequências, mudanças nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade da precipitação), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios, quer negativamente, quer positivamente. Em resumo: além de alterações nas disponibilidades médias, os eventos hidrológicos críticos, secas e enchentes, poderão tornar-se mais frequentes.

Os estudos já desenvolvidos para aplicação dos modelos de previsão de vazões das bacias hidrográficas brasileiras ante os cenários de mudança do clima apresentam resultados bastante divergentes entre si. Entretanto, algumas tendências coincidentes podem ser verificadas. Todos apontam na direção da ocorrência de alterações no regime de escoamento, mas é difícil determinar a taxa e a magnitude desses efeitos.

Uma decorrência importante da variabilidade natural do clima ou da mudança climática é a possível aquisição de

não estacionariedade pelas séries hidrológicas, que afeta a gestão dos recursos hídricos, além do planejamento e da operação da infraestrutura hídrica para atendimento aos usos múltiplos, já que seu dimensionamento é realizado com base na premissa de que as estatísticas das séries observadas são representativas do futuro.

Soma-se a isso a constatação de que, embora nenhuma região esteja livre das mudanças do clima, as suas consequências terão maiores impactos em países em desenvolvimento devido a sua exposição geográfica, falta de recursos para enfrentar emergências, baixa renda da população e maior dependência econômica de atividades sensíveis às mudanças, como a agricultura e a pecuária.

Fato é que elevados índices de pobreza e baixos níveis de desenvolvimento humano limitam a capacidade das famílias de lidar com os efeitos da mudança climática. Ao contrário, a promoção de um desenvolvimento com bases sustentáveis e o aumento da qualidade de vida das comunidades são fatores que contribuem para a construção de resiliência às alterações advindas da mudança do clima.

Todos esses aspectos trazem um elevado grau de incerteza na definição das ações a serem tomadas face aos impactos decorrentes da mudança do clima. A despeito dessas incertezas, é preciso adaptar-se aos impactos esperados, ocasionados quer pela variabilidade natural do clima, quer pelas mudanças climáticas, a fim de minimizá-los.

Nesse sentido, urge que governos e sociedade iniciem um processo de adaptação aos potenciais impactos relacionados às mudanças climáticas. Será preciso uma mudança de cultura institucional e de atitude por parte dos mais variados atores para que perdas humanas e materiais sejam minimizadas no futuro próximo e longo.



# MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CENÁRIOS E IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

## IMPACTOS GLOBAIS

O IPCC (2001) define a mudança climática como “as mudanças de clima no tempo devido à variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas (ações antrópicas)”. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), por sua vez, adota para o mesmo termo a definição de “mudanças associadas direta ou indiretamente à atividade humana que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período”. Essas definições refletem a dificuldade existente de separar o efeito das atividades humanas sobre a variabilidade climática natural.

O clima apresenta variabilidade temporal e espacial decorrentes de processos na atmosfera, no solo e em sua cobertura, nos oceanos e devido à radiação solar. Os processos envolvidos não são lineares e fortemente interligados, dificultando a sua estimativa. A observação das variáveis climáticas obtidas por meios indiretos (glaciologia e dendrohidrologia) e relatos históricos mostram que o clima pode explicar parte do desenvolvimento humano no globo. Civilizações tiveram sua sustentabilidade impactada devido a períodos anômalos do clima e alterações do uso do solo.

A variabilidade mais conhecida é a sazonal, que representa a variação dentro do ano em função da rotação da Terra ao redor do Sol. Há também a variabilidade interanual e a interdecadal. A primeira caracteriza a frequente variação das condições climáticas entre anos,

já a variação interdecadal, que pode englobar períodos como um século, é aquela responsável por alterar as condições de sustentabilidade de uma sociedade devido a períodos climáticos longos acima ou abaixo da média, causando impactos sobre as condições de vida no globo.

A evolução nas condições de vida da civilização acelerou o crescimento demográfico no globo, causando pressão significativa sobre a demanda de recursos naturais e alterando as condições ambientais. No século passado foi identificado que uma dessas pressões é o aumento do efeito estufa, resultando em alteração climática de forma diferenciada em distintas regiões do planeta e aumento da temperatura média do globo.

Nas últimas décadas observou-se um importante aumento da temperatura média do globo (principalmente depois dos anos 80). Desde 2001, os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apresentam resultados de modelos climáticos globais justificando que esses aumentos são ligados às consequências da intensificação do efeito estufa. Nesse período foram colhidas evidências do aumento da temperatura e sua relação com o aumento das taxas de emissões e das concentrações de gases na atmosfera. Os estudos apresentados pelo IPCC de previsão e avaliação de cenários climáticos se basearam em evidências observadas e no uso dos chamados Modelos Climáticos Globais (GCM, na sigla em inglês) que, em geral, carregam incertezas devido às suas condições iniciais e às suas próprias estruturas. Dessa forma, para buscar tendências e

considerar as incertezas, são utilizadas várias condições iniciais e vários modelos nos estudos.

No desenvolvimento dos cenários de mudanças climáticas, o IPCC considerou que, devido à tendência do desenvolvimento econômico, as emissões ainda vão crescer e alguns cenários foram selecionados para prever as condições do clima no final do século (2100). Na tabela 1 são apresentados os principais cenários usados pelo IPCC, desde 2000.

**Tabela 1** - Cenários do IPCC

Cenário	Descrição
A1	Um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, onde a população global atingiria um pico em meados do século e declinaria em seguida, e com a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes.
A2	Um mundo muito heterogêneo, com aumento contínuo da população mundial, crescimento econômico regionalizado. Nesse cenário, esses fenômenos são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros.
B1	Um mundo convergente com a mesma população global do que em A1, mas com mudanças rápidas nas estruturas econômicas, em direção a uma economia de serviços e informações, com reduções na intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes.
B2	Um mundo em que a ênfase é sobre soluções locais para alcançar sustentabilidade econômica, social e ambiental, com a população em crescimento contínuo (mas inferior a A2) e com um desenvolvimento econômico intermediário.

Fonte: SRES, 2000

Deve-se ressaltar que, para o Relatório de Avaliação 5 (AR5), o IPCC (2013) mudou de abordagem e passou de uma tipologia baseada em cenários de emissões (*cenários do Special Report on Emission Scenarios - SRES*) para os cenários das forçantes radiativas (*Representative Concentration Pathways - RCPs*). A partir das suposições relativas ao desenvolvimento socioeconômico, os modelos desenvolvidos no contexto do AR5 (IPCC, 2013) adotaram caminhos socioeconômicos compartilhados (*Shared Socio-economic Pathways - SSPs*; KRIEGLER et al., 2010) junto às simulações climáticas. O objetivo é gerar caminhos integrados úteis para a avaliação de estratégias de mitigação, de opções de adaptação e de impactos residuais.

**Tabela 2** - Sumário dos Caminhos de Concentração Representativos RCPs

Cenário	Descrição
RCP 8,5	Caminho crescente da força radioativa atingindo 8,5 W/m <sup>2</sup> em 2100
RCP 6,0	Estabilização em 6 W/m <sup>2</sup> após 2100
RCP 4,5	Estabilização em 4,5 W/m <sup>2</sup> após 2100
RCP 3,0 PD2	Pico na forçante radiativa em ~ 3 W / m <sup>2</sup> antes de 2100 e declínio

Fonte: MOSS et al., 2008

Isso posto, no estado atual do conhecimento, embora haja inúmeras controvérsias, riscos e incertezas sobre as futuras mudanças climáticas, há algumas importantes conclusões derivadas de estudos científicos que merecem destaque:

- As concentrações atuais de CO<sub>2</sub> excedem, em muito, os níveis observados pelo menos nos últimos 650.000 anos.
- A melhor estimativa do aumento da temperatura global de 1900 a 2100 está entre 1,8°C e 4,0°C, dependendo do cenário considerado.
- O intervalo das estimativas da elevação do nível do mar está entre 60 centímetros e 1,8 metros dependendo do cenário, mas excluídos os efeitos das grandes camadas de gelo.
- No fim do século XXI, espera-se que o Oceano Ártico fique amplamente livre de gelo durante o verão, isso podendo ocorrer até antes.
- Espera-se que a intensidade de furacões e tempestades venha a aumentar.
- As crescentes concentrações de CO<sub>2</sub> levarão diretamente à acidificação dos oceanos.

Por conseguinte, há hoje um amplo consenso de que a temperatura aumentará em todo o século XXI, sobretudo nos últimos trinta anos. Essa convergência de resultados, entretanto, não se aplica aos cenários climáticos de precipitação, o que fica mais evidente nas escalas regional e local.

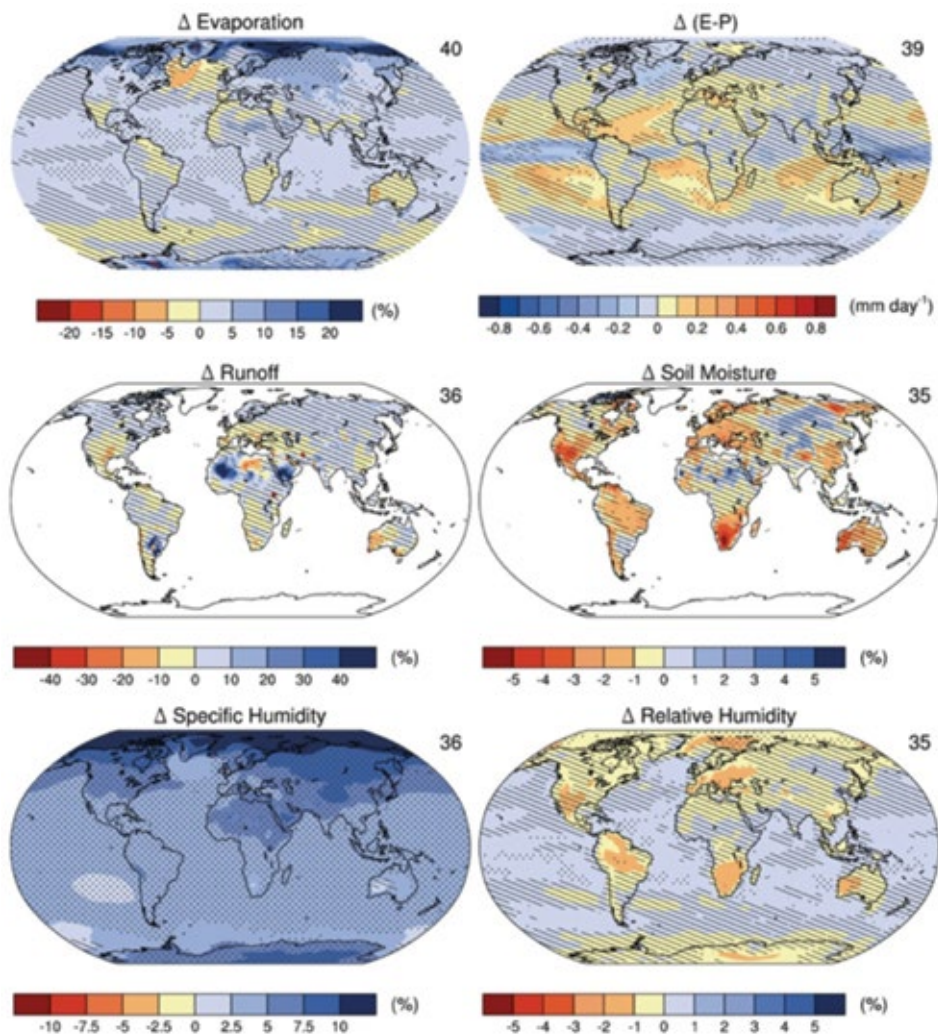
## IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

O relatório do IPCC (2013) fornece uma visão geral dos impactos projetados sobre os recursos hídricos de diferentes regiões do globo. A Figura 1 apresenta as mudanças projetadas para período 2016-2035, a partir da evolução das médias anuais de seis variáveis hidrometeorológicas, obtidas entre 1986 e 2005, considerando o cenário RCP 4,5: evaporação (%); diferença entre evaporação e precipitação (mm/dia); escoamento (%); umidade do solo (%); umidade relativa (%); umidade específica (%).

As médias anuais de umidade do solo apresentam reduções na maioria das regiões subtropicais (exceto na bacia do rio da Prata, na América do Sul) e na Europa Central,

e aumentam nas regiões de latitudes médias do hemisfério norte. Para a África Austral, a Região Amazônica e a Europa, as mudanças projetadas são mais intensas do que a variabilidade climática natural estimada. Em termos de escoamento, as projeções mostram reduções no norte da África, no oeste da Austrália, no sul da Europa e no sudoeste dos Estados Unidos, enquanto aumentos maiores do que a variabilidade climática natural são previstos para os Estados Unidos, noroeste da África, sul da Arábia e o sudeste da América do Sul, conforme as projeções para a precipitação. Devido à simplificação dos modelos hidrológicos do CMIP5, as projeções de umidade do solo e do escoamento apresentam grandes incertezas.

Figura 1 - Variação média anual do ciclo da água (RCP 4.5: 2016-2035)



Fonte: IPCC 2013, AR5, capítulo 14



O conhecimento já disponível permite ao IPCC afirmar, no seu último *Assessment Report* (AR5, IPCC 2013), que ocorrerão mudanças no ciclo hidrológico em função da evolução dos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade), que poderão afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios.

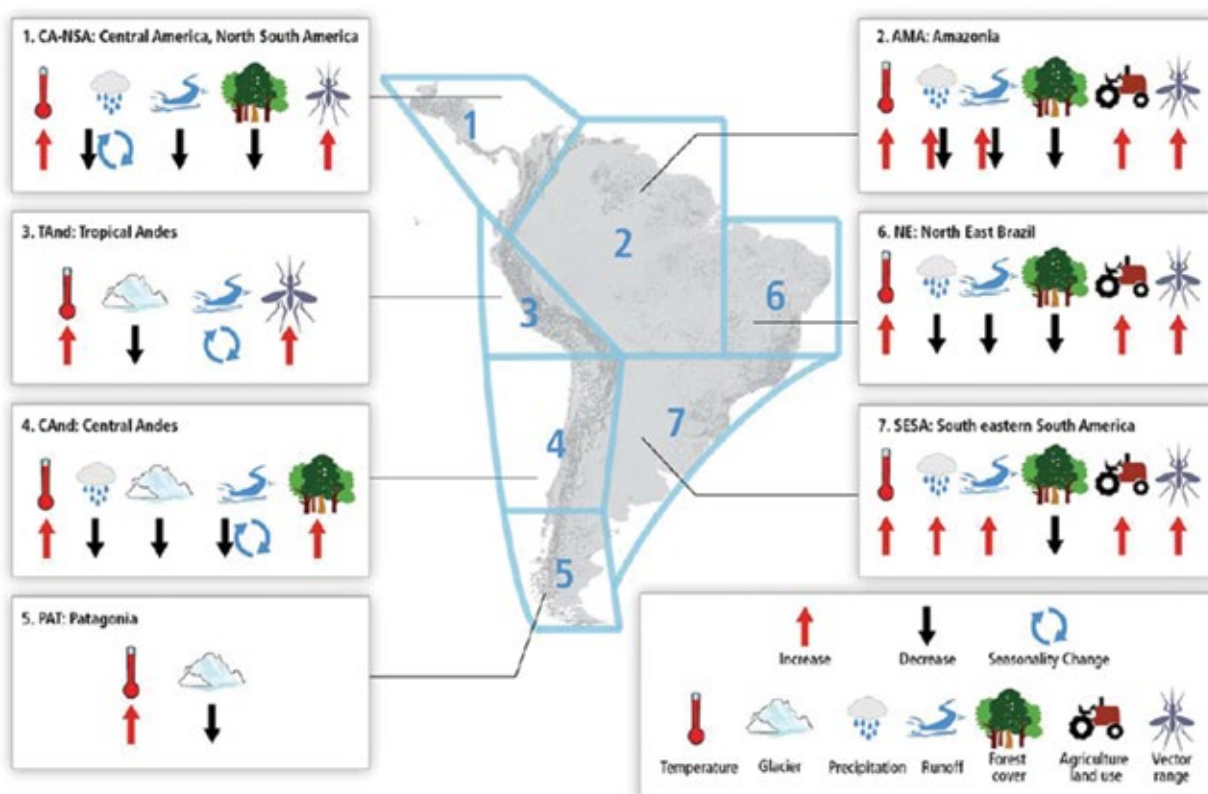
De forma geral, verifica-se que as simulações realizadas na escala das bacias hidrográficas (NÓBREGA et al., 2011; TOMASELLA et al., 2009; CAMPOS e NÉRIS, 2009; MEDEIROS, 2003) concordam com os estudos em nível global (MILLY et al., 2005; UK MET OFFICE, 2005) e nacional (SALATI et al., 2008) no que diz respeito ao sinal da mudança da precipitação.

Com base nos estudos de possíveis impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos em escala global, as projeções indicam que o Brasil deve sofrer efeitos

diferentes de acordo com a região. Os principais impactos identificados nas regiões brasileiras indicam uma potencial intensificação das condições de aridez no centro da região Nordeste, assim como no sul da Amazônia, que passaria de clima tropical úmido para um clima tropical subúmido. Ainda, há relativo consenso em torno de aumentos da precipitação e do escoamento na região sul do país. Para o Sudeste e centro do país, os estudos não chegaram a tendências convergentes para precipitação.

A Figura 2, oriunda do relatório AR5 do IPCC (2013), apresenta os principais impactos das mudanças climáticas previstos para regiões da América Latina e do Caribe. Observa-se que, para o Brasil, são identificadas três regiões: a região 2, que engloba a Região Norte e Centro-Oeste do Brasil; a região 6 que engloba o Nordeste; e a região 7, que engloba partes do Sudeste, Centro-Oeste e Sul.

**Figura 2** - Síntese das mudanças observadas no clima e em outros fatores ambientais em regiões representativas\* da América Central e do Sul



\* os limites usados são conceituais e não fazem referência a limites políticos ou geográficos.

Fonte: IPCC 2013, AR5

Além dos efeitos sobre as águas superficiais, a mudança climática deverá afetar as taxas de recarga de águas subterrâneas, ou seja, os recursos de águas subterrâneas renováveis e os níveis dos aquíferos. Tem havido pouca pesquisa sobre esses impactos e sobre os efeitos na relação entre as águas superficiais e aquíferos, que são hidráulicamente conectados (KUNDZEWICZ et al., 2007). Um estudo realizado, por exemplo, estima que as águas subterrâneas no Nordeste do Brasil devem ter uma redução na recarga em 70% até 2050 (DOLL & FLORKE, 2005). No Sistema Aquífero Guarani, quase 70% dos cenários climáticos geraram variações dos níveis freáticos abaixo daqueles medidos no monitoramento entre 2004 e 2011 (MELO, 2013).

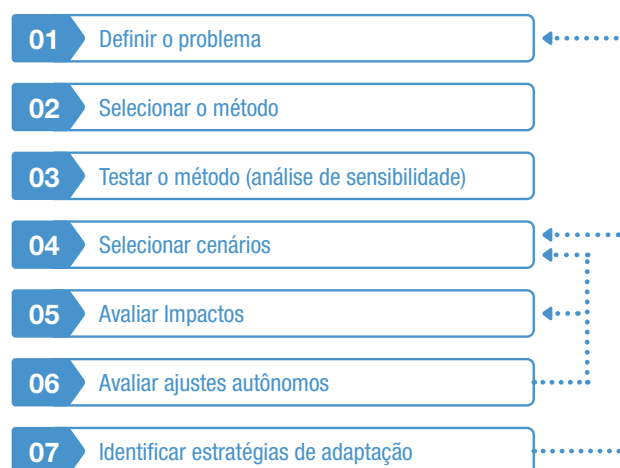
Em resumo, quanto à disponibilidade de recursos hídricos, as projeções devem levar em consideração a evolução das variáveis naturais, mas também a evolução das condições socioeconômicas que, em geral, respondem por outros estímulos e modelos. As alterações no ciclo hidrológico de uma região são relacionadas a diversos fatores, tais como a própria variabilidade do clima, mudanças causadas por fenômenos naturais ou antrópicos, mas também com fatores não climáticos, como alterações na cobertura e uso do solo (SANDERSON et al., 2002), alterações na recarga de aquíferos, mudança no regime de vazões causada pela construção de barragens e alteração no uso da água, todas amplamente dependentes do sistema humano, cujo comportamento está relacionado ao desenvolvimento econômico, crescimento populacional e à adoção de soluções de gestão dos recursos hídricos.

Entretanto, esses modelos possuem dificuldades em simular adequadamente sistemas hídricos em processo de mudança, o que limita, de certa forma, seu uso em estudos de adaptação. Isso se deve ao fato de esses modelos não serem capazes de reproduzir adequadamente a interação que existe entre os sistemas natural e humano. Torna-se hoje imprescindível aprofundar o estudo dos impactos cruzados dos sistemas naturais e sociais (MONTANARI et al., 2013).

## DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Existe uma vasta literatura sobre metodologias para avaliação de impactos das mudanças do clima, que, na sua grande maioria, responde pela mesma abordagem. Essa abordagem foi examinada rigorosamente pelo IPCC e pode ser caracterizada de Abordagem IPCC. O seu objetivo é avaliar impactos de mudanças climáticas em certos cenários e identificar a necessidade de adaptação, no intuito de reduzir qualquer vulnerabilidade decorrente dos riscos climáticos. Basicamente, essa abordagem apresenta sete passos (CARTER et al., 2007; IPCC, 2001), conforme Figura 3 a seguir.

**Figura 3** - Método dos sete passos para avaliação de impactos

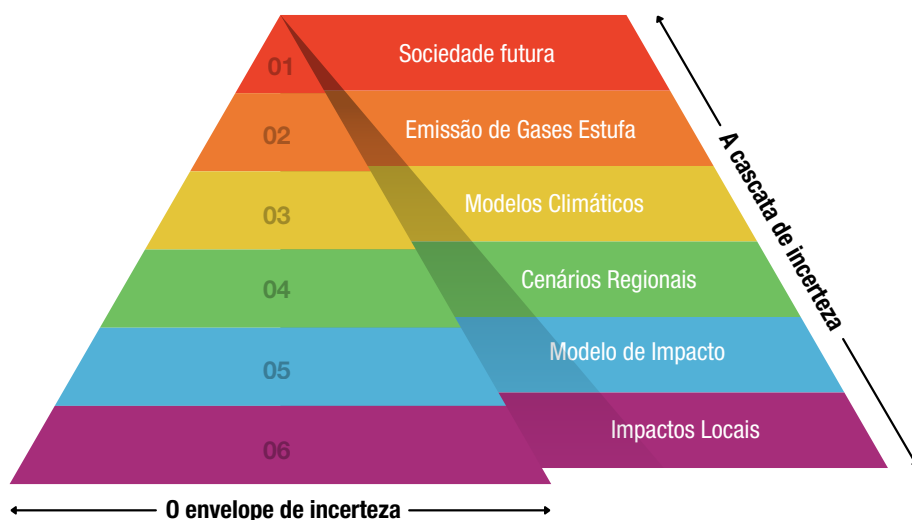


\* As setas de retorno indicam que os passos podem ser repetidos

Fonte: CARTER et al., 1994; IPCC, 2001; PARRY e CARTER, 1998

Essa abordagem é também conhecida na literatura inglesa como abordagem *top-down*, pois a informação vai, em sequência, de um nível a outro, com os cenários de emissão, modelo climático, método de regionalização, modelo de impactos e assim por diante, percorrendo todos os níveis, conforme apresentado na Figura 3. Embora tal abordagem seja a mais amplamente empregada pela comunidade científica, identificam-se poucos exemplos de decisões ligadas à adaptação planejada ou antecipada que usam esse caminho (WILBY e DESSAI, 2010). Isso pode ser explicado pela cascata de incerteza que se desenvolve, conforme apresentado pela Figura 4. A amplitude, ou envelope, de incerteza se expande ao passarmos de

**Figura 4** - Cascata de incerteza na produção de cenários



um nível a outro, chegando ao último nível (nível local ou regional) que, de tão amplo, pode não ajudar muito no planejamento de longo prazo.

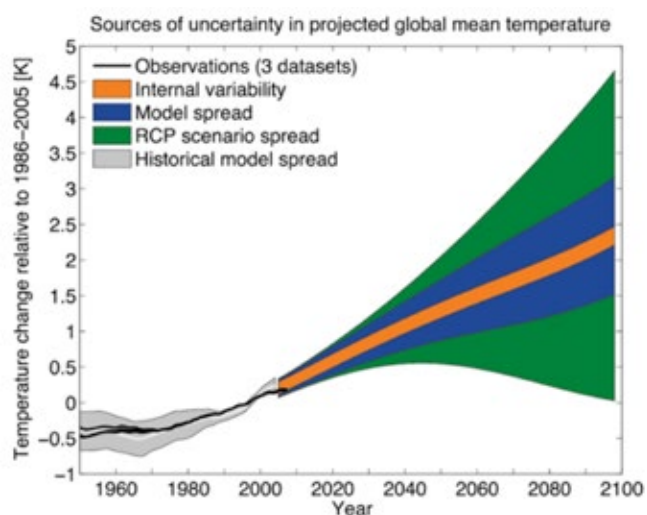
Uma cascata de incerteza provém de diferentes percursos socioeconômicos e demográficos, traduzidos em concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera (GEE). A partir daí, os modelos climáticos geram resultados globais e regionais, que então são refletidos em impactos locais sobre os sistemas naturais e humanos. O aumento do número de triângulos em cada nível simboliza o crescente número de permutações e, conseqüentemente, a expansão do envelope de incerteza. Por exemplo, mesmo os modelos hidrológicos relativamente confiáveis podem produzir resultados muito diferentes, dependendo dos métodos (e dados observados) utilizados para a sua calibração (WILBY e DESSAI, 2010).

Como ilustra a Figura 5, a produção de cenários climáticos deve lidar com diversas fontes de incerteza, às quais ainda é preciso somar a variabilidade climática natural e a escala temporal e geográfica do modelo:

- Incerteza sobre emissões.
- Incerteza sobre as concentrações atmosféricas e sumidouros.
- Incerteza sobre o forçamento de outros gases.

- Incerteza de modelo.
- Incerteza do parâmetro e da forma funcional.
- Prazo e escala.

**Figura 5** - Fontes de incerteza nas projeções climáticas em função do prazo de execução (baseado nos resultados CMIP5)



Fonte: IPCC, 2013 (capítulo II)

A produção de cenários climáticos não permite que a adaptação do sistema de gestão dos recursos hídricos no contexto das mudanças climáticas esteja livre da



incerteza. Além das fontes de incertezas relacionadas ao desenvolvimento de cenários, há que se levar em consideração as incertezas inerentes à variabilidade natural na gestão de recursos hídricos. De acordo com SIMONOVIC (2009), a incerteza na gestão de recursos hídricos se apresenta de duas formas: incerteza inerente à variabilidade hidrológica (que sempre existiu) e a incerteza causada pela falta de conhecimento do dado, ou seja, a incerteza ligada à ausência de projeções seguras sobre o comportamento dos recursos hídricos. Nesse contexto, a noção de incerteza inclui tanto o conhecimento incompleto

sobre os acontecimentos futuros quanto à variabilidade dos parâmetros que influenciam o ciclo hidrológico.

Assumir que persiste uma porção de incerteza, entretanto, não significa não saber o suficiente para agir. Em relação à redução da incerteza envolvida, o que pode ser feito são previsões com base nos melhores dados disponíveis, quantificar as incertezas associadas a essas previsões e identificar as frentes de ação em que é possível reduzi-las. Por outro lado, ao agir, os tomadores de decisão devem lembrar-se do princípio da precaução e da existência do custo de não agir, ou o custo de inação.



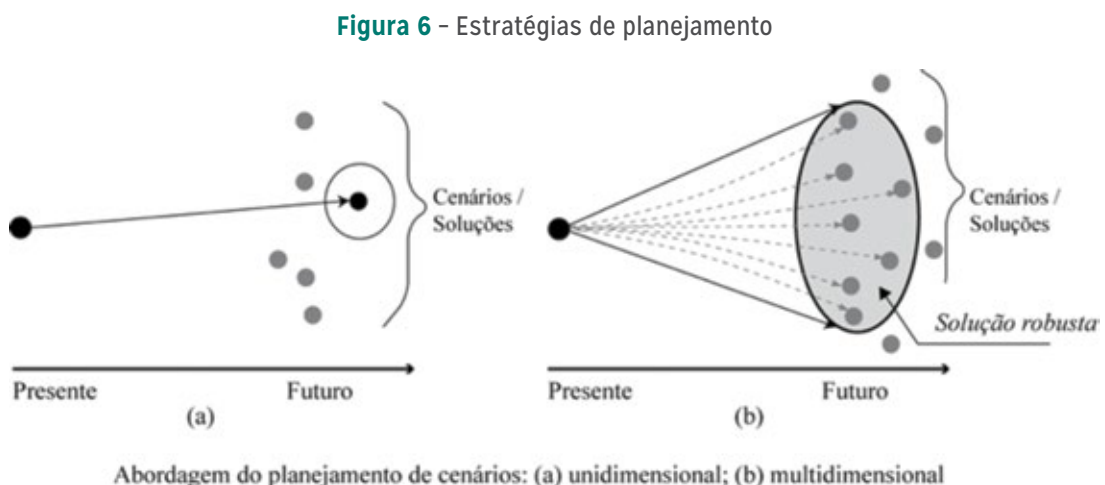
# A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS FACE AOS DESAFIOS IMPOSTOS PELA MUDANÇA DO CLIMA

As incertezas associadas às disponibilidades hídricas estabelecem uma utilização conservadora dos estoques de água disponíveis, impondo uma relativa redução na quantidade de água alocada. Dessa forma, para atenuar os impactos da variabilidade nos sistemas hídricos, são necessárias medidas de adaptação e ajustes dos instrumentos e práticas de gestão de recursos hídricos a essa realidade.

Nesse ambiente de complexidade e incerteza, a gestão adaptativa coloca-se como alternativa para orientar a ação. A previsão e o controle são substituídos pela cenarização prospectiva e pela adaptação, respectivamente. A prospectiva estratégica (GODET, 1991; 2012) e o planejamento baseado em cenários (VAN DER HEIJDEN, 2005) colocam-se como instrumentos necessários para a construção de

possibilidades de futuro esperado. A adaptação proativa pressupõe a definição de uma estratégia robusta, sendo a robustez entendida como a capacidade do sistema perseverar nos diversos futuros alternativos factíveis. A resiliência do sistema, entendida como a capacidade do sistema de recursos hídricos de manter suas funções e operações nos diversos futuros alternativos (HOLLING, 1972), é propriedade essencial da robustez.

A lógica de uma estratégia robusta baseia-se na definição de um conjunto de cenário factíveis ou alvos. Os conceitos de cenário-alvo e de estratégia robusta são ilustrados na Figura 6. Diante de múltiplos cenários factíveis, almeja-se identificar um conjunto de medidas que garantam a operação do sistema, ou seja, um cenário robusto.



Fonte: Adaptado de ASSIS, 2014

Apesar da multiplicidade de cenários possíveis para o futuro e das incertezas associadas à mensuração das grandezas dos impactos da mudança do clima, algumas tendências regionais parecem encontrar consenso na comunidade científica e podem sinalizar a preparação necessária para o futuro, reduzindo a amplitude de alternativas de cenários-alvo nessas regiões.

A gestão adaptativa, então, é uma forma de se tratar com as incertezas e suas propriedades: (i) imprevisibilidade do desenvolvimento, (ii) conhecimento incompleto, (iii) perspectivas de conflitos e (iv) dimensões das mudanças. Para os recursos hídricos, a gestão adaptativa passa pelo processo sistemático de melhoria da política e práticas por meio do aprendizado dos resultados de estratégias de gestão implementadas, levando em conta mudanças em fatores externos, entre eles, os impactos da mudança do clima sobre a disponibilidade hídrica (PALM-WORSTL, 2005, 2007).

Diante das incertezas envolvidas na mensuração dos impactos da mudança climática sobre o regime hídrico, da escassez de recursos financeiros e da existência de áreas atualmente deficitárias na implementação da gestão dos recursos hídricos, desenha-se mais apropriada a adoção de medidas de adaptação “sem arrependimento” (*no regrets*), que são aquelas dirigidas à solução de problemas associados à variabilidade climática existente enquanto, ao mesmo tempo, aumentam a resiliência aos possíveis impactos da mudança climática. Ou seja, enfrentando-se os problemas atuais, aumentar-se-á a capacidade da sociedade e da economia de lidar com as alterações esperadas. Os benefícios das medidas “sem arrependimento” serão percebidos independentemente do grau de mudança climática. Por esse motivo, podem ser iniciadas mesmo sem previsões precisas e definitivas.

As medidas “sem arrependimento” refletem, portanto, o aumento da resiliência dos sistemas hídricos. De forma geral, a resiliência da gestão de recursos hídricos é influenciada pela disponibilidade hídrica, pelo sistema institucional e pela demanda (CYSNE, 2012).

**Quadro 1** – Fatores que influenciam a resiliência da gestão de recursos hídricos

Fatores que influenciam a gestão de recursos hídricos	Exemplos de medidas que garantem aumento da resiliência
Disponibilidade hídrica	Existência de reservatórios, transposição de bacias, fontes de suprimentos alternativos, como dessalinização ou reúso, aprimoramento do sistema de operação dos reservatórios em curto prazo incorporando previsão climática e aprimoramento das ferramentas de operação dos reservatórios em longo prazo, incorporando as incertezas oriundas da variabilidade climática, do uso e ocupação do solo, do assoreamento e da poluição dos reservatórios.
Sistema institucional	Capacitação das instituições e de pessoal, existência de mecanismos de resolução de conflito e flexibilidade das instituições.
Demanda	Gestão da demanda, gestão de conflitos, utilização de informações de previsão climática e gestão de eventos extremos (gestão de riscos).

De maneira geral, percebe-se que haverá benefícios na adoção de medidas que confirmam flexibilidade e robustez ao sistema de gerenciamento dos recursos hídricos e aos setores usuários da água. Além da adoção desses princípios, a gestão adaptativa passa também pela gestão do risco, permitindo às instituições e aos processos moldarem-se às condições em mudança, respondendo de maneira adequada às novas condições que se avizinham.

## AVALIAÇÃO E GESTÃO DO RISCO

A gestão do risco é o processo que visa reduzir os danos decorrentes de um evento de determinada magnitude. Trata-se de uma abordagem sistêmica para identificar, avaliar e controlar o risco e priorizar ações. Saber como os sistemas de recursos hídricos passam por situações de estresse ou excesso hídrico sem grandes prejuízos aos usuários e à população é uma condição imprescindível no contexto de mudança climática. A correta avaliação do risco é um ponto importante para que se alcance a segurança hídrica (PORTO e PORTO, 2014).

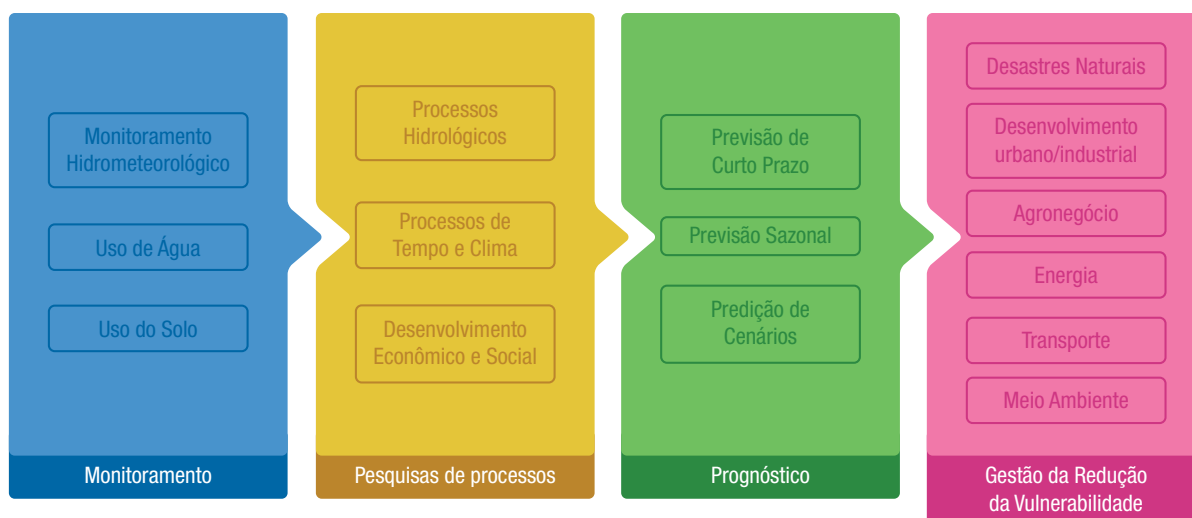
Três fatores devem ser considerados na avaliação do risco de eventos extremos:

- Probabilidade de ocorrência.
- Dano causado.
- Exposição ao evento.

Nesse processo deverão ser incluídas as diferentes naturezas do risco a fim de aplicar-se uma estratégia adequada para cada situação. Por exemplo, quando o risco é financeiro, é necessário o desenvolvimento de uma estratégia para retê-lo, neutralizá-lo e transferi-lo. O risco sendo natural, é preciso isolá-lo, reduzi-lo ou eliminá-lo, prevenir e proteger, além de comunicá-lo à sociedade.

A Figura 7 abaixo apresenta uma das maneiras de se tratar de modo adequado à gestão dos riscos hidrológicos a título de ilustração.

**Figura 7** - Estrutura do prognóstico para gestão de risco dos recursos hídricos



A gestão de risco exige flexibilidade e capacidade de adaptação dos sistemas jurídico-institucionais, que deverão ser capazes de administrar os eventos extremos e as incertezas associadas à variabilidade climática e às mudanças na sociedade e na economia. Para isso, são medidas a serem adotadas ou propriedades a serem adquiridas ou reforçadas em um ambiente de crescente incerteza:

- Analisar a vulnerabilidade do sistema a partir de ações estruturais e não estruturais dos sistemas hídricos, como os modelos legais, institucionais e técnicos e os procedimentos econômicos, considerando as mudanças e a variabilidade climática.
- Flexibilidade e capacidade de adaptação a ser alcançada por meio de ações estruturais e não estruturais. Como exemplo dos processos que estão associados à flexibilidade citam-se:
  - a) Um sistema flexível de alocação de água que preveja formas ágeis de realocação em anos secos.
  - b) Um sistema de oferta hídrica que disponha de mananciais e sistemas alternativos (tais como, reúso e dessalinização).
  - c) Boa capacidade de transporte espacial da água disponível (infraestrutura adequada).
- Gestão da oferta (infraestrutura hidráulica e transposições de bacias): o aumento da capacidade de armazenamento de água por meio do transporte da água no tempo mitigará os efeitos da variabilidade temporal. Para mitigar os efeitos da variabilidade espacial, pode-se fazer transposições de bacias. Outras ações para a gestão da oferta são: fontes de suprimento alternativo (reúso da água e dessalinização, por exemplo); aprimorar os sistemas de operação de curto prazo de reservatórios incorporando previsão climática; e aprimorar as ferramentas de operação de longo prazo de reservatório com vistas a incorporar as incertezas oriundas da variabilidade e mudança climática.
- Gestão da demanda e adaptação institucional são medidas essenciais para garantir o aumento da resiliência do sistema diante das incertezas e da variabilidade climática. Para isso sugerem-se as seguintes linhas de atuação:

- a) Cadastro de usuários de água (fundamental para a realização dos programas de direito da água, hidrometração e cobrança).
  - b) Programa de hidrometração dos maiores e mais importantes usuários da bacia hidrográfica.
  - c) Regulação dos usos em bacias críticas, com a elaboração de um modelo de alocação e a definição de regras claras de alocação, e emissão dos devidos títulos aos usuários com direito a uso.
  - d) Programa de cobrança de água bruta, com o objetivo de racionalizar o uso por meio de uma valoração econômica para água.
  - e) Programa de educação e desenvolvimento tecnológico, com difusão e desenvolvimento de tecnologias (estruturais ou não estruturais) de uso racional da água.
- Construção de cenários futuros para o planejamento de longo prazo que incorporem as incertezas na projeção de disponibilidade e demandas futuras provenientes das mudanças do clima e da modelagem do comportamento dos diversos atores econômicos e sociais que definem a demanda.
  - Elaboração de planos de contingência para seca e inundação associados ao planejamento de longo prazo e, continuamente atualizados, pois orientarão as ações em momentos de eventos extremos e deverão preparar as condições que mitiguem os impactos provenientes da sua ocorrência.
  - Aprimoramento dos modelos de previsão climática para geração de informação e utilização no acoplamento de modelos hidrológicos a fim de avaliar os impactos sobre os recursos hídricos, setores usuários e na economia.
  - Devem ser realizadas trocas de conhecimentos entre as instituições de gestão da água objetivando a atualização do conhecimento sobre mudança e variabilidade climática.

O aumento da resiliência será consequência da redução dos fatores que contribuem para elevar o risco e pode ser alcançada por três maneiras: planejamento, preparação e redundância. Na fase de planejamento decide-se a

probabilidade de falha desejada. Se a sensibilidade da população é baixa, podem ser admitidas falhas maiores, mas se a sensibilidade é alta, não se devem admitir riscos muito grandes. É usual recomendar, por exemplo, falhas inferiores a 5% para sistemas de abastecimento doméstico de água e períodos de retorno de cem anos para sistemas de macrodrenagem em áreas urbanas densamente ocupadas. No entanto, duas preocupações devem ser consideradas: sérias hidrológicas tem se mostrado não estacionárias, ou seja, com médias e desvios padrão inconstantes, como consequência de processos de mudança climática; outra questão é o custo elevado das obras quando se deseja reduzir muito o risco de falha. Dessa forma, é razoável pensar que o planejamento deve conter certo grau de flexibilidade e permitir adaptação. Na prática, isso pode ser feito planejando-se soluções que possam incluir os demais fatores de aumento de resiliência.

A preparação visa definir, com antecedência, as ações a serem tomadas durante a ocorrência das falhas. Uma parte importante desse processo são os sistemas de monitoramento, previsão e alerta, úteis para antecipar a necessidade da tomada de decisão e a aplicação das medidas que visem reduzir os danos. Tais medidas devem constar de planos de contingência, que têm por finalidade organizar previamente as ações a serem tomadas para suplantarem a crise com o menor impacto possível. Esses planos formam um conjunto completo que engloba desde a definição de níveis de alerta até o arranjo institucional necessário para a tomada de decisão.

A redundância caracteriza-se por ações que, quando tomadas, buscam aumentar a segurança e a reduzir as falhas. A redundância pode ser obtida, por exemplo, por meio de um armazenamento que regularize uma vazão maior que a necessária para que o sistema trabalhe com folga, evitando que ele fique constantemente estressado, muito próximo do risco de falha.

## VULNERABILIDADE

A vulnerabilidade figura como um conceito multidimensional, utilizado em diferentes pesquisas de distintos campos do conhecimento científico, como nas áreas das ciências da saúde e sociais. De acordo com o IPCC, a vulnerabilidade é o grau pelo qual um sistema é suscetível ou capaz de enfrentar efeitos adversos da mudança climática, incluindo a variabilidade e os extremos de clima.

Influenciam na vulnerabilidade o grau de exposição, a sensibilidade e a capacidade de adaptação do sistema.

A exposição provém de uma perturbação no sistema, de origem externa a ele. A sensibilidade, por sua vez, engloba as características internas que tornam o sistema mais ou menos suscetível a um determinado estímulo. Trata-se da propensão do sistema em ser afetado e impactado, sofrer danos ou perdas quando exposto a um distúrbio.

Já a capacidade de adaptação refere-se a qualquer processo ou ação realizados pelo sistema com o objetivo de lidar com as novas condições. A capacidade adaptativa é determinada pelas condições ambientais, sociais, políticas e econômicas que englobam a ação dos indivíduos ou dos grupos em uma escala maior. Ressalta-se que as adaptações são constantes e normais, pois os sistemas nunca são estáticos e as condições normais são oscilações moderadas em relação às condições ideais.

De forma geral, indivíduos e populações com baixa capacidade de resposta são mais vulneráveis aos impactos da variabilidade e da mudança do clima. A capacidade de resposta está diretamente relacionada às condições de vida: local e situação de moradia, condições sanitárias e ambientais e níveis de informação, entre outros fatores, podem determinar a forma pela qual as comunidades irão responder aos impactos da mudança do clima.

A variabilidade natural do clima e a ocorrência de eventos extremos, como secas e inundações, afetam fortemente as comunidades mais vulneráveis, que possuem dificuldade para voltar ao estado de normalidade, não sendo capazes de lidar com esses riscos.

Em anos recentes, a escassez de água na região Sudeste demonstrou claramente que as populações mais vulneráveis são aquelas que mais sentiram os impactos do desabastecimento. Nesse sentido, há que se desenvolver mecanismos que obriguem as concessionárias outorgadas a implementarem planos de contingência priorizando essas populações mais vulneráveis ou investimentos mínimos para essas populações. Da mesma maneira, os municípios devem prever planos de contingência para atender às populações rurais mais vulneráveis.

Investimentos em infraestrutura física podem, em alguns casos, reduzir a severidade e a frequência dos danos causados. Entretanto, estratégias baseadas em mecanismos financeiros, geralmente mais baratas, como esquemas de seguro e contratos de opção (Dischel, 2002), podem

contribuir na redução do risco, e têm sido estudados em diferentes aplicações na área de recursos hídricos (Ramos e Garrido, 2004; Characklis et al., 2006; Brown e Carriquiry, 2007; Kalil et al., 2007; Sankarasubramanian et al., 2009; Cheng et al., 2011; Steinschneider e Brown, 2012). Embora esses mecanismos não sejam capazes aumentar o volume de água armazenado, e tampouco transferir água no tempo, como no caso de reservatórios, eles permitem o compartilhamento dos prejuízos entre os diversos usuários em momentos de escassez (Brown e Carriquiry, 2006) e podem ser vistos como instrumento fundamental numa gestão adaptativa da água em que tanto as regras de operação de reservatórios quanto os próprios contratos de longo prazo de alocação possam ser alterados ou substituídos durante momentos de escassez (Sankarasubramanian et al., 2009; Steinschneider e Brown, 2012).

Em tese, contratos de opção e esquemas de seguro, como dito anteriormente, podem ser empregados de forma conjunta para reduzir os impactos da variabilidade climática natural na gestão dos recursos hídricos. Contratos de opção são celebrados entre dois usuários ou entre setores de usuários de água. Há aquele que está interessado em reduzir o risco de não ter água suficiente no futuro, e que paga inicialmente pelo direito de exercer a opção de compra de um determinado volume de água no futuro, caso seja necessário, e há aquele usuário

que está disposto a abrir mão do seu direito de utilizar um dado volume de água, desde que seja devidamente compensado por isso. Tanto o preço da água quanto o volume a ser transferido são previamente estabelecidos no contrato de opção. Mecanismos como esse têm sido utilizados como alternativa de gestão de demanda por recursos hídricos e podem apresentar-se como alternativa de adaptação de baixo arrependimento em situações específicas de contexto legal, institucional, socioeconômico e hidrológico de uma dada região.

Embora já existam exemplos de aplicação exitosa dessa estratégia de adaptação (Brown e Carriquiry, 2007), no Brasil ela ainda encontra-se incipiente. No Estado do Ceará, outra estratégia inovadora, mais adequada ao sistema legal brasileiro, foi estudada e aplicada ao atual processo de alocação negociada de água. Essa experiência de alocação faz uso conjunto da previsão sazonal probabilística de vazões, que reflete as incertezas da oferta de água num futuro próximo (alguns meses), e de um mecanismo de contrato de curto prazo, que permite que ocorra a transferência temporária de direito de uso da água entre usuários, mediante pagamento para compensar aqueles que abrem mão de utilizar o recurso naquele ano ou estação (Sankarasubramanian et al., 2009). Essa é uma maneira interessante de acomodar a oferta e a demanda de água em momentos de escassez no processo de gestão da água.



# GOVERNANÇA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Segundo o Banco Mundial, em seu documento *Governance and Development*, de 1992, a definição geral de governança é “o exercício da autoridade, controle, administração, poder de governo”. Em outras palavras, “é a maneira pela qual o poder é exercido na administração dos recursos sociais e econômicos de um país visando ao desenvolvimento”, implicando ainda “a capacidade dos governos de planejar, formular e implementar políticas e cumprir funções”. Não se restringe ao funcionamento do Estado, mas engloba a articulação e os arranjos com entes da sociedade, incluindo-se aí “não apenas os mecanismos tradicionais de agregação e articulação de interesses, tais como os partidos políticos e grupos de pressão, como também redes sociais informais (de fornecedores, famílias, gerentes), hierarquias e associações de diversos tipos” (Santos, 1997, p. 342).

A OCDE conceitua governança da água como o conjunto de regras, práticas e processos por meio dos quais as decisões para a gestão dos recursos hídricos são tomadas e implementadas e os tomadores de decisão são responsabilizados. A governança dos recursos hídricos, independentemente da ocorrência de impactos provenientes de mudanças climáticas, engloba a capacidade dos entes envolvidos de tomar decisões adequadas e oportunas, de garantir seu cumprimento, e de articular-se entre si e com atores externos ao sistema, mas relacionados ao tema.

Diante de incertezas futuras quanto à disponibilidade e demanda de água e da possibilidade de eventos hidrológicos extremos mais frequentes e severos, cresce a importância de contar com capacidades técnicas, planejamento adequado e instrumentos de cooperação entre entidades de diferentes esferas e setores, além de novos arranjos capazes de responder a contento mesmo fora das situações de normalidade.

Isso pode constituir um desafio face à complexidade do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil. Esse sistema baseia-se em uma diversidade de

entes com sobreposições em algumas áreas e espaços vazios em outras. Esse modelo apresenta, por vezes, custos de transação altos, que penalizam a adoção de arranjos mais ágeis e flexíveis. É preciso reconhecer que a capacidade das instituições de adaptar-se a circunstâncias em mudança influencia sobremaneira a eficácia da gestão dos recursos de uso comum. Ademais, ressalta-se que a prescrição legal dificulta a adoção de arranjos mais leves e customizados às realidades diversas como, por exemplo, grupos de decisão customizados ao local e à natureza dos problemas, temporários ou permanentes. A existência de muitas instâncias pode prejudicar a tomada de decisão em tempo hábil.

Essa complexidade do próprio sistema para enfrentar situações críticas e eventos extremos indica que o SINGREH não está completamente pronto para enfrentar os novos desafios impostos pelas mudanças climáticas aos recursos hídricos no Brasil. Trata-se de um problema multidimensional que inclui os seguintes entraves:

- **Dificuldades burocráticas:** as instâncias e atribuições dos entes que compõem o SINGREH constituem um sistema complexo que não consegue tomar decisões tempestivas em situação de crise; trata-se de um arranjo pesado perante um cenário de grande incerteza e de provável maior ocorrência de eventos críticos.
- **Baixo reconhecimento da importância dos instrumentos de gestão e de sua inserção em uma estratégia geral para gerir riscos:** não é suficiente ter um arsenal de instrumentos bem calibrados, é preciso também pensar em uma estratégia geral para interagir na engrenagem do processo decisório, como evitar e como gerir situações de crise.
- **Falta de planos de contingência:** as partes que compõem o SINGREH precisam de maior clareza sobre os procedimentos em casos de crises ou emergências (quais os papéis e os responsáveis pelas decisões e sua implementação), que devem se tornar mais frequentes num cenário de mudanças climáticas.

- **Problemas** para conseguir priorizar a ação e para agir em situações de crise.
- **Entraves nos Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos- SEGREHs:** problemas de capacidade financeira, tecnológica e de recursos humanos.

Dois eixos de atuação principais destacam-se para conferir mais agilidade aos processos de governança dos recursos hídricos: (i) convergir políticas e planejamentos de água e outros setores e (ii) uma efetiva governança nas bacias hidrográficas.

- i) Convergência de políticas e de planejamentos de recursos hídricos e de outros setores:

A sensação generalizada de abundância de água no Brasil não ajuda a envolver plenamente todos os setores e níveis de governo em uma mudança para melhor gestão das crises e dos riscos. Essa percepção tende a obscurecer os verdadeiros problemas de poluição da água, demanda, disponibilidade e conflitos, principalmente para atender às necessidades das grandes áreas metropolitanas e áreas de irrigação em rápido crescimento. As áreas críticas que necessitam atenção são as que envolvem falta de planejamento integrado do uso da terra, ligações insuficientes entre o saneamento e a gestão dos recursos hídricos, bacias com clima e condições hidrológicas desfavoráveis, múltiplos usos conflitantes e excessivos, problemas de poluição, entre outros. A atuação de diferentes setores do governo nesses aspectos dificilmente é coordenada, mas conduzida isoladamente. A integração de políticas públicas permite maximizar os benefícios do investimento governamental e evitar possíveis conflitos.

- ii) A efetiva governança em bacias hidrográficas:

Uma alternativa para promover a necessária articulação para incrementar a coerência e consistência entre políticas é adotar o recorte territorial de bacias hidrográficas, sempre sobreposto com outras diferentes abordagens territoriais. A abordagem de bacias, em escalas adequadas, é essencial para muitas das ações, especialmente para a aplicação dos instrumentos de gestão e de integração de políticas. No entanto, o recorte de bacia hidrográfica dificilmente corresponde às

divisões políticoadministrativas, o que impõem a necessidade de ferramentas para atuação complementar dos entes envolvidos e para definição dos arranjos e responsáveis pela implementação das ações necessárias.

A capacidade de adaptação influencia diretamente a eficácia das instituições no gerenciamento dos recursos de uso comum, tornando necessário conhecer e atuar sobre os processos que permitem a adaptação das instituições às mudanças. Ainda, a dinâmica da sociedade também molda as instituições. A partir dessas premissas, alguns pontos são propostos como requisitos para a obtenção de um sistema de governança de recursos hídricos adaptado a condições em mudança: (i) informação e conhecimento; (ii) gestão de conflitos; (iii) cumprimento de regras; (iv) presença de infraestrutura e (v) aprendizado e adaptação.

A governança em um sistema dinâmico pressupõe, assim, a existência de informações em tempo e em qualidade necessárias para a tomada de decisão. A geração e a disponibilização de informações confiáveis e conhecimento sobre os sistemas naturais e humanos, incorporando as incertezas (existência de cadastros confiáveis e atuais de usuários, utilização de previsão climática, monitoramento, séries hidrológicas longas, entre outros) tornam-se fundamentais nesse processo.

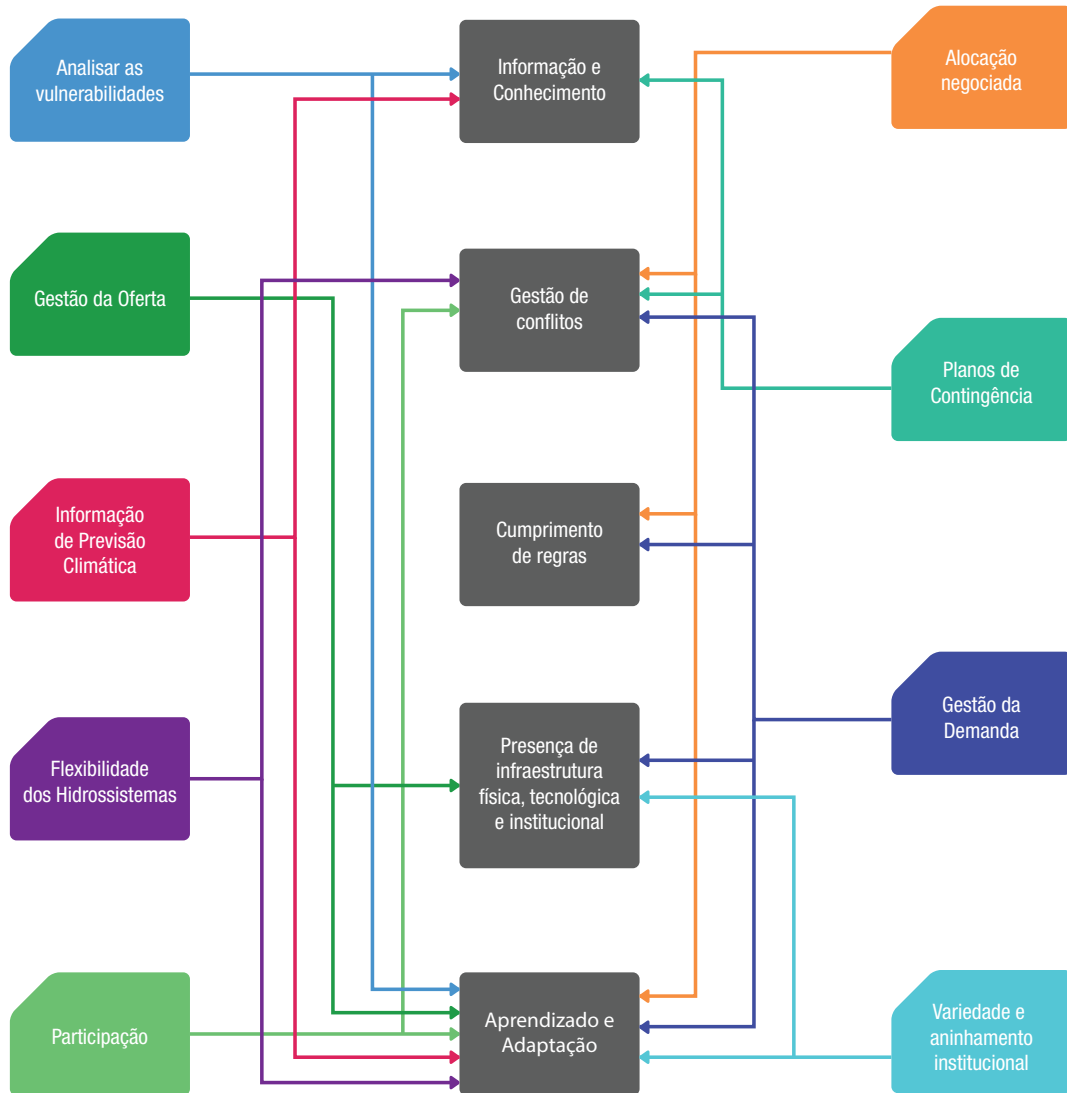
Além disso, é preciso criar ou adaptar mecanismos para resolução de potenciais conflitos. Nesse sentido, é imprescindível a existência de regras bem definidas, coerentes com a realidade local, de amplo conhecimento, e com mecanismos que induzam o seu cumprimento, com sanções compatíveis com as violações.

É necessário, ainda, analisar se as infraestruturas física (reservatórios, canais, adutoras, poços, entre outros), tecnológica (como modelos computacionais, modelos de previsão climática, radares meteorológicos, sensores) e do arcabouço institucional existente (diversidade institucional, participação do usuário, legislação, entre outros fatores) são suficientes para atuar ante os possíveis efeitos da mudança do clima, pois desses elementos depende de como os recursos hídricos serão gerenciados.

Por último, as instituições devem ser concebidas para proporcionar a transformação necessária para lidar com novos problemas e contextos de mudança, em um processo constante de aprendizado e adaptação. Diante do exposto, apresenta-se a interrelação entre os requisitos

de uma governança adaptativa e as características que o sistema de gerenciamento de recursos hídricos deve ter em um cenário de incerteza e mudança (Figura 7).

**Figura 8** - Interrelação entre os requisitos (azul) de uma governança adaptativa e as características do sistema de gerenciamento de recursos hídricos em um cenário de incerteza.



FONTE: modificado de DIETZ et al.(2003)

## Recomendações para maior agilidade nos processos de governança dos recursos hídricos

Essas recomendações partem da premissa de que se deve equacionar os entraves atuais do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, existentes com a variabilidade presente do clima, com flexibilidade para enfrentar aumentos dos extremos e dos conflitos, preparando o sistema para os principais impactos da mudança do clima.

### ***Para aumentar a coerência e a consistência entre políticas de água e de setores relacionados (articulação horizontal):***

- Reforçar a direção governamental, garantindo a articulação necessária para que a água seja levada em consideração nos planos e políticas públicas dos setores relacionados.
- Articular as políticas de água e ambiental.
- Fortalecer a participação dos municípios no SINGREH, dado seu papel-chave no uso e ocupação do solo, gestão de resíduos, licenciamento ambiental local e saneamento.
- Esclarecer conceitos e princípios sobre a legislação de recursos hídricos, notadamente para o trato de eventos críticos, que poderão exigir racionamento, suspensão de outorgas e/ou a realocação de disponibilidades.

### ***Para uma efetiva governança das bacias hidrográficas:***

- Priorizar a atuação por abordagens locais de áreas-problema, com arranjos institucionais compatíveis.
- Aplicar o princípio da subsidiariedade, além de leituras territoriais estratégicas.
- Considerar modelos de gestão mais apropriados para a Amazônia, o Semiárido Brasileiro e o conjunto do Sul, do Sudeste e do Centro-Oeste.
- Ampliar iniciativas voltadas à integração de ações de gestão de recursos hídricos entre os níveis de governo e ao aumento da capacidade dos sistemas estaduais de gestão (especialmente dos órgãos gestores estaduais), por meio, por exemplo, da pactuação de metas e de incentivos.
- Flexibilizar as alternativas para que diferentes instituições possam atuar executivamente na gestão de recursos hídricos, por meio de convênios, contratos de gestão ou parceria público-privada, por exemplo.
- Reduzir o distanciamento entre a função deliberativa das diversas estruturas colegiadas – com pequena capacidade de implementar decisões – e os órgãos gestores de recursos hídricos, aumentando a capacidade de execução do Sistema.
- Garantir transparência e definição de responsabilidades (*accountability*).

# INSTRUMENTOS DE GESTÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Federal 9.433/1997, visa assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, a utilização racional e integrada dos recursos hídricos com vistas ao desenvolvimento sustentável e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais. Os instrumentos previstos na Lei para concretizar esses objetivos são:

- Os Planos de Recursos Hídricos, desenvolvidos para cobrir várias escalas espaciais e temporais.
- O enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água.
- A outorga de direito de uso da água.
- A cobrança pelo uso da água.
- O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

Garantir a aplicação efetiva dos instrumentos de gestão adaptáveis a diferentes condições significa dotar os gestores e tomadores de decisões das ferramentas para responder a um sistema dinâmico, com maior flexibilidade nas suas decisões e ações, melhorando a resiliência do sistema de recursos hídricos frente às mudanças climáticas de longo prazo.

## Os Planos de Recursos Hídricos

Os planos de recursos hídricos têm um importante papel para a efetiva governança em bacias hidrográficas. Os planos são as referências para a governança e devem, portanto, constituir os documentos de base para se buscar o alcance de metas estabelecidas com o envolvimento da sociedade.

Frente às mudanças climáticas, é premente a adoção de planos nos diferentes níveis (bacias, estaduais e nacional) voltados à sua efetiva implementação, para se reduzir as vulnerabilidades e riscos. Para tanto, é

preciso que venham acompanhados de priorização de atuação (sequência e responsáveis) e estejam de acordo com diretrizes mais gerais de desenvolvimento e com estratégias setoriais.

Os Planos de Recursos Hídricos devem procurar sinalizar como as mudanças climáticas vão impactar a disponibilidade hídrica futura, como as demandas poderão ser afetadas e quais as diretrizes de atuação nas novas condições.

A análise de cenários prospectivos, já adotada na elaboração de planos de recursos hídricos, permite planejar a solução de determinados problemas quando existem muitas variáveis e condicionantes incertos que dificultam sua estruturação. Estabelecer os cenários mais prováveis, que incluam impactos esperados da mudança do clima, simplifica e torna mais compreensível o problema.

Uma forma de lidar com os efeitos sobre os recursos hídricos é o desenvolvimento de planos de recursos hídricos específicos de adaptação dos sistemas: os planos de emergência ou de contingência, que deverão estar associados ao planejamento de longo prazo e ser continuamente atualizados, pois orientarão as ações dos diferentes envolvidos em momentos de eventos extremos e prepararão as condições para diminuir os efeitos adversos desses eventos. Em paralelo, deve-se desenvolver um plano de financiamento dos investimentos necessários.

Ademais, reforça-se que as ações de planejamento devem envolver a definição das medidas estruturais e não estruturais, e as responsabilidades relacionadas a elas, e devem conter diretrizes estratégicas de alocação de água que deverão ser aplicadas especialmente a bacias críticas.

## O enquadramento dos corpos d'água

Ainda existem dificuldades na interpretação do principal objetivo do enquadramento dos corpos d'água, que é o planejamento de uma bacia hidrográfica por meio do

estabelecimento de metas de qualidade da água, pactuadas entre os atores da bacia.

As mudanças climáticas podem ser um fator importante de alteração da qualidade da água por afetarem as vazões e alterarem a capacidade de assimilação de poluentes ou aumentarem a poluição difusa.

A adoção de uma vazão de referência única como base para o enquadramento gera uma restrição para o processo de gestão, pois as metas de qualidade são geralmente baseadas em vazões de referência extremamente restritivas, o que onera as medidas necessárias ao seu alcance. Além disso, a adoção de uma vazão de referência única como base para a tomada de decisão não permite ajustar os valores para um cenário futuro diverso e alimenta as restrições referentes às incertezas.

Nesse sentido, uma alternativa interessante é trabalhar com a probabilidade de ocorrência das concentrações dos parâmetros de qualidade da água, que admite um risco de não atendimento à classe de enquadramento e o custo das medidas de despoluição necessárias para diminuir este risco e aumentar o atendimento ao enquadramento proposto. Esse tipo de abordagem introduz maior flexibilidade no processo de gestão, pois pode considerar o risco de não atendimento relacionado não apenas com a progressão das metas de enquadramento, mas também em função das alterações do cenário climático.

A probabilidade de ocorrência da qualidade da água representaria um avanço para o processo de gestão e também conferiria robustez ao instrumento para sua utilização em condição de incertezas crescentes.

Sugere-se, ainda, a adoção das seguintes práticas para buscar a implementação efetiva do instrumento:

- Integrar as metas do enquadramento e os planos municipais de saneamento.
- Ampliar os mecanismos de financiamento para implementar as ações de despoluição.
- Ampliar o monitoramento da qualidade da água para acompanhar o efeito das mudanças climáticas e o alcance das metas de enquadramento.
- Considerar os cenários de mudanças climáticas e suas incertezas no processo de estabelecimento das metas de enquadramento.

## Outorga de direito de uso da água

Projeta-se que os efeitos das mudanças climáticas aumentarão o estado de criticidade de algumas bacias no aspecto quantitativo, qualitativo ou em ambos. Essa situação exigirá que os critérios de outorga sejam mais flexíveis e permitam a customização a diversas situações (de balanço hídrico, de arranjo institucional, de capacidade de adequação dos usos e usuários, entre outras).

Para conferir a necessária robustez à outorga e permitir que atue em diferentes condições climáticas, é necessário trabalhar os parâmetros de atendimento e referências para a outorga de forma ampla o suficiente para responder aos diversos cenários possíveis. A determinação dos valores e limites para as variáveis hidrológicas e ambientais, que constituem as disponibilidades para alocação, pode ser considerada uma das principais dificuldades técnicas nas análises da outorga de uso dos recursos hídricos. Limites muito restritivos impedem o desenvolvimento, enquanto limites permissivos demais podem prejudicar os ecossistemas e gerar conflitos. Ainda, a adoção de uma única vazão de referência, constante no ano e entre os anos, para todos os tipos de usos, não parece estar adequada a um cenário em que se esperam condições em mudança.

Surge, assim, a necessidade de flexibilizar alguns parâmetros adotados no processo de outorga. Embora exista a possibilidade de que essa flexibilização possa prejudicar a confiança no instrumento, pois é possível que acarrete uma redução das garantias de atendimento aos usos, limites mais ampliados para a determinação do valor outorgado permitem aumentar os usos em períodos de maior disponibilidade e incorporar a disposição ao risco por parte dos usuários. Nesse caso, no entanto, são fundamentais o acordo prévio e a comunicação adequada e tempestiva da situação.

O estabelecimento de critérios para cancelamento temporário ou definitivo da outorga ou parte dela também contribui para a robustez do instrumento. Apesar de esse cancelamento estar previsto na Lei 9.433/97 para as situações de crise, não há o estabelecimento de critérios ou procedimentos para tal. Nesse sentido, é desejável instituir arranjos específicos para elaborar e implementar planos de contingência, mobilizar e articular os usuários e demais partes interessadas do SINGREH, de modo que, para o enfrentamento das situações críticas, que podem ser agravadas ou se tornarem mais frequentes no



futuro, estejam estabelecidos previamente os critérios de redução das retiradas, inclusive com gatilhos para as diferentes etapas, suas sequências, possíveis compensações e penalidades envolvidas.

Em situações críticas, é mister pensar nos procedimentos e ações de gestão que deverão ser adotados a fim de contornar o problema do ponto de vista legal e do ponto de vista prático de alocação de água na bacia. As bacias hidrográficas, trechos de rios ou reservatórios com balanço hídrico considerado crítico (em termos quantitativos ou qualitativos) demandam procedimentos de alocação e outorga de água específicos, mais sofisticados e voltados à redução de conflitos instalados ou potenciais. O primeiro passo para tal é a identificação, por meio de um conjunto de critérios, dessas áreas.

Em 2012, a ANA propôs uma classificação de criticidade dos trechos de rios a partir do balanço hídrico qualitativo, e declarou, por meio da Portaria ANA nº 62, de 26 de março de 2013, trechos em corpos hídricos de domínio da União como sendo de especial interesse para a gestão. Essa classificação e seus critérios podem constituir um ponto de partida para a priorização da atuação e para a aplicação de novos procedimentos para a outorga.

O conjunto de novos procedimentos poderá incluir desde vazões de referência e porção disponibilizada para uso menos conservadoras, outorgas coletivas e outorgas temporárias, até a inclusão de análises de risco e de valor agregado para a tomada de decisão, passando pela realocação de volumes. Essas situações especiais exigem informações confiáveis, maior preparo técnico, maior articulação com os usuários e maior capacidade de fiscalização.

A alocação negociada da água – prática adotada pela ANA e alguns órgãos gestores estaduais especialmente em reservatórios do semiárido – parece ser uma alternativa interessante para coordenar interesses conflitantes em locais de balanço hídrico desfavorável. Trata-se de um acordo firmado a partir de reuniões envolvendo os gestores dos recursos hídricos e os usuários do reservatório, bacia, ou trecho de rio, além dos comitês de bacia e especialistas no tema, nas quais são apresentadas as perspectivas de decaimento dos volumes ou vazões disponíveis e de demanda de uso, normalmente para o próximo período seco. Com base nessas informações, são definidas as condições de uso da água, que podem incluir escalonamento, redução ou suspensão de retiradas.

Diante do exposto, as alternativas para tornar o instrumento da outorga mais adaptado aos impactos da mudança do clima nos recursos hídricos incluem, mas não estão restritas a:

- Avaliar a possibilidade de a outorga prever gatilhos de criticidade para situações atípicas em termos de disponibilidade hídrica, que implicam em redução proporcional ou interrupção das permissões de retirada, devidamente explicitadas e previamente pactuadas com os usuários em planos de contingência.
- Elaborar acordos de alocação negociada de água em áreas com níveis críticos de utilização da água e ocorrência de eventos hidrológicos extremos.
- Considerar avaliações de risco e das preferências dos grupos ante as alternativas para enfrentar o risco, bem como considerar a capacidade dos usuários da água de absorverem tais riscos.
- Buscar maior efetividade no cumprimento de condicionantes das outorgas.

## **Cobrança pelo uso da água**

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos possui os importantes papéis de reconhecer a água como bem econômico e indicar seu valor ao usuário, incentivar a racionalização do uso e obter recursos financeiros para ações voltadas a recursos hídricos. Diante dos impactos esperados da mudança do clima sobre a disponibilidade e demanda de recursos hídricos, os incentivos ao uso racional e os investimentos em ações específicas deverão se tornar mais prementes.

O instrumento da cobrança é capaz de conferir viabilidade financeira a um sistema de gestão dos recursos hídricos, permitindo sua continuidade e segurança, diretamente ou impulsionando outros investimentos. Nesse sentido, a cobrança pode ser um importante instrumento para operacionalizar ações específicas de adaptação às mudanças climáticas estipuladas nos planos de recursos hídricos e nos planos de contingência.

Frente ao cenário de mudança climática, aumenta a importância de que os recursos arrecadados sejam aplicados de maneira efetiva e estejam direcionados, em parte, para as ações referidas acima. Dessa forma, pode-se inclusive diminuir a percepção pelos usuários de que a cobrança é apenas mais um imposto, uma vez que sua

boa aplicação pode contribuir para medidas concretas com impacto positivo sobre a capacidade dos usuários de suportar os efeitos adversos da mudança do clima, aumentando sua resiliência.

A cobrança, se aplicada com os valores e flexibilidade adequados, ganha maior relevância na administração da demanda, possibilitando, ao induzir o uso mais racional, a liberação de volumes para outros usos, o que pode se tornar mais relevante em situações críticas advindas de extremos climáticos. Para tal, é desejável que os valores cobrados reflitam a situação do balanço hídrico local, com valores mais elevados em situações de escassez e para usos mais dispendiosos para incentivar usos mais eficientes.

Outro aspecto do instrumento a ser explorado é a possibilidade de, em vista de cenários que apresentam maiores riscos hidrológicos associados, a cobrança subsidiar economicamente algumas ferramentas, tais como seguros aos usuários que apresentam perdas devido ao não atendimento de suas demandas, ou a criação de um sistema de compensação financeira para os usuários que reduzem seus volumes captados, diminuindo, assim, o risco de não atendimento para os usos considerados prioritários na bacia hidrográfica.

Alternativas para maximizar os efeitos positivos do instrumento da cobrança em um cenário de mudança do clima incluem:

- Priorizar ações de planos de bacia ou planos de contingência a serem pagas com recursos da cobrança.
- Aumentar a transparência e a responsabilização sobre a aplicação dos recursos da cobrança.
- Realizar análises econômicas de capacidade de suporte para a elevação dos valores da cobrança onde e quando necessário.
- Permitir a flexibilização dos valores da cobrança para refletir a situação do balanço hídrico (valores maiores em tempos de escassez) e a eficiência no uso da água.
- Destinar parte dos recursos ao detalhamento de projetos voltados à adaptação que permitam acessar fundos específicos.

## Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

A adaptação da gestão dos recursos hídricos às incertezas trazidas pelas mudanças climáticas pressupõe a disponibilidade da melhor informação possível de modo prático e em tempo adequado para a tomada de decisão. Logo, a adaptação do SNIRH significa dotá-lo da capacidade de fornecer dados atuais e confiáveis, com interface acessível a todos os usuários da informação.

Para atender a essa demanda será necessária maior automação na coleta e tratamento de dados - para sua disponibilização em tempo real quando necessário, especialmente em situações de cheias - além do estabelecimento de uma boa estratégia de divulgação e comunicação.

A rede hidrometeorológica nacional obteve avanços recentes importantes na continuidade do monitoramento hidrológico no país e no incremento do número de estações automatizadas, capazes de disponibilizar dados em menores intervalos de tempo, além da construção de uma rede de monitoramento de eventos hidrológicos críticos. Apesar disso, necessita de alguns aprimoramentos e de uma revisão detalhada para sua modernização, tendo em vista as atribuições de monitoramento para gestão dos recursos hídricos. Os principais desafios são:

- Incrementar a disponibilidade das informações provenientes dos registradores de postos de precipitação e vazão em áreas urbanas, os quais, mesmo quando existem, não estão disponíveis no banco de dados.
- Aumentar a quantidade de postos fluviométricos bem equipados em pequenas bacias.
- Ampliar o monitoramento para dados de evaporação e evapotranspiração, sedimentos e qualidade da água.
- Equacionar as séries de vazões em rios sujeitos a efeito tanto de remanso como de maré ou refluxo.
- Fortalecer as redes de alerta existentes e dotar as salas de situação com ferramentas, sistemas e modelos necessários, em especial nas regiões historicamente afetadas por eventos extremos.
- Estabelecer redes de referência para análise e avaliação dos impactos da mudança do clima sobre as séries hidrológicas.



Em resumo, a gestão dos recursos hídricos deve se apoiar em sistemas de informações dinâmicos que devem ser atualizados ao longo do tempo. Dessa forma, será mais fácil acompanhar o cumprimento de metas, comparar ocorrências, constatar alterações, etc. Um sistema de informações bem formulado, atualizado e mantido tornará mais fácil e econômica a elaboração de revisões do plano em vigência e dos planos subsequentes.

## **Instrumentos Complementares para a Gestão**

Face aos desafios futuros da gestão dos recursos hídricos, recomenda-se agregar aos instrumentos legais outros que possam oferecer soluções ou diminuir os riscos frente às novas condições, inclusive aquelas ainda não completamente previstas. Seguem alguns exemplos de outros instrumentos:

- Estudar a possibilidade de implantar a securitização relativa a eventos hidrológicos extremos para cada setor e tipo de usuário.
- Definir e pactuar mecanismos de compensações entre setores usuários para cada tipo de situação em que haja restrição de certos usos para a garantia de outros.
- Considerar a adoção de outros instrumentos econômicos, permanentes ou temporários, voltados à promoção do uso sustentável da água, como impostos, subsídios e taxas de efluentes.
- Potencializar os instrumentos fiscais disponíveis para viabilizar os propósitos do plano de recursos hídricos.
- Instituir instrumentos financeiros para estimular a responsabilidade socioambiental do sistema financeiro nacional.
- Implementar Sistemas de Suporte a Decisões (SSD). A elaboração de planos necessita contar com ferramentas analíticas capazes de quantificar relações de causa e efeito para orientar o processo decisório. Sistemas de Suporte a Decisões constituem ferramentas ideais para executar tais funções em razão de atributos de flexibilidade, facilidade de comunicação com usuários e decisores, dinamismo e outros.

Outras medidas de gestão podem ser adotadas, tais como: organização de usuários, racionamento de água,

identificação de usuários racionados e constituição de fundos financeiros para a mitigação de danos.

## **GERAÇÃO, SISTEMATIZAÇÃO E DISPONIBILIZAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS**

Um dos papéis da ciência na adaptação às mudanças do clima está na geração de conhecimento. As complexas tarefas de quantificar os riscos dos possíveis impactos das mudanças climáticas no setor de recursos hídricos e setores afins, entender as vulnerabilidades das comunidades afetadas, assim como de elaborar, avaliar e definir estratégias de adaptação dependerão do entendimento que se tem dos sistemas ambientais, incluindo aí os físicos, químicos, biológicos e humano.

É reconhecido que dados hidrológicos confiáveis são fundamentais no planejamento e na gestão dos recursos hídricos, especialmente diante de um cenário de mudanças climáticas, porque podem apontar caminhos para a adequação de políticas públicas e para a alocação de programas, projetos e obras.

Informações como precipitação e vazão, por exemplo, são imprescindíveis para estimar a disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica e a falta desses dados aumenta as incertezas nos cálculos e dificulta o processo de tomada de decisões e a aplicação dos recursos financeiros.

A importância da informação hidrológica é tanto maior quanto melhor retratar a realidade. Portanto, é fundamental que os estudos hidrológicos indiquem a real situação de disponibilidade e uso dos recursos hídricos nas bacias. Para isso, torna-se necessária a utilização de séries hidrológicas de boa qualidade, ou seja, séries representativas e consistentes, com longos períodos de dados.

Tais séries, além de possibilitarem o monitoramento dos efeitos da mudança do clima e de outras forçantes sobre os recursos hídricos, servem de subsídios para adaptação e calibração dos modelos hidroclimáticos para escalas mais detalhadas, possibilitando que seus resultados sejam considerados com maior confiabilidade na aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Contudo, existe uma inconsistência nos dados hidrológicos em várias estações de medição ao longo de

muitos anos, seja por medida ou por alteração no leito do rio na seção de medição.

A mudança climática, associada à variabilidade climática de longo prazo e a outras alterações ocorridas nas bacias hidrográficas, desafia a suposição tradicional de que a experiência hidrológica do passado fornece um bom guia para as condições futuras. Essa possível perda de estacionariedade das séries hidrológicas aumenta o grau de incerteza no planejamento de infraestrutura e na gestão dos recursos hídricos e se torna mais crítica na medida em que cresce a necessidade de trabalhar com horizontes de longo prazo.

Destaca-se, dessa forma, a importância da realização de monitoramento sistemático em locais de referência, uma vez que atividades humanas e mudanças climáticas atuantes na escala da bacia hidrográfica podem produzir resultados similares nos elementos das séries hidrológicas observadas. Consequentemente, a obtenção de uma informação robusta que aponte mudanças nesses locais de referência – posições que, por definição, estão sujeitas à modificação antropogênica limitada – seria o meio preliminar de isolar essas duas vertentes dos impactos.

Nesse contexto, duas demandas se destacam: recuperar e consistir séries históricas de variáveis hidrológicas disponíveis em meio analógico, quando existentes; e fortalecer e aprimorar o monitoramento hidrometeorológico, identificando uma rede de referência para identificar e acompanhar o processo de mudança.

Diante do exposto, identificam-se fragilidades no conhecimento disponível que impedem o desenvolvimento de ações concretas diante das vulnerabilidades e potenciais impactos do setor de recursos hídricos no contexto da mudança climática. As fragilidades identificadas dizem respeito a: (i) pesquisa e desenvolvimento em clima e recursos hídricos; (ii) séries hidrológicas históricas; (iii) disponibilização de dados hidrológicos; (iv) análise das séries e projeção por biomas; (v) baixo monitoramento em pequenas bacias e (vi) monitoramento sistemático e sistemas observacionais.

## **(I) Pesquisa e desenvolvimento em clima e recursos hídricos**

O conhecimento atual revela-se insuficiente para distinguir entre variabilidade a curto e a longo prazos e mudança climática. De fato, dados hidrológicos amostrados nos

biomas brasileiros sugerem duas grandes tendências interanuais que parecem não ter relação com a mudança climática antrópica: um processo de longo prazo de redução na vazão média de cinco anos, desde 1991, no Norte, Nordeste e Centro-Oeste, e um aumento nessa mesma média desde a década de 1970 no Sul e Sudeste do Brasil, mas há indicadores de alteração para redução desde 2008. Um grande desafio desses resultados é como tratar o planejamento da infraestrutura de água dentro dessas tendências de longo prazo (interdecadais).

De forma geral, para aumentar o conhecimento necessário, recomenda-se desenvolver ou ampliar as seguintes linhas de pesquisa:

- Processos climáticos e hidrológicos.
- Prognóstico de variáveis hidroclimáticas.
- Impactos de cenários hidroclimáticos e possibilidades de redução dos seus efeitos.

## **(II) Séries hidrológicas históricas**

Em hidrologia, admite-se que o histórico observado recentemente é representativo para o futuro. Considerando que variabilidade climática natural, uso do solo, retirada de água e obras hidráulicas não afetam a vazão, a única grande incerteza está na representatividade do clima para o futuro e uma das fragilidades atuais é a pouca representatividade das séries históricas. No Brasil, existem poucas séries com período superior a 80 anos. Em diferentes partes do globo, foi somente nas últimas décadas que aumentou o número de séries longas, evidenciando as características interdecadais dos processos climáticos e hidrológicos.

Dessa forma, grande parte das pesquisas sobre variabilidade e comportamento do clima se baseia em amostras de períodos curtos que podem ser pouco representativas do comportamento do local, mesmo no comportamento do clima natural, o que contribui para alimentar a incerteza gerada por limitadas amostras de dados.

## **(III) Disponibilização dos dados hidrológicos**

A maior parte das estações de monitoramento ainda é operada por meio da coleta manual dos dados, seja por um observador hidrológico, geralmente residente em local próximo à estação, ou por meio das equipes técnicas

de hidrometria, que percorrem as estações em roteiros de operação, com frequência trimestral. Dessa maneira, o dado pode demorar de dois a quatro meses para ser integrado ao banco de dados da ANA, em Brasília. Para fazer frente aos possíveis impactos da mudança do clima, deve-se possibilitar o acesso a esses dados em tempo real.

Para tanto, o sistema de coleta de dados necessita de uma modernização quanto aos equipamentos utilizados e a redução de tempo de processamento para que os dados se tornem disponíveis com qualidade, o que vem sendo buscado por meio de ações específicas conduzidas nos últimos anos. Em regiões remotas que necessitam equipamentos que funcionam isoladamente, como a Amazônia e o Pantanal, são necessários programas especiais de equipamentos e manutenção, como, por exemplo, o monitoramento por meio de dados fornecidos por satélites. Uma alternativa que se encontra em processo de desenvolvimento e aperfeiçoamento em instituições de pesquisa em muitos países é o monitoramento hidrológico por meio de dados fornecidos por satélites (hidrologia espacial).

Destaca-se ainda a necessidade de se investir no monitoramento sistemático da umidade do solo. O monitoramento adequado dessa variável possui diversas utilidades, dentre elas, a compreensão dos processos físicos envolvidos no ciclo hidrológico, promovendo o avanço científico e o aprimoramento das modelagens meteorológica e hidrológica (Brocca et al., 2013; Sabater et al., 2008; Drusch, 2007; Koster et al., 2004). Esses modelos são ferramentas fundamentais no desenvolvimento e na implantação de sistemas de alerta de cheias e sistemas de previsão climática de vazões (Douville e Chauvin, 2000), ambas consideradas medidas fundamentais de adaptação de baixo arrependimento às mudanças do clima no setor de recursos hídricos (Brocca et al., 2011; Drusch, 2007; Sabater et al., 2008).

#### **(IV) Análise das séries e projeções por bioma**

Nos biomas brasileiros, os comportamentos das séries hidrológicas sazonais são bastante conhecidos. A variabilidade interanual tem uma grande influência na sustentabilidade humana, já que a população e os projetos geralmente possuem resiliência para a sazonalidade e para algum ano seco ou úmido. Entretanto, uma

seqüência de anos significativamente abaixo ou acima da média pode produzir grande vulnerabilidade.

Da mesma forma, a consideração da variabilidade interdecadal observada é fundamental para a sustentabilidade dos projetos em recursos hídricos e o melhor entendimento dos riscos associados.

Pelos motivos expostos, é importante compreender as variabilidades sazonais, interanuais e interdecadais, o que possibilita identificar tendências e indicar possibilidades de medidas de adaptação aos efeitos da mudança do clima.

#### **(V) Escala geográfica: a questão das pequenas bacias**

A variabilidade espacial é um dos grandes desafios do conhecimento hidrológico atual. O maior problema do Brasil não é a espacialização, mas a representatividade do tamanho das bacias. A questão das bacias de porte pequeno, que não possuem monitoramento, é crítica no Brasil e elas merecem ter um programa específico.

De fato, a percepção humana de observação dos processos ocorre na microescala, enquanto estudos são frequentemente realizados na meso-escala, o que pode resultar em comportamento diferente. Somente a ampliação da coleta de dados em diferentes escalas pode permitir entender os diferentes efeitos hidrológicos e ambientais (ecohidrologia) que estão fortemente integrados dentro de uma visão teórica, na qual o micro não explica o comportamento macro.

#### **(VI) Monitoramento sistemático e sistemas observacionais**

Para que seja possível estabelecer de maneira adequada um processo de gestão do risco climático na área de recursos hídricos, é necessário que se desenvolva um esquema de monitoramento de variáveis-chave que permita caracterizar os riscos e as incertezas envolvidas no processo.

O sistema de monitoramento deve incluir variáveis capazes de observar o desempenho de sistemas de recursos hídricos, de identificar possíveis mudanças nos aspectos quantitativos e qualitativos, assim como outros aspectos ligados à gestão do uso da água, tais como cobrança e outorga. Assim, deve permitir que se execute, ao longo do

tempo, uma avaliação permanente do sistema de gestão da água, possibilitando a caracterização de forma clara dos riscos e das incertezas numa dada região.

Um sistema de monitoramento que inclua essas variáveis permitirá que se execute, ao longo do tempo, uma avaliação permanente do sistema de gestão da água, permitindo que se visualizem de forma clara os acertos e os erros de cada alternativa de adaptação.

Um aspecto que pode ser alvo de aperfeiçoamento no quesito de monitoramento sistemático é a previsão de tempo de curto prazo. A incorporação da previsão de tempo para previsão de afluências possui o intuito de aumentar o horizonte de previsão, o que, dependendo da qualidade da previsão de tempo, pode trazer vantagens importantes para a operação dos reservatórios, em especial, no controle de cheias.

É importante que a gestão de recursos hídricos utilize as novas tecnologias disponíveis na área de sensoriamento remoto com o objetivo de reduzir as fragilidades sobre os dados hidrológicos. Nos últimos anos, observou-se um avanço significativo na tecnologia de estimativa de chuva por meio de sensoriamento remoto, especialmente daquela proveniente de satélites (Kidd e Levizzani, 2011). Atualmente, vários produtos de precipitação, com alta resolução espacial e temporal, baseados na combinação de diversos sensores embarcados tanto em satélites de órbita baixa, quanto em satélites meteorológicos geoestacionários, e, em alguns casos, também em medidas obtidas em estações convencionais, estão disponíveis de

forma gratuita ao público em geral. Três desses produtos são bastante populares em análises hidrológicas e de recursos hídricos, com diferentes resoluções espacial e temporal e atualização da informação, são eles: o CMORPH (Joyce et al., 2004), o TMPA do TRMM (Huffman et al., 2007), e o PERSIANN (Hsu et al., 1997).

Além disso, informações provenientes de satélites são empregadas para construir longas séries de precipitação para todo o globo terrestre, como aquela recentemente atualizada pelo GPCP (Global Precipitation Climatology Project), que emprega uma combinação de informações obtidas de estações convencionais, satelitais e de reanálise (Huffman et al., 2009). Essas séries são importantes para a comunidade, pois permitem ampliar o conhecimento científico nas áreas hidrológica e meteorológica.

A adequação de produtos de sensoriamento remoto na área de recursos hídricos depende do tipo de aplicação que vai definir quais são as resoluções temporal e espacial necessárias, bem como o tempo requerido de atualização das informações. Por exemplo, sistema de alerta de cheias requer informação com alta resolução temporal e espacial, e com rápida atualização das informações. Por outro lado, estudos de disponibilidade hídrica em grandes bacias, simulação da operação de sistemas de reservatórios, estudos de identificação e atribuição de tendências, ou desenvolvimento de índices para monitoramento de secas, não carecem de uma resolução espacial muito alta, mas necessita de séries históricas longas.

## **Recomendações para a produção e a disponibilização de conhecimento para subsidiar uma Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos**

*Frente às principais limitações registradas na rede hidrometeorológica brasileira, recomenda-se um estudo de avaliação e modernização da base de dados física e hidrológica com vistas à integração da rede existente objetivando atender à Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no país. Esse contexto envolve os seguintes componentes principais:*

- Banco de dados moderno voltado aos usuários dentro de um SIG.
- Modernização da rede de monitoramento tanto em amostragem como em equipamentos, aí incluído o sistema de monitoramento de alerta e de projetos piloto em áreas de interesse estratégico, onde existem conflitos e grande demanda de água, com impacto sobre a qualidade desta.
- Sistema de suporte voltado para a gestão de outorga e enquadramento associado ao banco de dados.
- Sistema de previsão de curto prazo e sazonal associado à base de dados e aos sistemas de monitoramento para atendimento em caso de eventos extremos.

*Garantir a adequabilidade dos produtos oriundos do monitoramento e da pesquisa científica com o uso na área de recursos hídricos, especialmente em termos de (i) resoluções temporal e espacial, (ii) tempo de atualização das informações, (iii) padronização dos dados.*

De forma específica, faz-se necessário:

- Melhorar o conhecimento do comportamento na escala das bacias e providenciar informações sobre bacias pequenas.
- Acelerar o prazo de disponibilização dos dados hidrológicos.
- Produzir, em nível nacional, um esforço de normatização incluindo a logística de operação, manutenção, aferição e calibração de postos, bem como os padrões de transmissão e disponibilização de dados, para tornar possível um mínimo de padronização de equipamentos, de instalações e de compatibilidade de dados.

*Garantir o monitoramento sistemático e desenvolvimento de indicadores-chave.*

- Propõem-se três redes básicas: (i) conjunto de postos para ter observação sistemática; (ii) rede de bacias piloto; (iii) rede de sistema de alerta.
- Recomenda-se reforçar o monitoramento das seguintes variáveis:
  - Monitoramento da precipitação.
  - Monitoramento da evapotranspiração.
  - Monitoramento das vazões.
  - Monitoramento da umidade do solo.
  - Monitoramento da variação do armazenamento de água na bacia.
  - Monitoramento do uso do solo.



# O PAPEL DA COMUNICAÇÃO

A adaptação aos efeitos da mudança do clima passa necessariamente por uma boa estratégia de comunicação sobre os riscos e as incertezas envolvidas no processo. As incertezas, se claramente comunicadas não refletem de forma negativa sobre a gestão do risco. Ao contrário, reconhecer a existência e incluir as incertezas nas projeções das mudanças climáticas fornecem informações para a tomada de decisão qualificada.

Outro aspecto a ser considerado para a estratégia de comunicação refere-se a traduzir informação científica para os gestores e tomadores de decisão de modo que fiquem claros os riscos a que estão submetidos e os meios de reduzi-los. A comunicação entre cientistas e tomadores de decisão nem sempre é fluente. Por um lado, os tomadores de decisão queixam-se frequentemente de uma falta de resultados de pesquisas relevantes para a política; por outro lado, os cientistas frequentemente mencionam a ignorância dos políticos a respeito dos seus resultados de pesquisa.

Assim, percebe-se que é preciso ainda reforçar o consenso sobre a necessidade de associar ativamente compreensão e ação, e reforçar a ligação entre a ciência e a política no campo dos recursos hídricos. Para tanto, é preciso criar canais de comunicação em que os gestores e tomadores de decisão possam expressar claramente suas demandas em termos de pesquisa. Por outro lado, os cientistas devem aprender a usar novas ferramentas de comunicação, para compartilhar seus resultados com a sociedade, mas também para se enquadrar aos prazos reduzidos próprios à mídia e à tomada de decisão política. Não se trata apenas de “receitas de comunicação”, mas sim da criação de vias de credibilidade e confiança mútua entre mundos que muitas vezes falam línguas diferentes.

Em casos de eventos extremos relacionados a enchentes, a comunicação bem realizada pode ser decisiva na preservação de vidas e na diminuição das perdas materiais. Na enchente histórica ocorrida em 2010 na divisa dos estados de Pernambuco e Alagoas, foram afetados mais de 30 municípios dos dois estados, porém em maior número em Alagoas. Esse Estado foi mais afetado pelo

fato de ter recepcionado os alertas de modo pouco proativo, diferentemente de Pernambuco.

Ainda, é preciso pensar em estratégias de comunicar os riscos aos setores usuários de água, especialmente, na fase de outorga do direito de uso, deixando claro o possível impacto da mudança clima sobre a disponibilidade hídrica. Os usuários dos recursos hídricos tendem a perceber de maneira seletiva os riscos atrelados às mudanças do clima e aos choques socioeconômicos. Fatores novos, frente aos quais os usuários dos recursos hídricos não têm experiência prévia, como novos parâmetros na mudança e variabilidade do clima, podem ser frequentemente negados. Existe, finalmente, uma “defesa perceptual”: as pessoas negam o que não lhes convém, evitam inconscientemente ter estímulos desagradáveis. Inclusive, podem distorcer a informação incongruente com as suas necessidades, valores ou crenças. Por isso, recomenda-se identificar como os setores usuários percebem e agem frente às ameaças das mudanças climáticas.

Por outro lado, como o processo de tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos envolve riscos ambientais, econômicos e sociais, muitas variáveis são mensuradas numa escala subjetiva, enquanto outras são determinadas com dados históricos ou previstos. Diferentes grupos de usuários do sistema de recursos hídricos tendem a ter diferentes níveis de aceitação do risco, por isso esses grupos devem participar do processo de avaliação desse risco.





# SETORES USUÁRIOS E POTENCIAIS IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NOS USOS DA ÁGUA

As mudanças no ciclo hidrológico, em função das mudanças nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade), poderão afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios. Somadas aos impactos esperados no regime hidrológico, prováveis mudanças na demanda de diversos setores usuários podem ocorrer em função da expectativa de crescimento populacional e desenvolvimento do país.

É preciso reconhecer que problemas de qualidade e de disponibilidade hídrica não estão relacionados somente com sistemas locais, mas também com todos os demais setores usuários das águas. Nesse sentido, os desafios são promover a convergência entre políticas, aumentar a relevância do tema recursos hídricos para outros setores, promover ações de adaptação convergentes e evitar que a atuação de um setor agrave a situação de outros em um cenário de provável maior criticidade, e conciliar interesses nacionais com as necessidades locais.

## ABASTECIMENTO URBANO

Por ser um setor que depende diretamente da disponibilidade de água em quantidades e qualidades adequadas, nas regiões em que é demandado, o abastecimento humano deverá ser fortemente impactado por alterações no ciclo hidrológico. Além do aumento de demanda para abastecimento humano por conta do aumento da população, da urbanização e da política de universalização do abastecimento de água, o balanço hídrico poderá ser

afetado por incrementos de consumo relacionados ao aumento da temperatura global.

O investimento abaixo do necessário em abastecimento público, observado ao longo de muitos anos, agrava sua vulnerabilidade frente aos efeitos da mudança do clima. Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico, existe uma demanda reprimida da ordem de R\$ 508 bilhões em investimento para universalizar o acesso aos quatro serviços do saneamento (água, esgotos, resíduos e drenagem). O Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água, elaborado em 2011, avaliou a situação dos mananciais e sistemas de tratamento de água de todas as sedes urbanas do país (ANA, 2011). O estudo permitiu verificar as vulnerabilidades correntes, que em um cenário de alteração de disponibilidade e maior frequência de eventos extremos, tendem a se agravar.

O planejamento adequado do setor, considerando vulnerabilidades adicionais provocadas por alterações da disponibilidade hídrica e integrado com o planejamento de recursos hídricos e de outros setores, associado a ações de redução de perdas, racionalização do uso e monitoramento da quantidade e da qualidade da água dos mananciais, poderão reduzir os impactos sobre o fornecimento de água à população urbana. Ainda, investimentos crescentes são necessários na coleta e tratamento de esgotos, especialmente em bacias sujeitas à escassez de água, para que a perda de qualidade não configure obstáculo adicional ao uso dos recursos hídricos.

A redução de vulnerabilidades no setor passa pela gestão da demanda e da oferta de água para os sistemas. Do lado da oferta, o investimento em infraestrutura com foco na segurança hídrica deve ser priorizado, de forma a garantir maior capacidade de reservação e de adução de água, incluindo redundância de fontes de abastecimento. Ações de conservação de mananciais também são medidas de aumento da resiliência dos sistemas hídricos, que permitem maior segurança na oferta de água. Em relação à demanda, bons resultados poderão ser obtidos a partir da adoção de soluções locais, como o reúso da água e o aproveitamento da água de chuva, mas, principalmente pela redução de perdas nos sistemas de distribuição, pela diminuição no desperdício e de hábitos de consumo.

Além disso, os prestadores de serviços de abastecimento urbano devem estar preparados para se antecipar às situações de escassez, definindo gatilhos para atuação, que deverá ser tempestiva e condizente com a magnitude do evento. As medidas nesse sentido alcançam melhores resultados quanto mais clara for a comunicação com a sociedade.

## IRRIGAÇÃO

A irrigação responde por 54% da vazão de retirada dos recursos hídricos e 72% da vazão efetivamente consumida, o que a situa como o setor de maior uso, de acordo com dados do relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2014). A área irrigada projetada para 2012 foi de 5,8 milhões de hectares, ou 19,6% do potencial nacional de 29,6 milhões de hectares.

A área irrigada vem se expandindo nas últimas décadas a taxas superiores à área plantada total. Ainda, além da tendência de expansão observada da agricultura irrigada, a alteração no padrão de precipitação em determinadas regiões pode levar ao aumento da necessidade de irrigação complementar. A organização e o planejamento da expansão do setor são fundamentais para que suas necessidades sejam adequadamente consideradas no caso de planos de contingência e possíveis restrições de usos.

Em regiões com maior escassez de água e conseqüente limitação às retiradas, poderão ocorrer dois processos opostos: (a) redução da demanda da irrigação nos projetos existentes (pela substituição de tecnologias ou culturas), devido à cobrança e à racionalização do uso

da água; (b) aumento de conflitos, com dificuldades na implementação das decisões dos comitês e de restrições de diferentes naturezas.

Em um cenário crítico de disponibilidade hídrica, a tendência é de que aumentem os conflitos entre a irrigação e outros usos da água, como o abastecimento urbano e a geração de energia. Em períodos críticos, serão necessárias medidas para manter as prioridades legais e ajustar os interesses dos diferentes usuários.

Deve-se considerar, ainda, que a agricultura irrigada apresenta grande elasticidade de uso da água. Em virtude da diversidade de técnicas de irrigação poupadoras existentes e da possibilidade, ainda que limitada, de alteração para cultivos com menor demanda de água, o setor pode, com relativa facilidade e em casos específicos, adaptar os volumes retirados às disponibilidades existentes.

Possíveis medidas de adaptação para o setor da agricultura irrigada incluem, mas não se limitam a: (i) melhoria das previsões de disponibilidade de água para irrigação, em curto e médio prazo; (ii) substituição de tecnologias de irrigação por métodos mais eficientes no uso da água e da energia; (iii) adoção de manejo eficiente das áreas irrigadas; (iv) infraestrutura para garantia de oferta integrada com outros usos e com o planejamento de recursos hídricos; e (v) estratégias de conservação de solo com impacto sobre a produção de água, como o plantio direto, a manutenção das APP, promoção da conservação e aumento da infiltração em áreas de recarga dos aquíferos, entre outras.

## ENERGIA

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de energia hidrelétrica, equivalendo a 10% da produção mundial. De acordo com dados da ANEEL, 62,5% da matriz energética brasileira tem origem na hidroeletricidade. Esse sistema é fortemente dependente da disponibilidade hídrica de médio e longo prazos, para a produção de energia firme e, portanto, da garantia de atendimento do sistema. Isso significa alta vulnerabilidade a alterações no regime hidrológico.

Estudos apontam, de maneira não conclusiva, para uma tendência de redução da precipitação - e, portanto, da disponibilidade hídrica - nas regiões Nordeste, onde a

produção de hidroeletricidade é importante, e Norte, para onde está prevista sua expansão. Em áreas importantes para a geração hidrelétrica no Brasil, como a região Sudeste e a bacia do rio Tocantins, não existe concordância entre os modelos climáticos sobre qual será a modificação do escoamento: se positiva ou negativa. Por outro lado, há potencial de aumento da produção na região Sul em decorrência da previsão de elevação na precipitação.

A opção do setor nos últimos anos de expandir a produção a partir de reservatórios sem capacidade de regularização, apesar de reduzir os impactos sobre o meio ambiente, pode adicionar vulnerabilidades em um possível cenário de períodos de extremos mais longos e severos, uma vez que essas usinas dependem exclusivamente do escoamento dos rios. Isso tem impacto também na operação dos reservatórios que integram o Sistema Interligado Nacional, que não necessariamente corresponde aos interesses das bacias em que se localizam e podem acirrar conflitos locais.

De maneira geral, usinas hidrelétricas com reservatórios possuem maior capacidade de gerenciamento das vulnerabilidades, pois ficam menos sujeitas à variação de aflúncias. Estudo realizado pelo Cebds<sup>1</sup> mostra que, dependendo da capacidade instalada, as usinas estão sujeitas a diferentes tipos de impactos e, conseqüentemente, devem buscar formas distintas para a redução de suas vulnerabilidades, entre elas, o suprimento com outras fontes de energia nos meses de déficit hídrico. Além disso, maior capacidade de reservação significa redução de vulnerabilidades para os outros usos da água, especialmente para o abastecimento humano.

Configuram possíveis medidas de adaptação para o setor: (i) aumento da capacidade de reservação interanual nos empreendimentos de produção de energia; (ii) maior integração de usos múltiplos nos reservatórios; (iii) investimento em soluções locais de geração de energia de maneira complementar à energia proveniente do SIN; e (iv) investimento em medidas de conservação e recuperação de Áreas de Preservação Permanente com o intuito de reduzir o assoreamento dos reservatórios e aumentar sua vida útil.

<sup>1</sup> Disponível em <http://cebds.org/publicacoes/gerenciamento-de-riscos-hidricos/#.VddBD4tRGUK>.

## INDÚSTRIA

Em 2012, a indústria respondeu por 20,7% do PIB nacional e foi responsável pela ocupação de 8,78 milhões de postos de trabalho. O setor responde por 17% da vazão retirada total e a 7% da vazão consumida, de acordo com o relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2014).

Os impactos mais relevantes variam de acordo com o tipo de indústria e sua localização geográfica. Alterações no regime hídrico e efeitos de eventos hidrológicos extremos podem afetar a atividade industrial, por exemplo, em situações de escassez do recurso, que impliquem em desabastecimento, mesmo que parcial.

A capacidade de adaptação do setor industrial é influenciada pelo porte e pelos recursos disponíveis para investimentos. Em períodos de escassez hídrica, por exemplo, a manutenção dos usos prioritários previstos em lei pode exigir do setor medidas que vão desde o aumento da reservação e do reúso de água até modificações no processo de produção, possibilitando menor consumo de água.

Outras opções para adaptação para a indústria, além da redução da dependência hídrica, são a busca por novas fontes de água e a possibilidade de realocação, o que não é factível para qualquer tipo de indústria. A indústria de mineração, por exemplo, está atrelada à localização da matéria-prima e não poderá considerar a relocação como medida de adaptação.

As diretrizes para esse setor, em certa medida, já têm sido adotadas, mas não em ampla escala como estratégia setorial. Os estímulos ao uso racional, ao reúso e ao investimento para a adoção de tecnologias mais eficientes no uso da água são iniciativas pontuais que ainda precisam ser amplificadas. Além disso, é importante que sejam estabelecidos planos de contingência para situações de eventos extremos, como a seca prolongada, por exemplo.

## QUALIDADE DA ÁGUA E MEIO AMBIENTE

As mudanças climáticas poderão causar alterações significativas na qualidade das águas e nos ecossistemas aquáticos. No entanto, a quantificação da intensidade dessas alterações ainda é de difícil determinação devido

às incertezas existentes nos cenários climáticos e à interação dos vários fatores que afetam a qualidade das águas (hidrologia, processos químicos, físicos e biológicos).

O aumento da temperatura das águas é o impacto mais imediato esperado em função das mudanças climáticas. Esse aumento da temperatura provoca uma alteração do ritmo dos processos químicos e biológicos que afetam a qualidade das águas. Um dos principais impactos é a redução nas concentrações de oxigênio dissolvido, o que afeta de maneira adversa a capacidade de autodepuração dos corpos d'água e sua capacidade de manter as comunidades aquáticas. O aquecimento das águas superficiais de lagos e reservatórios também aumenta a estratificação vertical desses corpos d'água, reduzindo a mistura das águas superficiais com as águas mais profundas.

As alterações nas vazões de escoamento dos rios também impactam a qualidade das águas superficiais. A redução da vazão dos rios causa uma diminuição da sua capacidade de diluição das cargas poluentes, com consequente aumento dos níveis de poluição a jusante dos pontos de lançamento.

O aumento da duração e intensidade das chuvas, por outro lado, pode aumentar a poluição difusa causada por sedimentos, nutrientes e agrotóxicos. O maior aporte de nutrientes promove o crescimento de algas, as quais podem alterar significativamente os ecossistemas aquáticos causando mortalidade de peixes e alterações na cadeia alimentar. As cianobactérias, que podem produzir toxinas, geralmente têm um maior crescimento em temperaturas mais altas (acima de 25°C), o que faz com que tenham vantagem competitiva em relação a outras espécies.

As alterações na qualidade dos recursos hídricos podem aumentar os custos de tratamento de águas destinadas ao abastecimento doméstico e ao uso industrial, além de afetar a viabilidade de uso na irrigação, reduzir a biodiversidade aquática e a pesca, aumentar a incidência de doenças de veiculação hídrica e ocasionar a perda de valores turísticos e paisagísticos.

As medidas de adaptação para diminuir os impactos das mudanças climáticas na qualidade da água devem envolver, principalmente, a redução das cargas poluidoras lançadas nos corpos hídricos. Essas ações devem ser implementadas principalmente pelos setores de saneamento, indústria e agricultura por meio do aumento no tratamento de águas residuais, reúso, e uso mais eficiente da água nos processos produtivos.

A ampliação do monitoramento da qualidade das águas, a implementação de planos de segurança da água e de procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano também são medidas de adaptação necessárias frente às mudanças climáticas.

## GESTÃO DE CONFLITOS ENTRE SETORES USUÁRIOS

O crescimento dos diversos setores usuários, somado ao possível aumento de situações de escassez hídrica, pode gerar ou agravar conflitos relativos ao uso da água. Para facilitar a resolução desses potenciais conflitos, é preciso que o sistema de gerenciamento possa atuar com orientações claras (por exemplo, priorização do consumo humano), e instrumentos de compensação para os setores que serão obrigados a usar menos água.

As ações de adaptação contidas tanto nos Planos de Recursos Hídricos ou em outros instrumentos e programas devem ser vistas como compromissos a serem cumpridos no horizonte de tempo previsto. Portanto, os objetivos e as metas deverão ser pactuados com as instâncias representativas instituídas no SINGREH e com os responsáveis pela execução dos programas e ações necessários, para garantir que serão efetivamente implementados, com a articulação adequada.

Para isso, é essencial que se utilize de mecanismos de negociação que sejam capazes de identificar os conflitos, potenciais ou deflagrados, decorrentes dos efeitos de mudanças climáticas. Seria desejável que as entidades atuantes na bacia dispusessem de negociadores experientes, com capacidade para articular acordos entre os representantes das entidades.

Destarte, recomenda-se que sejam incorporadas ao SINGREH grupos de gestão de conflito, compostos, entre outros, por órgãos gestores e de representação, e que os planos de recursos hídricos contenham programas que estimulem ações visando garantir a disponibilidade dos recursos hídricos.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mudança do clima traz desafios que passam por rever e reformular processos e práticas consagradas. Na gestão de recursos hídricos, por exemplo, não é possível mais trabalhar com a estacionariedade das séries, uma vez que os parâmetros observados no passado não são mais representativos do futuro. À variabilidade natural das séries, razoavelmente conhecida, foram adicionadas incertezas ampliando a gama de possibilidades do que pode acontecer e o que precisa ser feito.

Este documento buscou trazer luz sobre as incertezas e as vulnerabilidades identificadas na gestão dos recursos hídricos diante dos possíveis impactos da mudança do clima e revelou que, apesar do nível de incerteza sobre os impactos, é possível adaptar-se e que algum nível de adaptação pode garantir maior resiliência ao sistema.

Essa adaptação deve proporcionar ao sistema de recursos hídricos flexibilidade para operar de forma eficaz frente às possibilidades climáticas. Isso constitui uma estratégia robusta, definida como um conjunto de medidas que garantam a operação do sistema frente a diversos cenários climáticos (críveis-verossímeis de acordo com o conhecimento atual).

No entanto, os cenários climáticos disponíveis suscitam dúvidas nos tomadores de decisão, em função de diversos fatores, tais como a diversidade de resultados entre as várias projeções (falta de consenso entre os modelos), as incertezas que as projeções carregam, especialmente nas escalas regional e local, e a falta de congruência entre as escalas das projeções e a escala do planejamento e gestão. Mais, os modelos não conseguem resolver explicitamente diversos processos físicos do sistema climático, especificamente de meso e microescala.

No Brasil, desde 2013, o setor de recursos hídricos tem pensado estratégias de adaptação às mudanças climáticas dentro do escopo do Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas. Esse plano mobilizou um conjunto de instituições e especialistas que resultou nesse documento ora consolidado e em um capítulo setorial de recursos hídricos em tal Plano.

Devido à importância do assunto, no âmbito da implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, foi proposta a adoção de cinco frentes de respostas adaptativas para combater os possíveis impactos das mudanças climáticas globais: a) nas atividades de planejamento de recursos hídricos; b) no monitoramento hidrológico; c) nas atividades de acompanhamento e mediação de eventos hidrológicos críticos; d) na regulação, particularmente na análise e na concessão de outorgas de uso da água; e e) na comunicação social e na capacitação de atores do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

Este estudo sugere que, para se antecipar às mudanças, a gestão dos recursos hídricos deve mudar sua abordagem para aprender a conviver com maior incerteza e com extremos de excesso e escassez de água mais intensos e frequentes, adaptando sua organização e métodos de gestão à incerteza inerente à variabilidade hidrológica e à falta de conhecimento dos dados futuros, agravada pela mudança do clima. Dessa maneira, reconhecendo que sempre ocorrerão mudanças e incertezas, sugere-se adotar um modelo de “gestão adaptativa”. A gestão adaptativa coloca-se como alternativa para orientar a ação em um ambiente de complexidade e incerteza. A previsão e o controle são substituídos pela cenarização prospectiva e pela adaptação.

Para adaptar-se, o sistema de gestão de recursos hídricos deve procurar reduzir a complexidade dos processos de negociação, conferindo maior agilidade, espírito técnico e possibilidade de execução às decisões (sendo a *accountability* um elemento-chave desse processo). Nesse sentido, se faz necessária uma evolução dos paradigmas subjacentes na época em que foram determinadas as bases da gestão dos recursos hídricos, tanto do lado da oferta quanto do lado da demanda por água. Do lado da oferta, deve-se migrar para uma visão em que as previsões do comportamento do sistema sejam ampliadas para além da faixa de variabilidade observada anteriormente ou que resultem de alterações significativas de características físicas. Do lado da demanda, para sensibilizar a população quanto ao problema da



escassez de água, sugere-se reforçar a ideia de que é um bem econômico e não um bem livre, notadamente por meio dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, que devem ser mais robustos e flexíveis, passíveis de customização a situações críticas específicas.

É preciso aprimorar e implementar um sistema de gestão da escassez e da superabundância, eventos que podem se tornar mais frequentes em certas regiões. Tais mecanismos envolvem seguros, transferência de risco, pactuação de planos de contingência e regras claras para situações críticas, além da avaliação e comunicação do risco. A alocação de risco entre os setores é a chave para a solução da crise, com *trade-offs* claramente definidos para minimizar as perdas. Gerenciar risco climático é avaliar como o risco é alocado entre os setores. Em situações de escassez do recurso, algum usuário ou setor sempre será obrigado a abrir mão ao menos de parte de seus direitos. O que importa é expor claramente os níveis de risco aos usuários para que possam decidir conscientemente e preparar-se para possíveis perdas. Ainda, é possível estabelecer mecanismos de negociação de compensação para quem perde e mecanismos para seu financiamento, possivelmente por quem tem seus direitos preservados.

Outro desafio é a criação de uma linguagem comum que possa ser adotada para evitar interpretações divergentes entre os setores usuários. Nesse sentido, uma agenda de mudança de clima exigirá a institucionalização de fóruns estruturados de trabalho, que congreguem os diferentes setores usuários e o governo.

Portanto, são fundamentais a integração e a contribuição de programas e planejamentos setoriais e territoriais, além de uma boa estratégia de comunicação. Assim, torna-se fundamental a produção de conhecimento e Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) no fornecimento de informações para apoio à tomada de decisão.

Neste documento, foram apresentadas algumas possibilidades de atuação dos entes envolvidos na gestão de recursos hídricos e foram apontadas lacunas que precisam ser vencidas para garantir que a gestão de recursos hídricos esteja preparada para atuar em diferentes cenários de mudança climática.

Diversas fragilidades no conhecimento disponível dificultam o desenvolvimento de algumas ações concretas diante das vulnerabilidades e potenciais impactos do setor de recursos hídricos no contexto da mudança

climática, que incluem a geração de séries históricas hidrológicas, a disponibilização dos dados hidrológicos, a análise das séries e projeções por bioma, a escala geográfica (principalmente a questão das pequenas bacias) e o monitoramento sistemático. Diante dessa realidade, recomenda-se desenvolver as linhas de pesquisa seguintes: processos climáticos e hidrológicos; prognóstico de variáveis hidroclimáticas; impactos de cenários hidroclimáticos e mitigações.

Frente às principais limitações registradas na rede hidrometeorológica brasileira, recomenda-se também um estudo de avaliação e modernização da base de dados física e hidrológica com vistas à integração da rede existente, visando atender à gestão sustentável dos recursos hídricos no país.

Para melhorar a adequação dos produtos oriundos do monitoramento e da pesquisa científica ao uso na área de recursos hídricos, é mister aprimorar: (i) as resoluções temporal e espacial; (ii) o tempo de atualização das informações; (iii) a padronização dos dados. Também se faz preciso criar canais de comunicação entre os tomadores de decisão e os cientistas. Não se trata apenas de “receitas de comunicação”, mas sim da criação de vias de credibilidade e confiança mútua entre mundos que muitas vezes falam línguas diferentes.

Também é importante garantir o monitoramento sistemático e o desenvolvimento de indicadores-chave tais como precipitação, evapotranspiração, vazões, umidade do solo, variação do armazenamento de água na bacia e uso do solo.

Finalmente, é importante ressaltar que este documento não pretende ser exaustivo e acabado. Assim como a adaptação é um processo em constante desenvolvimento, este documento deve ser revisitado e aprimorado na medida em que novas informações são agregadas e que o nível de conhecimento sobre os diversos aspectos que envolvem a adaptação da gestão dos recursos hídricos aos efeitos da mudança do clima seja aumentado.

Este relatório foi baseado nos trabalhos dos seguintes especialistas, no âmbito de contrato específico para fornecer subsídios à contribuição da Agência Nacional de Águas ao Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas, em elaboração:

**ASSIS**, F. de Souza Filho; **AQUINO**, S. H. S.; **MARTINS**, Eduardo S. - Bases conceituais sobre mudanças climáticas, impactos e adaptação em recursos hídricos.

**REIS JUNIOR**, Dirceu Silveira - Papel da Ciência, Tecnologia e Inovação na adaptação a mudanças climáticas em recursos hídricos.

**MARTINS**, Eduardo S. - Diretrizes para a construção de cenários de mudanças para estudos de adaptação no setor de recursos hídricos.

**TUCCI**, Carlos E. M. - Geração, sistematização e disponibilização de conhecimento.

**PORTO**, R. L.; **MELLO JUNIOR**, A. V.; **GARCIA**, J. I. B. - Adaptação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos às mudanças climáticas.

**LOBATO DA COSTA**, Francisco J. - Governança na gestão dos recursos hídricos e os impactos das mudanças climáticas.

**HADDAD**, Paulo R. - Recursos hídricos e adaptação às mudanças climáticas: setores usuários da água





# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, n. 16, 2006. Disponível em: <<http://www.journals.elsevier.com/global-environmental-change>>.
- DGER, W. N. et al. Are there social limits to adaptation to climate change? **Climatic Change**, v. 93, n. 3-4, p. 335-354, 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Definição de trechos críticos em corpos d'água para subsidiar as ações de gestão de recursos hídricos na ANA**. Nota Técnica Conjunta n. 2, SPR/SRE. Brasília, 2012.
- BANCO MUNDIAL. **Governance and development**. Washington: The World Bank, 1992.
- BATES, B. C. et al. (eds). **Climate Change and Water**. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: IPCC Secretariat, 2008.
- BECK, U. **La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad**. Barcelona: Paidós, 1998.
- BECK, U. **O que é globalização? Equívocos do globalismo: respostas à globalização**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.
- BRADSHAW, G.A.; BORCHERS, J.G. Uncertainty as Information: Narrowing the Science-policy Gap. **Conservation Ecology**, V.4, n. 1, 2000.
- CAMPOS, J. N. B.; NÉRIS, L. F. A. Mudanças Climáticas e Disponibilidades Hídricas no Semiárido: Resultados Preliminares. In: CAMPOS, J.N.B.; SERVAIN, J. **Clima do Atlântico Tropical e Impactos Sobre o Nordeste (CATIN)**. Fortaleza: CNPq/IRD, 2009.
- CANE, M. Decadal predictions in demand. **Nature Geoscience**, v. 3, p.231 - 232. 2010.
- CARTER, T. et al. New Assessment Methods and the Characterisation of Future Conditions. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- CUTTER, S.; FINCH, C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS**, v. 105, N. 7, 2301-2306, 2008.
- DESSAI, S. et al. Climate prediction: a limit to adaptation. In: ADGER, N.; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. (eds). **Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- DÖLL, P.; FLÖRKE, M. Global-Scale Estimation of Diffuse Groundwater Recharge. **Frankfurt Hydrology Paper 03**. Frankfurt am Main: Institute of Physical Geography, Frankfurt University, 2005.
- FÜSSEL, H. M.; KLEIN, R. Climate Change Vulnerability Assessments: an evolution of conceptual thinking. **Climatic Change**, v. 75, n. 3, p. 301-329, 2006.
- GALLOPÍN, G.C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, n. 16, 2006.
- GIDDENS, A. **As consequências da modernidade**. São Paulo: UNESP, 1991.
- GIDDENS, A. **Sociology**. Cambridge: Polity Press, 1997.
- GROVES, D. G.; LEMPERT, R. J. A new analytic method for finding policy-relevant scenarios. **Global Environmental Change**, n. 17, 73-85, 2007.
- HOLLING, C.S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 123, 1973.
- HOWDEN, S. M. et al. Adapting agriculture to climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS**, v. 104, n. 50, p. 19691-19696, 2007.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability**. MCCARTHY, J.J. et al. contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: Fifth Assessment Report**. Geneva: IPCC, 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B. et al. (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

KASPERSON, R. et al. Vulnerable peoples and places. (In) HASSAN, R. M. ; SCHOLERS R. J. ; ASH N. (Ed.). **Ecosystems and human wellbeing: current state and trends findings of the conditions and trends working group, Millennium Ecosystem Assessment**. Washington: Island Press, v. 1, p. 146-162, 2005.

KNIGHT, F. **Risk, Uncertainty, and Profit**. Boston: Hart, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Co. 1921.

KUNDZEWICZ, Z. W. et al. Freshwater resources and their management. In: PARRY, M.L. et al. (Eds.). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

LAVELL, A. et al. Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: FIELD, C. B. et al (Eds.). **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

LEICHENKO, R., D.C. et al. 2010. An Economic Analysis of Climate Change Impacts and Adaptations in New York State. In: ROSENZWEIG, C. et al. **Responding to Climate Change in New York State: The ClimAID Integrated Assessment for Effective Climate Change Adaptation**. Technical Report. Albany: New York State Energy Research and Development Authority, p. 501-649, 2010.

LITRE, G. Scientific Uncertainty and Policy Making: How Can Communications Contribute to a Better Marriage in the Global Change Arena? In: BRAIMOH, A. K.; HUANG, H.

Q. (Orgs.). **Vulnerability of Land Systems in Asia**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2014.

MARGULIS, S.; DEBEUX, C. B. S.; MARCOVITCH, J. **The Economics of Climate Change in Brazil: Costs and Opportunities**. São Paulo: FEA/USP, 2011.

McNIE, E. C. Reconciling the supply of scientific information with user demands: an analysis of the problem and review of the literature. **Environmental Science Policy**, n. 10, p. 17-38, 2007.

MEDEIROS, Y.D.P. Análise dos Impactos das Mudanças Climáticas em Região Semiárida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 127-136. 2003.

MEEHL, G. A. et al. Decadal Prediction: Can it be skillful? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.90, n.10, 2009.

MELO, D. C. D. **Estimativa de impacto de mudanças climáticas nos níveis do Sistema aquífero do Guarani**. Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MILLY, P. C. D. ; DUNNE, K. A. ; VECCHIA, A. V. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, v. 438, n. 17, 2005.

MORTON, J. F. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS**, v. 104, n. 50, p. 19680-19685, 2007.

MOSER S.C; EKSTROM J.A. A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS**, v. 107, n. 51, p. 22026-22031, 2010.

MOSS, R. et al. **Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies**. Technical Summary. Geneva: IPCC, 2008.

NÓBREGA, M.T. et al. Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n.2, p. 585-595, 2011.

O'BRIEN, K. L. et al. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. **Global Environmental Change**, v. 14, n. 4, p. 303-313, 2004.

- PARRY, M.; CARTER, T. **Climate Impact and Adaptation Assessment: A Guide to the IPCC Approach**. London: Earthscan, 1998.
- PARSON, E. A. Useful Global Change Scenarios: Current Issues and Challenges. **Environmental Research Letters**, 3, n.4, 2008.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Em busca da gestão de recursos hídricos para a cidade resiliente. **Revista DAE**, n. 195, p. 6-II, 2014.
- SALATI, T. et al. **Economia das Mudanças Climáticas no Brasil**. Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2008.
- SANDERSON, E. W. et al. The human footprint and the last of the wild. **BioScience**, v.52, n.10, p.891-904, 2002.
- SANTOS, Maria Helena de Castro. Governabilidade, Governança e Democracia: Criação da Capacidade Governativa e Relações Executivo-Legislativo no Brasil Pós- Constituinte. **DADOS - Revista de Ciências Sociais**. Rio de Janeiro, v. 40, n. 3, p.335-376, 1997.
- SIMONOVIC, S. P. **Managing water resources: methods and tools for a systems approach**. Londres: UNESCO, 2009.
- SMIT, B; BURTON, I; KLEIN, R. J.; STREET, R. The Science of Adaptation: A Framework for Assessment. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 4, n. 3/4, p. 199-213, 1999.
- SMIT, B; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 282, 2006.
- TOMASELLA, J. et al. **Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na Bacia do Rio Tocantins**. Cachoeira Paulista: CCST/INPE, 2009.
- UK MET OFFICE. **Climate change, rivers and rainfall**. Recent research on climate change science from the Hadley Centre. Londres: UK Met Office, 2005.
- WILBY, R. L.; DESSAI, S. Robust Adaptation to Climate Change. **Weather**, v. 65, n. 7, p. 180-185, 2010.
- WILLEMS, P; VRAC, M. Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change. **Journal of Hydrology**, v. 402, p. 193-205, 2011.



# ANEXOS

- A. Impactos de Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos
- B. Adaptação do Planejamento e da Operação dos Recursos Hídricos à Variabilidade e Mudanças Climáticas na Bacia Estendida do São Francisco
- C. Outorga E Mudanças Climáticas
- D. Aplicação de metodologia custo/benefício (Economics of Climate Adaptation)

# ANEXO A – IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM RECURSOS HÍDRICOS

Por Antônio Carlos Magalhães, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

## Introdução

As mudanças climáticas trarão profundas repercussões para os recursos hídricos, tanto no tocante à disponibilidade como ao uso da água, sob aspectos quantitativos e qualitativos, no decorrer do século XXI. Os sucessivos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) têm mencionado os impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos. Em 2007, o IPCC preparou um relatório especial sobre Mudanças Climáticas e Água (Bates and al, 2007). O último relatório do IPCC, o AR5, discute o assunto com base nas evidências mais recentes (IPCC, 2014). No Brasil, o relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) dedicou um capítulo aos impactos sobre os recursos naturais, com destaque para a questão da água (PBMC, 2014). As informações a seguir são baseadas nesses três documentos.

## Impactos nos Recursos Hídricos, segundo o Relatório Especial do IPCC

Do ponto de vista global, a elevação de temperatura motivada pela mudança climática terá grande repercussão sobre os ciclos hidrológicos, aumentando o conteúdo de vapor d'água na atmosfera, mudando padrões de precipitação, mudando a situação de umidade dos solos e o escoamento de água nos rios. O risco de maiores cheias e secas pode aumentar. Vários modelos projetam precipitações maiores nas altas latitudes (em direção aos polos). Muitas áreas secas, como o Nordeste do Brasil, estão particularmente expostas aos impactos das mudanças climáticas. As mudanças climáticas também poderão afetar negativamente a qualidade das águas e a poluição das águas. A elevação do nível do mar poderá trazer salinização para os estuários dos rios, implicando em redução da disponibilidade de água doce. Estima-se que os impactos negativos de mudanças climáticas futuras sobre os sistemas de água doce devem superar os eventuais benefícios. Além disso, mudanças na quantidade e na qualidade das águas devem afetar a disponibilidade, o acesso e a utilização de alimentos, implicando

em redução na segurança alimentar, especialmente nas zonas secas. As mudanças climáticas desafiam a suposição tradicional de que a experiência passada fornece um guia para as condições futuras. Como a água é um recurso de uso generalizado, o seu gerenciamento tem impactos significativos em muitas outras áreas, particularmente nos setores de energia, saúde, segurança alimentar e conservação da natureza. Por outro lado, ainda há muitas lacunas de conhecimento que requerem maior esforço na área de pesquisa sobre o tema da água e mudanças climáticas (IPCC, 2007).

## O Relatório AR5 do IPCC

O último relatório do IPCC (IPCC, 2014) confirma muitas dessas informações e traz novas informações, especialmente sobre o nível de probabilidade de ocorrência dos impactos. Em geral, aumentou o grau de certeza quanto à probabilidade das mudanças climáticas e dos seus impactos. Segundo esse relatório, em muitas regiões as alterações de precipitação e o derretimento de neves estão alterando os sistemas hidrológicos, afetando os recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade. Os impactos de eventos climáticos extremos, como secas e cheias, entre outros, revelam o alto grau de vulnerabilidade de alguns ecossistemas e de sistemas humanos à variabilidade climática já existente. No século XXI, as mudanças climáticas implicam em risco significativo de impactos negativos sobre os recursos de água doce do planeta. Projeta-se redução na disponibilidade de água de superfície e nos aquíferos na maioria das regiões tropicais secas. Nessas regiões, a frequência de secas vai aumentar, muito provavelmente. As mudanças climáticas podem acarretar redução na disponibilidade de água bruta, com riscos sobre a disponibilidade de água de beber, além de piorar a qualidade da água. A interação entre fatores climáticos e não climáticos, com o aumento de temperatura, pode acarretar mais transporte de sedimentos, de poluição e de nutrientes, aumento de concentração de poluição durante as secas, destruição de estações de tratamento de água durante cheias. Para o IPCC, técnicas de gerenciamento adaptativo da água, como o planejamento com cenários, os enfoques baseados no aprendizado e as soluções de não arrependimento, podem ajudar a criar resiliência às alterações do ciclo hidrológico (IPCC, 2014).

Para o IPCC, as espécies que habitam os ecossistemas terrestres e de água doce, sob as mudanças climáticas, em conjunto com outros fatores, enfrentam graves riscos

de modificação dos seus habitats, de superexploração, de poluição e de competição com espécies invasivas. Ainda neste século, as mudanças climáticas, segundo diversos modelos, trazem um alto risco de mudanças irreversíveis na composição, estrutura e função de ecossistemas terrestres e de água doce (IPCC, 2014). Na América do Sul e Central, existe o risco de redução na disponibilidade de água nas regiões semiáridas, também nas regiões que são dependentes do derretimento de neves. Da mesma forma, há risco de cheias e deslizamentos em áreas urbanas e rurais devido a extremos de precipitação. As mudanças climáticas poderão acarretar queda na produção de alimentos, na qualidade dos alimentos e aumento nas doenças transmitidas por vetores (IPCC, 2014).

## O Relatório do PBMC

O Relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), lançado pelo MCTI e MMA em 2014 (PBMC, 2014), traz um capítulo sobre os impactos e adaptação da área de recursos hídricos às mudanças climáticas. O capítulo foi originalmente preparado pelo Professor Francisco de Assis Souza Filho, da Universidade Federal do Ceará (UFC), e faz um levantamento da literatura recente sobre os impactos nas bacias hidrográficas brasileiras. Os impactos dependem, naturalmente, dos cenários considerados, os quais, por sua vez, se apoiam em modelos de circulação geral da atmosfera e no trabalho de regionalização (downscaling) desses modelos.

Em geral, as mudanças climáticas poderão acarretar redução da vazão em até 20% nos rios do leste da Amazônia. A bacia do Tocantins pode ter sua vazão reduzida em até 30%. Alguns modelos sugerem que a vazão do rio Paraguaçu, na Bahia, pode reduzir-se em até 40%. Na região do semiárido brasileiro, os modelos indicam que poderá haver redução na vazão do rio Jaguaribe e do rio Várzea do Boi, ambos no Ceará. A redução das vazões dos rios, junto ao aumento da evapotranspiração, prejudicará a eficiência de armazenamento de água nos lagos e açudes.

A bacia dos rios Paraná e Prata deverá ter aumento de vazão entre 10% e 40%. No entanto, os resultados variam conforme o modelo climático, de modo que a escolha do modelo pode gerar importante fonte de incerteza para a projeção dos impactos nas vazões dos rios. No caso das águas subterrâneas, algumas estimativas indicam redução de até 70% na recarga dos aquíferos, até 2050. A mudança do clima também poderá funcionar como fonte adicional

de pressão na demanda de água para irrigação. A qualidade da água também será afetada pelas mudanças climáticas.

Ainda de acordo com o PBMC, espera-se que a mudança do clima, ao mudar o regime de chuvas, acarrete impacto sobre a incidência de desastres naturais (secas, inundações, deslizamentos) nas diversas regiões. Os eventos extremos poderão ficar mais frequentes e mais intensos.

Para o PBMC, os impactos das mudanças climáticas sobre as vazões nos rios afetam a operação da infraestrutura, incluindo as hidrelétricas, defesas contra inundações e sistemas de irrigação, além da gestão de águas. O relatório afirma que as práticas correntes de gestão podem não ser suficientemente robustas para lidar com os impactos da mudança do clima no abastecimento de água, com riscos de inundação e com efeitos sobre a saúde, agricultura, energia e sistemas aquáticos. As mudanças climáticas exigirão esforços de adaptação tanto do lado da oferta como da demanda de água. Nesse sentido, será fundamental a adaptação no campo da gestão da água, inclusive colocando em prática todos os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Finalmente, o relatório do PBMC afirma que a hidrologia requer uma mudança de paradigma no sentido de que as observações do passado não necessariamente representam a variabilidade no futuro, isto é, no sentido da não estacionariedade das séries estatísticas de variabilidade climática e de vazões nas bacias hidrográficas.

## Conclusão sobre impactos nos recursos hídricos

Em síntese, tanto os trabalhos do IPCC (IPCC 2007, IPCC 2014) como do PBMC (PBMC 2014) trazem informações sobre as mudanças climáticas e seus impactos sobre a área de recursos hídricos, baseadas nas informações da variabilidade climática existente e nas simulações de cenários com base em modelos, para o século XXI. No Brasil, em geral, haverá redução na vazão de bacias hidrográficas no Norte e no Nordeste, com sérios impactos sobre os diversos usos: abastecimento humano e industrial, irrigação, produção de energia, serviços ecossistêmicos. O sistema de gerenciamento da água atualmente ainda não está preparado para enfrentar essas mudanças. Por isso, é fundamental aperfeiçoar o sistema de gerenciamento integrado dos recursos hídricos, tanto do lado da oferta como dos usos e da garantia de qualidade da água. Isso exigirá mais flexibilidade para aplicação dos instrumentos de gerenciamento em épocas de estresse hídrico.



## Fontes

BATES, B.C. et al. **Climate Change and Water**. Technical Paper VI. Genebra: IPCC Secretariat, 2008.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Summary for Policymakers. WG II. Genebra: IPCC, 2014.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. ASSAD, E. D.; MAGALHÃES, A. R. (Eds.). **Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação às Mudanças Climáticas**. GT2. Volume 2. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2014.

# ANEXO B – ADAPTAÇÃO DO PLANEJAMENTO E DA OPERAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS À VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA ESTENDIDA DO SÃO FRANCISCO

Por Márcio Tavares da Nóbrega<sup>2</sup>, Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins<sup>3</sup>, Dirceu Silveira Reis Júnior<sup>4</sup> e Juliana Lima Oliveira<sup>5</sup>

## Introdução

O rio São Francisco tem papel importantíssimo no abastecimento de água para irrigação, consumo humano e na geração de energia na região Nordeste, sendo, portanto, um recurso hídrico estratégico para a região. A gestão de riscos climáticos como estratégia de adaptação no Nordeste tem sido construída utilizando as águas do São Francisco, sendo este o conteúdo básico do Projeto de Integração do São Francisco.

De acordo com IPCC (2007), as regiões áridas e semiáridas são as mais vulneráveis às mudanças do clima, sobretudo pelos impactos nos recursos hídricos. Para WILBY (2010), 82% dos cenários futuros de mudanças climáticas apontam para uma diminuição nas vazões, em virtude da diminuição da oferta de água. Entretanto, também é preciso levar em consideração a possibilidade de outros cenários, como, por exemplo, o de aumento da oferta. A cenarização climática pode, portanto, auxiliar no planejamento na gestão de recursos hídricos e no estabelecimento de estratégias de adaptação à variabilidade do clima e às mudanças climáticas, tão essenciais para o desenvolvimento de regiões semiáridas como o Nordeste do Brasil.

Como as vazões são fortemente controladas pelo clima, qualquer incerteza nas projeções do clima futuro será traduzida diretamente em incerteza sobre as vazões futuras. Uma abordagem comum para avaliar as condições futuras da vazão é o uso de projeções de modelos

climáticos em combinação com modelos hidrológicos (Kling et al., 2012).

## Metodologia

O desenvolvimento deste trabalho consiste em quatro etapas:

- 1) Avaliação de modelos globais: no caso, os modelos do *Coupled Model Intercomparison Project 5* (CMIP5), que serviram de base para a realização do 5º relatório do IPCC, foram avaliados quanto à representação da precipitação sobre a bacia do São Francisco no século XX. As precipitações médias dos modelos para bacia de interesse são obtidas para posterior correção estatística e remoção de vies. Os dados de entrada da modelagem climática e da química atmosférica dos experimentos do CMIP5 provêm dos *Representative Concentration Pathways* (RCPs). Para análise das projeções do século XXI, são usados os cenários RCP4.5 e RCP8.5, nos quais a forçante radiativa de estabilização ou de pico ao final do século XXI corresponde a  $4.5W.m^{-2}$  e  $8.5W.m^{-2}$ , respectivamente.
- 2) Seleção dos modelos a partir do critério de avaliação descrito anteriormente: ao todo, 25 modelos globais foram utilizados.
- 3) Análises mais detalhadas dos dados de outras variáveis meteorológicas, dos modelos selecionados: temperatura média, máxima e mínima, evapotranspiração potencial (estimada por Hargreaves (1974)). Essas análises são feitas a partir dos dados desses modelos escolhidos para, dessa forma, identificar padrões de variabilidade e mudanças no clima da região.
- 4) Modelagem hidrológica para a geração de séries de vazões: permite-se, assim, avaliar o impacto das mudanças de clima sobre a hidrologia das bacias. Com base nessas séries de vazão e em cenários de demanda presente e futura, é possível avaliar os impactos sobre o processo de alocação de água de diversas formas: mudanças de clima sob condições de demanda presente; projeções de demanda futura sob condições de clima presente; mudanças combinadas de clima e demanda futuros.

2 Agência Nacional de Águas

3 Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

4 Universidade de Brasília

5 Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

**Equação 1:** avaliação ponderada dos modelos.  $CORREL_{MIN}$  é a menor correlação obtida entre os modelos,  $CORREL_{MAX}$  a máxima correlação,  $RMSE\_PC_{MAX}$  é o máximo erro quadrático médio percentual dos modelos e  $RMSE\_PC_{MIN}$  o mínimo,

$$AVAL = \alpha_c \left( \frac{CORREL - CORREL_{MIN}}{CORREL_{MAX} - CORREL_{MIN}} \right) + \alpha_r \left( \frac{RMSE\_PC_{MAX} - RMSE\_PC}{RMSE\_PC_{MAX} - RMSE\_PC_{MIN}} \right)$$

## Avaliação dos modelos

Para avaliação dos modelos, é calculada a climatologia mensal média sobre a região de estudo para todos os modelos do IPCC e para as observações (dados observacionais do CRU<sup>6</sup>, com resolução de 0,5 grau para o continente). Os modelos são classificados pelo desempenho para a região de estudo (Tabela 2). Isso é definido por meio de medidas estatísticas como a raiz do erro quadrático médio da contribuição percentual mensal em relação às chuvas anuais (RMSE) e correlação (CORREL) (Wilks, 1995). Essas métricas são detalhadas nos trabalhos de Silveira et al (2012). A equação 1 mostra a avaliação ponderada para que os modelos possam ser classificados,

## Modelagem hidrológica

O modelo hidrológico utilizado para a transformação chuva-vazão foi o SMAP, desenvolvido por Lopes et al. (1981), com intervalo de simulação diário e mensal. Dessa forma, as séries de vazão dos hidrossistemas de Três

Marias, Sobradinho, Retiro Baixo e Baixo São Francisco foram quantificadas a partir de estações fluviométricas da base da ANA com pequenas correções de proporcionalidade que utilizam as relações entre as áreas de drenagem das estações e as áreas de drenagem desses hidrossistemas.

## Resultados e conclusões

### Avaliação dos modelos

Os modelos BCC-CSM1.1, MIROC5 e HadGEM-A0 fornecem as melhores representações da sazonalidade da precipitação na região. A Figura 1 ilustra a representação da precipitação pelos modelos BCC-CSM1.1 e MIROC5, usando o RCP4.5. Os modelos IPSL-CM5A-MR, HadGEM2-ES, GFDL-CM3 e GFDL-ESM2M apresentaram correlações piores, comparados aos demais modelos, mostrando-se inferiores aos demais na representação da climatologia média sobre a região.

As estimativas de temperatura, precipitação e evapotranspiração foram obtidas dos 25 modelos do CMIP5, com os resultados dos RCPs 4.5 e RCP8.5 - para os períodos de 30 anos 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100 - e

<sup>6</sup> CRU TS 3.21 - University of East Anglia/Climate Research Unit (NEW ET AL, 1999 E NEW ET AL, 2001).

**Tabela 1:** Parâmetros e Calibração do SMAP para os hidrossistemas da bacia do São Francisco.

Parâmetros SMAP									
	Área (km <sup>2</sup> )	SAT	PES	CREC	KKT	TUin	EBin	NS (Calibração)	NS (Validação)
Retiro Baixo	8750	1200	1.5	0.35	4	0.84	59.6	0.80	0.81
Três Marias	40123	6000	2.1	0.1	4	0.8	217.14	0.72	0.64
Sobradinho	374400	14000	8	0.0026	2	0.71	600	0.60	0.62

para o período histórico os anos selecionados vão de 1961 a 2000.

Os resultados são apresentados na forma de anomalias percentuais que comparam cada bloco de 30 anos dos RCPs ao período histórico dos modelos. Dessa forma, é possível avaliar as variações climáticas no início, meio e fim do século XXI na bacia do rio São Francisco.

### Anomalias percentuais

Os resultados mostraram que, para precipitação (Figura 3), não há um consenso entre os modelos de circulação geral quanto ao século XXI e para temperatura (Figura 2), notou-se a convergência das projeções para um aquecimento regional, sendo este mais intenso no cenário RCP 8.5. Testes de Man-Kendal Sen indicam, para todos os modelos, uma tendência positiva: a maioria dos modelos mostra tendência maior que 0,15°C/década para o cenário RCP4.5 e maior que 0,40°C/década para o cenário RCP8.5.

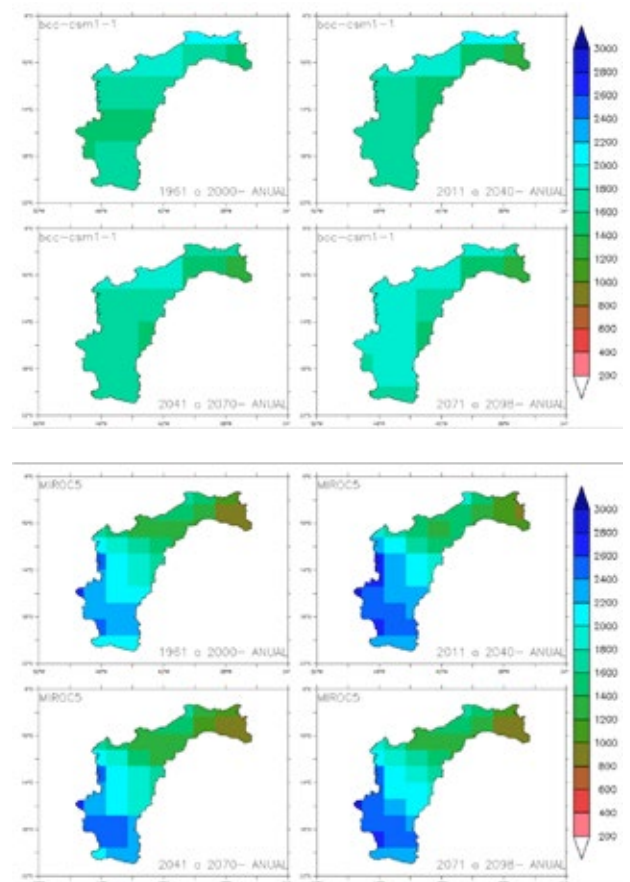
Com relação à evapotranspiração, o impacto na média anual do século XXI nos dois primeiros períodos analisados (de 2011 a 2040 e de 2041 a 2070) não difere muito entre os RCPs. Porém, no período de 2071 a 2100, o cenário RCP8.5 mostra impacto maior, aproximadamente 3% para maioria dos modelos (Figura 4). Correspondentemente, em todos os hidrossistemas, o sinal é positivo, indicando o aumento da Etp no decorrer do século XXI comparado ao período de referência do século XX (1961 a 2000).

Em outros termos, para ambos os RCPs, as mudanças na evapotranspiração potencial são progressivas, menores no início do século e atingindo os valores máximos de 2071 a 2100. Incidentalmente, o sinal encontrado para o RCP8.5 é superior ao encontrado nos resultados para o RCP4.5. De 2071 a 2100, quando as diferenças entre os dois RCPs ficam mais evidentes, o aumento da Etp é superior a 20% para os modelos BCCSM1.1, HadGEM-AO, CanESM2, HadGEM2-ES em Retiro Baixo e Três Marias, HadGEM-AO e para o modelo CanESM2 em Sobradinho.

Contudo, ao contrário do que ocorre com a Etp, os modelos não mostram convergência quanto às vazões futuras.

**Tabela 2:** Classificação dos modelos de acordo com a metodologia proposta.

Modelos	CLASS	AVAL	CORREL	RMSE
BCC-CSM1.1	1	0,987	0,978	1,351
MIROC5	2	0,970	0,986	1,681
HadGEM2-AO	3	0,936	0,969	1,761
ACCESS1.2	4	0,934	0,981	1,983
CSIRO-Mk3.6.0	5	0,922	0,983	2,163
BNU-ESM	6	0,905	0,970	2,125
MPI-SM-MR	7	0,848	0,966	2,675
ACCESS1.0	8	0,822	0,943	2,572
MIROC-ESM	9	0,799	0,959	3,098
MIROC-ESM-CHEM	10	0,786	0,957	3,199
MPI-ESM-LR	11	0,761	0,946	3,281
CCSM4	12	0,759	0,912	2,718
CMCC-CMS	13	0,749	0,931	3,162
CESMI-CAM5	14	0,749	0,910	2,793
CESMI-BGC	15	0,687	0,888	3,089
CMCC-CM	16	0,639	0,902	3,880
CanESM2	17	0,573	0,901	4,586
GISS-E2-H	18	0,506	0,812	3,752
INMCM4	19	0,477	0,809	4,020
IPSL-CM5B-LR	20	0,382	0,802	4,953
IPSL-CM5A-LR	21	0,300	0,805	5,915
GFDL-CM3	22	0,280	0,756	5,279
GFDL-ESM2M	23	0,271	0,764	5,521
HadGEM2-ES	24	0,113	0,671	5,634
IPSL-CM5A-MR	25	0,104	0,736	6,880



**Figura 1:** Representação da precipitação média dos modelos BCC-CSM1.1 e MIROC5 usando o RCP4.5

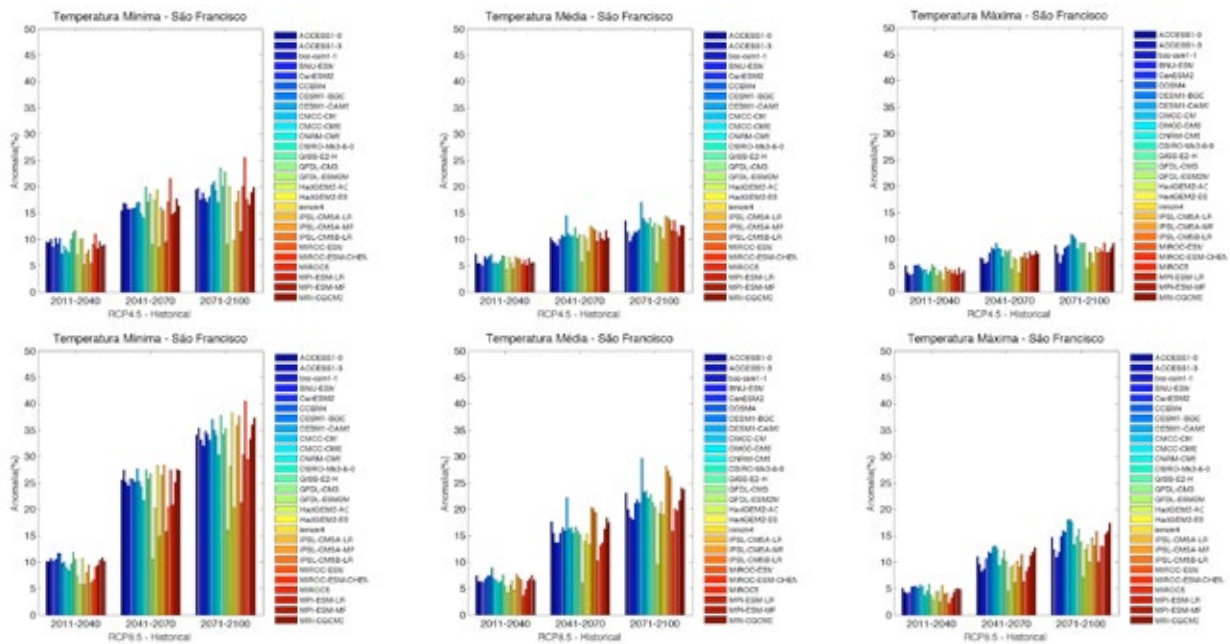


Figura 2: Anomalias de Temperatura (T), em °C, de 2011 a 2100 usando o RCP 4.5 (linha superior) e RCP8.5 (linha inferior).

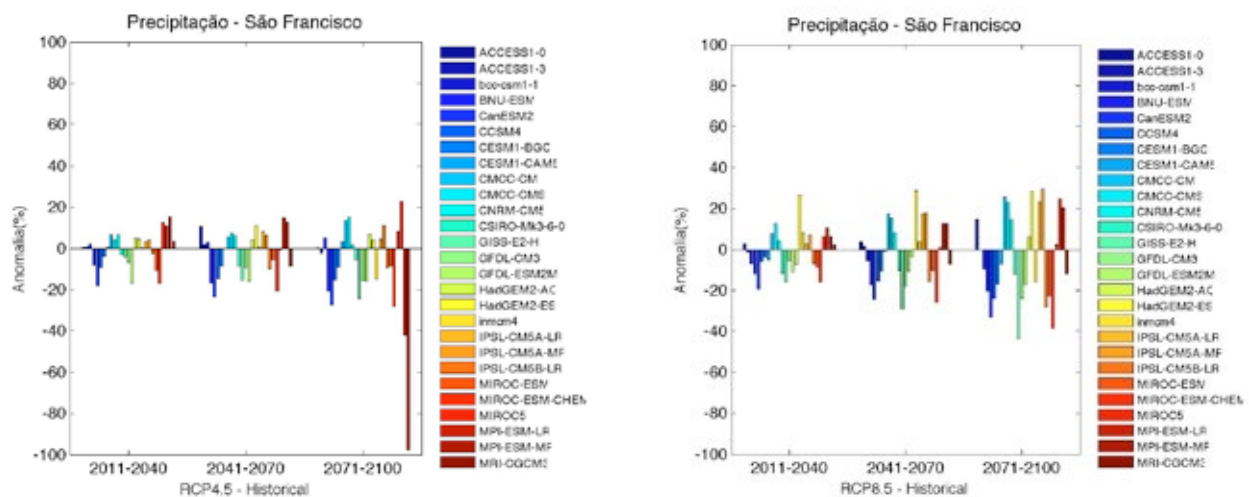


Figura 3: Anomalias percentuais de Precipitação (P) de 2011 a 2100 usando o RCP 4.5 (à esquerda) e RCP8.5 (à direita).

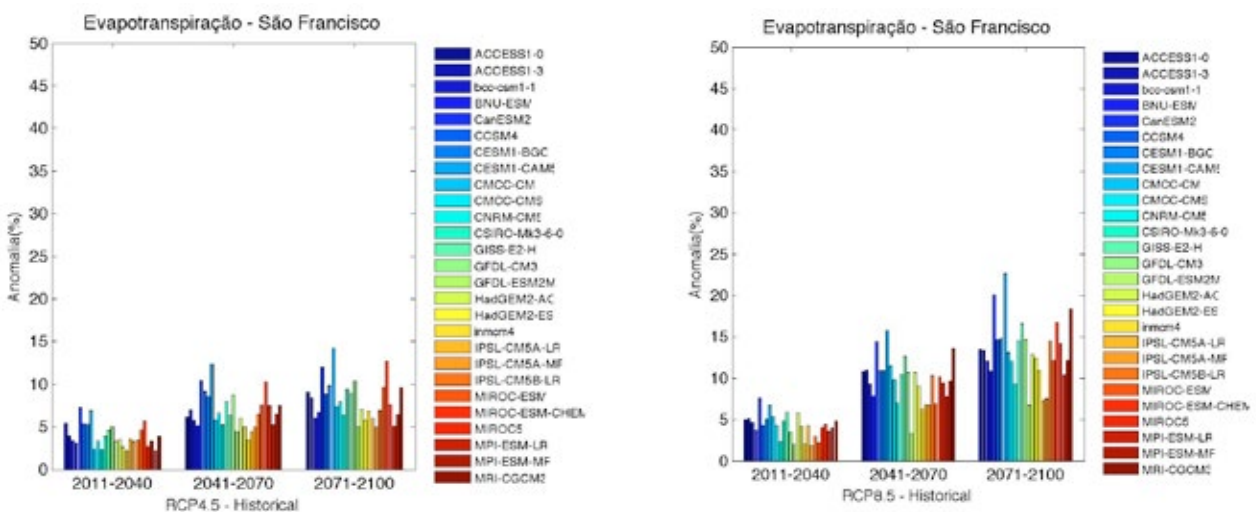


Figura 4: Anomalias percentuais de Evapotranspiração Potencial de 2011 a 2100 usando o RCP4.5 (à esquerda) e RCP8.5 (à direita).



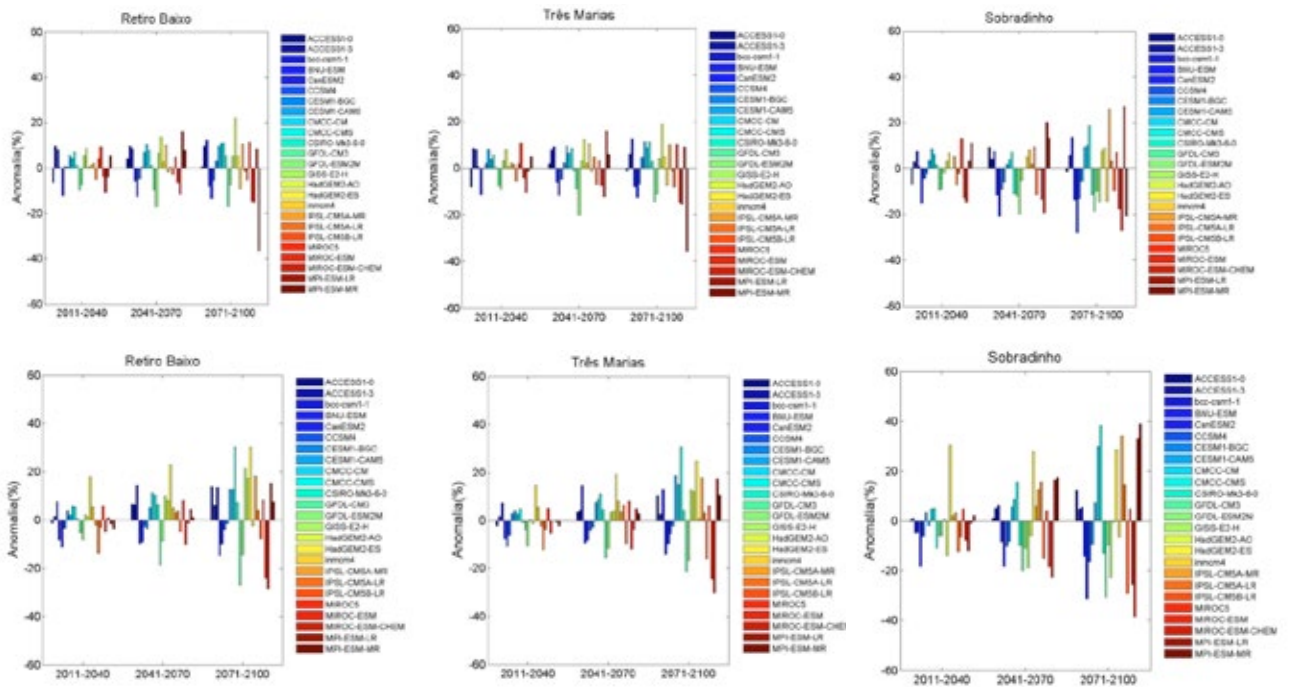


Figura 5: Anomalias percentuais das vazões de 2011 a 2100 em usando o RCP4.5 (linha superior) e o RCP8.5 (linha inferior).

Isso é esperado, já que os modelos não mostram concordância quanto à precipitação do século XXI e as vazões dependem em muito do comportamento da precipitação. Em particular, porém, os cinco modelos classificados como melhores apontam para aumento nas vazões em Retiro Baixo, Três Marias e Sobradinho. A mudança na vazão nessas condições fica entre -10 % e -15%, apontando diminuição nas afluições. Tudo considerado, verifica-se nos resultados do RCP8.5 que as vazões de 2071 a 2100, comparadas às vazões presentes, apresentam variação bem maior em relação ao início do século XXI.

## Conclusão

Tendo em vista o pendor sempre crescente da importância da gestão dos recursos hídricos na bacia do São Francisco, este trabalho busca investigar, do ponto de vista do estado da arte do entendimento das mudanças climáticas - representado pelos modelos climáticos globais utilizados pelo IPCC - potenciais impactos nos dois cenários RCP - RCP 4.5 e 8.5 - para os usos hídricos na bacia em três horizontes (de 2011 a 2040, de 2041 a 2070 e de 2071 a 2100).

Dada as incertezas inerentes a estudos de modelagem climática de longo prazo, são utilizados como quadro

metodológico os resultados climáticos dos 25 modelos globais disponibilizados pelo IPCC por meio do CMIP5. A partir da evapotranspiração e da precipitação obtidas dos modelos globais, é utilizado um modelo chuva-vazão para estimativa das vazões nos hidrossistemas da bacia.

Como conclusão aponta-se:

- Tendência de incremento nas temperaturas sobre a área da bacia do rio São Francisco.
- Tendência de aumento da evapotranspiração, correspondente aos incrementos na temperatura, chegando a 3% para o RCP 8.5 no período de 2071 a 2100,
- No caso das vazões, distintamente das claras tendências das temperaturas e evapotranspirações, os resultados obtidos apontam divergência entre os diversos modelos climáticos, refletindo a maior dificuldade na determinação dos sinais de precipitação.

Assim, tendo em vista os resultados obtidos, recomenda-se a escrupulosa consideração dos usos da bacia que, sem perder de vista o significado econômico do recurso hídrico, tem de mais e melhor desenvolver estratégias para lidar com os resultados de crescente incerteza apontados.

## Fontes

HARGREAVES, G.H. Potential Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil. Logan: Utah State University, 1974.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KLING, H.; FUCHS, M.; PAULIM, M. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. **Journal of Hydrology**, v. 424-425, p. 264-277, 2012

SILVEIRA, C.S. et al. Sazonalidade da Precipitação Sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro nas Simulações do IPCCAR4. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.2, p125-134, 2012.

WILBY, R.L.; DESSAY, S. Robust adaptation to climate change. **Weather**, v. 65, n.7, p.180-185, 2010.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Science**. San Diego: Academic Press, 1995.



## ANEXO C – OUTORGA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Por Fernando Antônio Rodriguez<sup>7</sup>

### Introdução

A alocação de água e os sistemas de outorga de direito de uso de recursos hídricos terão que se adaptar aos efeitos das mudanças climáticas, pois poderão produzir maior frequência de secas e cheias e mudanças nos regimes de vazão, com implicações nas atividades humanas. Entretanto, ainda não é possível quantificar os efeitos de mudanças climáticas e, portanto, o ajuste de normas e procedimentos que orientam a alocação e outorga será um grande desafio. Além disso, tal ajuste deverá considerar as novas realidades e projeções sociais, econômicas, políticas e institucionais, uma vez que se vive em um mundo em mudanças em todos os sentidos. Assim, os regimes de alocação devem ser capazes de se adaptarem às previstas mudanças de demanda e disponibilidade hídrica.

Muitos estudos pesquisados não deixam dúvidas de que as mudanças climáticas estão em curso; vive-se mudanças em diversas dimensões, sejam elas econômicas, sociais, urbanas, hidroclimáticas, entre outras. Estudos pesquisados mostram que as mudanças climáticas estão tendo um impacto significativo nas precipitações e no ciclo hidrológico e está afetando a disponibilidade de água superficial, assim como a umidade do solo e a recarga de águas subterrâneas. Essas mudanças demandarão ajustes nos sistemas de outorga e alocação de água, uma vez que os indicadores e vazões de referência comumente usados no Brasil para alocação de água poderão ser alterados.

Além disso, ainda prevalecem grandes incertezas quanto às mudanças nas variáveis hidrológicas, como precipitação, evapotranspiração e escoamento superficial. Ainda

não se tem elementos para aferir a ordem de grandeza desses impactos para se planejar com eficiência, eficácia e efetividade. As incertezas sobre os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos são principalmente devido às incertezas do que vai ocorrer com a precipitação e menos sobre a intensificação do efeito estufas pela emissão de gases (Döll et al., 2003; Arnell 2004), sobre a sensibilidade do clima (Prudhomme et al., 2003), ou sobre os modelos hidrológicos (Kaspar, 2003). Como se tem que trabalhar com projeções sobre o futuro do clima, é natural ter preocupações sobre o tratamento das incertezas, razão porque se aborda essa questão neste documento. As incertezas atuais acerca de tendências e mudanças em regiões e bacias específicas requerem enfoques de gestão que incorporem um maior grau de flexibilidade. Portanto, o desafio que a comunidade de gestores de água enfrenta não é, apenas, a adaptação das mudanças climáticas específicas, mas também a adaptação às incertezas adicionais associadas aos cenários de mudança climática.

A dificuldade de previsão de alterações hidrológicas decorre, também, da deficiência dos modelos climáticos, cujas escalas globais e regionais estão diferentes da escala necessária para gestão de recursos hídricos, e dos modelos hidrológicos. Os modelos climatológicos utilizam resolução espacial da ordem de dezenas de quilômetros quadrados, enquanto que os modelos de gestão hídrica de vazões utilizam resolução de poucos quilômetros quadrados. Ainda que modelos hidrológicos diferentes possam produzir resultados diferentes (em termos de vazão) para um insumo dado (em termos de precipitação), as maiores incertezas quanto aos efeitos do clima sobre a vazão vêm das incertezas dos cenários das mudanças climáticas e de seus efeitos sobre a precipitação. Por exemplo, Pagano et al. (2009) apud Frey (2012) explicam a necessidade de atualização rápida de dados em um sistema de previsão hídrica. Esses autores introduziram um modelo que atualiza diariamente a avaliação de oferta de água. Entretanto, esse modelo usa regressões estatísticas baseadas no equivalente de neve e na precipitação, e não considera operações de reservatórios. Portanto, a introdução de novos sistemas de outorga demandará, também, aperfeiçoamentos dos atuais modelos climáticos e hidrológicos e de suporte à decisão.

A adaptação de sistemas de outorga requererá, também, fortalecimento da capacidade institucional. Serão exigidas capacitação e revisão mais frequentes de ferramentas, como os planos de recursos hídricos e os processos

<sup>7</sup> Este documento é um resumo dos produtos do contrato nº 114113, de autoria do consultor Fernando Antônio Rodriguez. Este contrato foi celebrado com a ANA no âmbito do projeto de cooperação técnica BRA/IICA/12/003-ANA/INTERAGUAS, que teve por objetivo o aperfeiçoamento dos processos de outorga e alocação de água tendo em vista as incertezas decorrentes de eventuais mudanças climáticas e de regimes hidrológicos. Esse contrato resultou em três produtos: um plano de trabalho, um relatório RT1 contendo levantamento de experiências internacionais de adaptação de regimes de outorga e alocação de água, e um relatório RT2, que apresenta a identificação das vantagens e desvantagens das metodologias de aperfeiçoamento da outorga e alocação de água adotadas internacionalmente, bem como a respectiva análise de perspectiva de utilização no caso brasileiro.

participativos de decisão. Dadas as incertezas dos climas futuros em bacias específicas, os tomadores de decisão desejarão utilizar um leque de cenários para verificar a sensibilidade e a vulnerabilidades de setores específicos de todo o sistema. Isto permitirá que as partes interessadas passem por um processo de “autodescobrimento”. Certas experiências transculturais têm demonstrado que utilizar novos instrumentos com frequência resulta numa única forma das pessoas mudarem suas atitudes básicas. Utilizar instrumentos inovadores e apropriados será essencial para que as pessoas saiam de seu marco mental atual e de suas pautas de conduta para começar a participar da adaptação às mudanças climáticas (UICN, 2003).

Por fim, será decisiva a ampla participação das partes interessadas, dado que os riscos e incertezas atribuídas às mudanças climáticas não poderão ser tratadas só pelos especialistas. O conhecimento e a competência dos profissionais da água deverão complementar-se com os pontos de vista, opiniões e conhecimento de todas as partes envolvidas e interessadas. Sem um apoio político aos esforços de adaptação, os líderes políticos e comerciais darão prioridade a outras necessidades e se absterão de tomar decisões que ajudem à sociedade em geral, o setor hídrico em particular, a adaptar-se às mudanças climáticas. Ao se alterar critérios de alocação e outorga, poderá haver reações e dificuldades de implementação de medidas necessárias.

Considerando esses aspectos, este documento revisa experiências de diversos países na adaptação de sistemas de gestão, com alguma relação com sistemas de outorga e alocação de água, às mudanças climáticas. Ao final, são propostos aperfeiçoamentos do sistema de outorga brasileiro, a partir de elementos dessas experiências internacionais e da literatura especializada.

## Experiências internacionais

Diversos países têm promovido aperfeiçoamentos em seus sistemas de gestão de recursos hídricos em função da perspectiva de mudança do clima. Aqui são revisadas algumas experiências da Austrália, Estados Unidos, Canadá, União Europeia, Israel, Chile, México e África do Sul, cujos elementos mais relevantes são resumidos na Tabela I.

### Austrália

Na Austrália, a Iniciativa Nacional da Água determina diretrizes para os planos de recursos hídricos, incluindo

orientações sobre mudanças climáticas. Por exemplo, determina que planos de recursos hídricos contemplem tanto as águas de superfície como as subterrâneas e devem estar em consonância com os planos regionais de gestão dos recursos naturais, desenvolvidos em consulta com todas as partes interessadas com base na melhor avaliação socioeconômica. Essa iniciativa representa uma reforma no sistema de gestão, que requer a separação dos direitos da água do direito sobre a terra como um primeiro passo necessário para expandir o mercado de direitos de água. Essa reforma, também, busca abrir o arranjo desse mercado, de modo a incluir transferências de água entre estados. O mercado de direitos de água é uma peça central da reforma nacional de água. O potencial benefício dessa ferramenta, que permite assegurar que os recursos hídricos sejam alocados para seu maior valor de uso, tem sido reconhecido. Entretanto, esses benefícios não podem ser completamente concretizados até que o bom funcionamento do mercado de água seja alcançado. Um desafio imediato nessa área está em melhorar o funcionamento do mercado por meio da redução dos custos e do tempo de processamento de transações. Além das diretrizes nacionais, existem experiências regionais que guardam relação com a adaptação de sistemas de alocação de água às mudanças climáticas.

**Bacia do Murray Darling.** A sobrealocação permanece um grande problema na Austrália, particularmente na bacia dos rios Murray e Darling. Nessa bacia, quatro instrumentos podem ou têm sido adaptados às mudanças climáticas: o sistema de gatilhos, a definição de limites de retirada de água, os mercados de água e os planos de recursos hídricos.

O sistema de gatilho é uma ferramenta de alerta e intervenção de acordo com o nível de escassez de água atingido, o que faz parte dos acordos do direito de uso. No primeiro segundo e terceiro níveis é suspensa a autorização de uso de água.

Outro instrumento adotado na gestão e contemplado no plano de recursos hídricos da bacia do rio Murray - Darling é o conceito de limite de retirada de água. Para adaptação às mudanças climáticas, os limites de retirada atualmente usados serão substituídos pelos limites sustentáveis de retirada de água - *Sustainable Diversion Limits* (SDL), no plano de bacia de 2019. Esses limites objetivam atingir o uso consuntivo sustentável na bacia de modo a atender às necessidades ecológicas, comerciais e sociais por meio de um pacto de alocação de água entre as unidades federadas envolvidas.

O mercado de direitos de água permite a realocação de água entre usuários estabelecidos e a entrada de novos usuários na bacia. Com os preços praticados automaticamente ajustados à disponibilidade hídrica existente, o mercado de águas é considerado pelos australianos como uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas.

Todos os planos de recursos hídricos devem especificar o regime de retirada sustentável da água para o sistema. Estabelecer o regime de retirada de água sustentável exige a identificação dos elementos fundamentais do ambiente, e serviços essenciais e funções dos ecossistemas a serem protegidos, e as suas necessidades de água. Isso implicará, em algum nível, o possível impacto da variabilidade do clima futuro e a necessidade de considerar possíveis *trade-offs* entre os resultados ambientais e uso de consumo, que são analisados nos planos de recursos hídricos.

**Perth e Bacias Ocidentais:** A sobrealocação de água e o sobreuso permanecem como desafios nacionais para se atingir os resultados ambientais nessas regiões. A expansão da horticultura nessa região vai exigir reúso de água com o tratamento de águas residuárias. Além disso, o Plano Estadual de água estabeleceu uma meta de 20% de melhoria na eficiência do uso da água na agricultura e indústria. Acredita-se que essa meta é atingível sem perda de resultados produtivos. Uma melhoria de 20% na eficiência reduzirá significativamente a demanda de água na região. A melhoria de eficiência dos usos da água também é entendida como estratégia de adaptação às mudanças do clima.

## Estados Unidos

Nos Estados Unidos, cada Estado estabelece seu sistema de gestão de recursos hídricos e alocação de água segundo normas e regulamentos estaduais. Aqui, são apresentadas algumas experiências dos estados da Califórnia, Idaho e Texas.

**Califórnia.** O sistema "híbrido" de direitos sobre o uso da água, incluindo direitos de ribeirinhos (*riparian rights*) e direitos de apropriação prévia (*prior appropriation*), e a infraestrutura hídrica existente são elementos de enfrentamento das mudanças climáticas. A experiência californiana de alocação de água também inclui a gestão da demanda por meio de técnicas de conservação de água e sistemas de alocação de água em situação de escassez. O sistema de direito de água da Califórnia provê segurança para preservar o direito de uso da água e, ao mesmo

tempo, permite a flexibilidade para levar a água onde é mais necessária. O Estado da Califórnia tem dispositivo constitucional e jurisprudência que permite interromper o uso de água que não é considerado razoável.

**Idaho.** O Estado fornece mensalmente previsões que servem como indicador das disponibilidades hídricas. Água superficial e subterrânea constituem sistemas regulados diferentemente. Portanto, há esforços para a articulação da gestão dos dois sistemas. Tanto a água superficial como subterrânea obedecem ao critério de apropriação prévia, mas os usuários de águas subterrânea são considerados como juniores (com menos prioridade). Existe a possibilidade de ressarcimento financeiro, correspondente aos benefícios médios, aos detentores de outorgas mais antigas, quando outorgados mais recentes (juniores) requerem água. Há incentivos para o planejamento e monitoramento até o nível de município. Também há estímulos para o desenvolvimento de estudos e planejamentos que incorporem mudanças climáticas.

**Texas.** Existem grandes complexidades nesse Estado, como rios compartilhados entre países (EUA e México), que demandam soluções para melhoria da gestão. As modelagens de alocação de água já contemplam cenários de mudanças climáticas, exigindo negociações e avaliações de políticas hídricas para fazer face às mudanças climáticas. Os resultados dos modelos climáticos são inseridos no modelo de alocação de água adotado no Estado. Também têm sido realizados investimentos em pesquisas aplicadas para o desenvolvimento de novos modelos. Alguns acordos de alocação de água em rios compartilhados (como o Pecos, em que o Estado de New Mexico se compromete a entregar uma vazão acordada na divisa dos dois estados) podem ser reavaliados em razão de mudanças climáticas. A lei vigente tornou insustentável o uso de água subterrânea, o que demanda sua revisão, inclusive de usos de águas superficiais, de modo que o mercado de direitos de água possa funcionar eficientemente, assegurando os direitos existentes e a proteção do meio ambiente. Por fim, o *Texas Water Development Board (TWDB)* administra o Banco de águas do Texas, o qual foi instituído em 1993 para facilitar a transferência, venda ou *leasing* do direito de uso da água em todo o território desse Estado.

## Canadá

O sistema de direito de águas não é mais considerado adequado e suficiente para administrar os crescentes

conflitos entre usuários de água. Assim, está em curso um processo de revisão da legislação. O atual sistema de direito de uso de água e suas leis é considerado insuficiente para conter o crescente conflito entre usuários de água e para preservar e proteger a saúde dos rios da província de Alberta. Um novo modelo de alocação de água capaz de auxiliar na administração dos conflitos pelo uso dos recursos hídricos está sendo desenvolvido. Também, planos de recursos hídricos estão sendo revisados de modo a contemplar cenários de mudanças climáticas. O Canadá tem desenvolvido em várias de suas províncias estudos e planejamento para a gestão sustentável dos recursos hídricos, principalmente para fazer face às mudanças climáticas.

## União Europeia

A Directiva Quadro da Água, estabelecida pela União Europeia, faz recomendações muito gerais, determinando ser necessário tornar mais eficiente a alocação dos recursos hídricos e fundos relacionados. A União Europeia e os Estados-Membros devem prosseguir os seus esforços em sete áreas-chave definidas, incluindo preços da água, distribuição de água, financiamento, gestão de risco de seca, infraestrutura adicional para o abastecimento de água, tecnologias e práticas de uso eficiente da água, disseminação de uma cultura de economia de água e melhoria da coleta de dados e do conhecimento. Nos termos do Art. 9º da Directiva Quadro da Água, os Estados-Membros devem fixar um preço justo, devido, primeiro, a uma política de preços que se baseia na análise econômica dos usos e do valor da água e, segundo, para implementação de programas que forcem a redução do consumo. A Directiva Quadro da Água também orienta os países membros a inserir as mudanças climáticas em seus planejamentos dos recursos hídricos.

## Israel

A alocação de água é a questão mais delicada da tensão entre Israel e os Palestinos e, por isso, Israel tem investido muito em encontrar uma solução, pois espera que vai se agravar com as mudanças climáticas. Dentre as alternativas, há a obrigatoriedade de que toda água não utilizada seja destinada à recarga de aquíferos e do reúso de águas residuárias após tratada. Segundo a Lei

da Água de 1959, a água é de propriedade do Estado e é sua responsabilidade disponibilizá-la em quantidade e qualidade. Assim, Israel desenvolve campanhas para informar à sociedade que medidas técnicas e econômicas estão sendo tomadas para redução do consumo. A importação de água também é tida como alternativa: Israel importa da Turquia 50 hm<sup>3</sup>/ano. O plano diretor de recursos hídricos desenvolvido pelo American-Israeli Cooperative Enterprise, em 2012, contempla cenários de mudanças climáticas.

## Chile

Tem o mais complexo modelo institucional, pulverizado, que dificulta a eficiência e eficácia de uma política de gestão de recursos hídricos. Enfrenta sérios problemas de sobrealocação de água e fragilidade institucional no que se refere à gestão dos recursos hídricos. Esses problemas levaram a questionamentos sobre o modelo de alocação de água existente, fortemente baseado em um mercado livre de águas, sem controle governamental. Esse modelo então passou por uma revisão de modo a incorporar mecanismos mais robustos de regulação do acesso água.

## México

O México tem estabelecido critérios para definição de reservas de água para ecossistemas e para a sociedade. Também, o Banco de Água, braço da Comissão Nacional de Água - CONAGUA, é um instrumento de alocação flexível, tido como uma estratégia para adaptação às mudanças climáticas. Por fim, os Planos de Ação Climáticos Municipais e o Plano Nacional de Água (revisado a cada seis anos) estão sendo adequados de modo a incluir a previsão de efeitos das mudanças climáticas.

## África do Sul

A África do Sul tem investido um mecanismo de comunicação chamado *Climate and Impacts Factsheet Series*, orientado a transmitir à sociedade os resultados e as mensagens oriundas dos programas de pesquisas e modelagens de cenários das mudanças climáticas.

**Tabela 1** – Elementos relevantes de experiências internacionais

País	Elementos relevantes
Austrália	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diretrizes nacionais para planos de recursos hídricos.</li> <li>• Aperfeiçoamentos do mercado de direitos de água para reduzir custos de transação e incluir transferências entre estados.</li> <li>• Mercado de direitos de água que permitem a realocação de água entre usuários estabelecidos e a entrada de novos usuários na bacia.</li> <li>• Sistema de gatilhos associando ações planejadas e níveis de escassez.</li> <li>• Definição de limites sustentáveis de retirada de água.</li> <li>• Adequação de planos de recursos hídricos, de modo a incorporar análises de trade-off entre alternativas de alocação de água.</li> </ul>
Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição clara de prioridades de acesso à água por meio da doutrina de apropriação prévia.</li> <li>• Gestão da demanda por meio do incentivo à conservação de água.</li> <li>• Dispositivo regulatório que permite a suspensão de usos em períodos de escassez.</li> <li>• Banco de água, que permite a realocação de água e a minimização de impactos econômicos em períodos de escassez.</li> <li>• Realocação de água com compensação financeira entre usuários de água.</li> <li>• Incorporação de cenários de mudanças climáticas nos modelos e planos de alocação de água.</li> <li>• Desenvolvimentos de estudos e planos de adaptação às mudanças climáticas.</li> </ul>
Canadá	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisão da legislação e de planos de recursos hídricos de modo a incorporar cenários de mudanças climáticas.</li> <li>• Desenvolvimentos de estudos e planos de adaptação às mudanças climáticas.</li> </ul>
União Europeia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diretivas para os países membros tornarem mais eficientes os usos da água e os sistemas de alocação e a incorporarem as mudanças climáticas nos planos de recursos hídricos.</li> </ul>
Israel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos legais ao uso eficiente da água, recarga de aquíferos e reúso de água.</li> <li>• Importação de água.</li> <li>• Incorporação de cenários de mudanças climáticas em planos de recursos hídricos.</li> </ul>
Chile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiências do modelo baseado no livre mercado e necessidade de incorporação de mecanismos de regulação do acesso à água.</li> </ul>
México	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecimento de critérios para definição de reservas de água para ecossistemas e para a sociedade.</li> <li>• Banco de água, como instrumento de realocação de água entre usuários.</li> <li>• Adequação dos planos de ação climáticos de municípios e plano nacional de água de modo a incluir cenários de mudanças climáticas.</li> </ul>
África do Sul	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanismo de comunicação para transmitir à sociedade os resultados e as mensagens oriundas dos programas de pesquisas e modelagens de cenários das mudanças climáticas.</li> </ul>

## Propostas de aperfeiçoamento da outorga

Dentre as experiências internacionais analisadas, não foram encontrados modelos ou iniciativas concretas de adaptação em sistemas de outorga ou alocação de água. Entretanto, foram encontrados elementos nessas experiências que são merecedoras de estudos mais aprofundados e direcionados para o aperfeiçoamento de sistemas de outorga no Brasil. Assim, faz-se a seguir uma sucinta análise de elementos dessas experiências, lembrando sempre que a maior conclusão deste trabalho é que as soluções devem ser locais e contar com a participação dos atores envolvidos. Com bases nesses aspectos e pesquisas reportadas na literatura especializada, são apresentadas na Tabela 2 propostas de aperfeiçoamento dos sistemas de outorga no Brasil.

Primeiramente, é necessário ampliar e aprofundar o conhecimento científico em relação ao funcionamento hidrológico e às interações entre solo, clima e vegetação na escala de bacias hidrográficas, para melhor avaliação dos impactos das mudanças climáticas e posterior aperfeiçoamento de sistemas de outorga. O gerenciamento adequado dos recursos hídricos (incluindo a alocação de água) deveria contar com modelos matemáticos e ecológicos capazes de gerar possíveis cenários de impactos de mudanças climáticas sobre a disponibilidade de recursos hídricos, como extremos hidrológicos e secas prolongadas.

Para incorporação de cenários de mudanças climáticas em processos de outorga e alocação de água, constata-se que será vantajoso envidar esforços para estudar em mais detalhes o modelo utilizado no Estado do Texas para alocação de água (o modelo WRAP), que já permite



a inserção de elementos dos cenários das mudanças climáticas em seu contexto. Nesse ponto, é importante avaliar sua aplicabilidade no Brasil e quais seriam os ajustes necessários para seu aprimoramento e uso nas bacias hidrográficas brasileiras. Como os efeitos das mudanças climáticas serão diferentes para cada uma das regiões geográficas do país, é preciso que esse modelo seja adaptado por características das bacias hidrográficas onde se mostrarem aplicáveis.

Igualmente importante é identificar áreas de maior risco de impactos hidrológicos e desenvolver projeções sobre as possíveis alterações de disponibilidade hídrica. A partir dessa identificação de áreas mais vulneráveis e potenciais impactos, os sistemas de outorga e alocação de água poderiam ser ajustados de modo a incluir as possíveis alterações de disponibilidade hídrica em seus processos de tomada de decisão.

Outra experiência analisada que deve ser aprofundada e estudada por bacia hidrográfica ou corpo hídrico são as aplicações de gatilhos para diferentes estágios de estresse hídrico (Austrália e cidade de Lubock, no Texas, EUA). O uso de gatilhos pode ser um mecanismo que ajusta o sistema de outorga em situações críticas. Mecanismo semelhante são os adotados pela ANA para alocação de água no rio Verde Grande, que poderia ser aperfeiçoado de modo a incorporar incertezas quanto à disponibilidade hídrica decorrentes de mudanças climáticas. Esses mecanismos merecem especial atenção e podem ser aplicados em outras bacias críticas do país, logicamente que com as adaptações às suas características.

A maioria dos países estudados está voltando atenção aos planos de recursos hídricos de suas bacias hidrográficas, com a inserção da análise dos impactos e efeitos das mudanças climáticas. Este é outro elemento que o Brasil terá que incorporar em seus futuros planos de bacias hidrográficas, bem como nos planos de recursos hídricos das unidades federadas e do Distrito Federal. São várias as experiências, ainda que incipientes (por exemplo, Canadá e Austrália), que merecem referência e acompanhamento para se comparar com os aperfeiçoamentos que forem sendo introduzidos na gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Além disso, observa-se como imperativa as adaptações na governança dos recursos hídricos face às mudanças climáticas. A Lei 9.433, de 1997, considerada uma das mais avançadas do mundo, estabelece princípios e diretrizes para a gestão dos recursos hídricos e já contempla descentralização da gestão, o uso de instrumentos

econômicos (cobrança pelo uso da água) e a participação pública no processo decisório (Braga et al 2008). Esse processo de descentralização é fundamental em um país complexo e extenso como o Brasil, dos pontos de vista ecológico, econômico, social e antropológico. Entretanto, a gestão integrada dos recursos hídricos (incluindo a integração de sistemas de outorga) e o fortalecimento da integração e coordenação institucional no âmbito de bacias hidrográficas são medidas importantes no enfrentamento das complexidades geradas pelas mudanças climáticas globais (ABC, 2014). Também é preciso, em todos os casos, que decisões de compromisso resultem do encontro de todos os interesses. A aceitação de uma regra de alocação de água comum faz com que os conflitos sejam minimizados, o que, sem dúvida, constitui uma inovação política considerável.

## Conclusões e recomendações

A seguir são apresentadas conclusões e recomendações gerais quanto ao aperfeiçoamento dos sistemas de outorga e alocação de água do Brasil, à luz da análise das experiências internacionais estudadas e discussões desenvolvidas ao longo do trabalho.

Primeiro, é preciso investir em monitoramento meteorológico e hidrológico e no avanço do conhecimento científico sobre mudanças climáticas e seus efeitos sobre o comportamento hidrológico terrestre. Tal iniciativa poderá se beneficiar da integração dos equipamentos, recursos e profissionais. Também, a maior quantidade e confiabilidade de dados pode atenuar os efeitos de eventos climáticos críticos e embasar um sistema de outorga aprimorado; um sistema que leve em conta não só as mudanças climáticas, mas as flutuações cíclicas dos eventos críticos como as enchentes e secas. É um serviço público fundamental para acompanhamento das variações climatológicas e para avaliação se a mudança climática está de fato ocorrendo. Assim, tal serviço de informações tem impacto imenso na vida das pessoas, na economia e no desenvolvimento do país.

Em segundo lugar, as medidas identificadas para aperfeiçoamento de sistemas de outorga não serão efetivas sem a participação das comunidades afetadas pelas mudanças climáticas. Por isso, tem-se a convicção de que é necessário adotar medidas inovadoras de modo participativo para enfrentar situações de escassez de água, tanto em quantidade como em qualidade.

**Tabela 2 – Propostas de aperfeiçoamento da outorga**

<b>Aperfeiçoamento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Avaliação e sugestões</b>
Alocação participativa  (Sankarasubramanian et al, 2009)	Definição da alocação de água no curto prazo a partir de cenários de disponibilidade hídrica futura e de informações prestadas diretamente pelos usuários sobre demandas de água, benefícios econômicos, disposição a pagar e custos de desabastecimento de cada usuário de água.	Como se trata de um trabalho acadêmico e não de uma experiência efetivamente implantada, sugere-se avaliar em maior profundidade as possibilidades e oportunidades de implementação.
Avaliação da estabilidade da alocação de água (Ansink & Ruijs, 2008)	Avaliar o grau de estabilidade de regras de alocação de água usando princípios da teoria de jogos.	Como se trata de um trabalho acadêmico e não de uma experiência efetivamente implantada, sugere-se avaliar em maior profundidade as possibilidades e oportunidades de implementação.
Indução da adaptação a mudanças climáticas por meio da outorga (Margulis & Unterstell, 2014,  Ferraz, 1996)	Avaliação de custos e benefícios de medidas de adaptação a mudanças climáticas quando da definição de vazões de referência e planejamento da alocação de água.  Exigência de medidas de adaptação como requisitos para obtenção da outorga, como planos de aumento da eficiência e planos de contingência.	Estudos recentes já incorporam avaliações econômicas de medidas de adaptação às mudanças climáticas em diversos setores. Os processos de outorga e alocação de água podem incluir avaliações econômicas semelhantes, bem como incluir mecanismos regulatórios de indução à implementação de medidas de adaptação.
Vazões de referência associadas a cenários de mudança climática (Adam, 2011)	Desenvolver estudos para definição de vazões de referência associadas a cenários de mudanças climáticas por meio do uso de resultados de modelos climáticos como dados de entrada em modelos hidrológicos.  Rever periodicamente as vazões de referência (a cada cinco anos ou quando da ocorrência de eventos não observados), buscando-se avaliar a necessidade de revisão de outorgas.	Há ainda muitas incertezas nos cenários futuros de mudanças climáticas e consequências sobre a disponibilidade hídrica. Portanto, sugere-se cautela no uso desses cenários e aumento dos esforços de monitoramento e revisão periódica das vazões de referência usadas em processos de outorga e alocação de água.
Uso de gatilhos  ( <i>Council of Australian Governments</i> , 2010)	Definir limites de alocação de água e de reduções de consumo de água (e medidas associadas) de acordo com níveis pré-estabelecidos de disponibilidade hídrica.	Pode ser eficaz se houver envolvimento dos usuários na definição dos limites de alocação de água. Permite a alocação de água acima das vazões de referência, a riscos maiores de desatendimento. Sugere-se que sejam selecionadas áreas críticas, com riscos atualmente já excessivos, para implementação associada a programas de divulgação e capacitação dos usuários de água. Sugere-se que as experiências da Austrália e da cidade de Lubbock, EUA, sejam estudadas em maiores detalhes.
Planos de recursos hídricos ( <i>Council of Australian Governments</i> , 2010)	Avaliação da performance das ações propostas nos planos de recursos hídricos em diversos cenários de mudanças climáticas.  Aperfeiçoar os regulamentos que orientam a elaboração dos planos de recursos hídricos.  Definir esquemas de alocação de água no âmbito dos planos, após avaliação de custos e benefícios, e incertezas associadas aos diversos cenários de alocação de água.	A experiência internacional indica a necessidade de revisão mais frequente de planos de recursos hídricos, que devem incluir avaliações do grau de flexibilidade e robustez das soluções e ações propostas. Sugere-se que sejam avaliadas formas de regulamentação e orientação à elaboração de novos planos, de modo a incluir tais aperfeiçoamentos.
Mitigação de mudanças climáticas por meio da outorga ( <i>Carbon Disclosure Project</i> , 2012)	Definir requisitos referentes à redução da emissão de gases de efeito estufa para determinados usuários de água quando da obtenção de outorgas.	Diversas empresas privadas e usuários de água já fazem seus inventários de emissão de gases de efeito estufa. A outorga poderia ser o instrumento regulatório para induzir à redução dessas emissões, devendo-se considerar as estratégias e as possibilidades de cada usuário de água.
Análise de <i>trade-off</i> entre custos e riscos ( <i>Council of Australian Governments</i> , 2010)	Definir a faixa ótima de riscos associados ao limite de alocação de água em função dos custos decorrentes do desatendimento aos usuários de água.	A análise de custos e benefícios associados a níveis de risco de atendimento às demandas hídricas pode ser incorporada aos planos de alocação de água. Sugere-se que a experiência australiana seja estudada em maiores detalhes.
Incorporação de cenários de mudanças climáticas em processos de outorga e alocação de água (Wurbs, 2001)	Modelo de alocação de água usado no Texas, EUA, que permite a incorporação de cenários de mudanças climáticas nas avaliações de disponibilidade hídrica e confiabilidade do suprimento.	Pode oferecer algumas lições, pois trata-se de um sistema em operação atualmente. Sugere-se que seja aprofundado o estudo desse modelo por meio de visita técnica ao órgão de recursos hídricos do Texas, para avaliação de vantagens, dificuldades e possíveis adaptações.



Terceiro, sugere-se que os pedidos de outorgas, dependendo do porte do empreendimento, venham acompanhados de planos de contingências, para serem acionados quando se atingir níveis críticos de disponibilidade hídrica. Tais planos de contingência podem tornar a outorga um instrumento mais efetivo para a garantia do acesso à água em situações de estresse hídrico, de uma forma que implique nos menores custos possíveis para o solicitante da outorga, contribuindo, assim, para o desenvolvimento econômico e social regional. Assim, sugere-se que a ANA efetue um estudo mais aprofundado de como devem ser concebidos e acionados esses planos de contingência.

Além disso, é preciso antecipar e agir preventivamente, pois como os impactos das mudanças climáticas vão afetar todos os segmentos, tem-se que preparar desde já para se lidar com o novo cenário global do clima. Essa é uma questão estratégica para quem planeja o desenvolvimento do país, sem esquecer a necessidade de avaliação das variações climáticas naturais em comparação aos padrões das mudanças climáticas, que devem ser validados pela academia.

Adicionalmente, sugere-se que a ANA aloque corpo técnico para estudar o modelo WRAP desenvolvido no Texas, de modo a promover as adaptações necessárias para sua aplicação nas condições das bacias brasileiras, e uso dos modelos de circulação global que o Brasil está adotando no âmbito dos estudos de adaptação às mudanças do clima, conforme descrito anteriormente.

Em todas as análises feitas, vários aspectos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica ainda devem ser investigados em maiores detalhes e requerem validação científica. Assim, devem-se buscar soluções de adaptação às mudanças climáticas de forma flexível: a medida definida hoje deve maximizar a flexibilidade das decisões futuras, e ser desenvolvida com base em evidências: conhecimento científico, pesquisa, monitoramento e experiência prática. Nesse contexto, a revisão do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), concluída em 2011, aponta dentre as suas diretrizes a necessidade de internalizar as mudanças climáticas no processo de planejamento dos recursos hídricos e também para a necessidade de articulação da política nacional de recursos hídricos com outras políticas setoriais, embora não mencione as comparações e análises com as variações naturais do clima. Assim, é importante que o processo de planejamento incorpore cuidadosamente as incertezas predominantes no estágio atual do conhecimento, sobre

a magnitude e abrangência dos possíveis impactos e efeitos das mudanças climáticas na distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos.

Por fim, marcos de governança para convivência com as mudanças climáticas precisam ser adequadamente implementados em cada bacia hidrográfica, considerando (i) a adaptação às mudanças climáticas, por intermédio de um enfoque em ecossistemas; (ii) o desenvolvimento de enfoques integrados que prevejam intervenções de curto, médio e longo prazos, para adaptação às variações climáticas esperadas; (iii) as muitas dúvidas e incertezas sobre os impactos das mudanças climáticas – o que de fato é a variação do clima em si e o que é resultado de mudanças do clima; e (iv) a elevação da prioridade do tema na agenda política.

Este trabalho não permite tirar conclusões concretas sobre as causas de mudanças climáticas, mas levanta muitas dúvidas, as quais ainda carecem de embasamento técnico científico para permitir que essas recomendações sejam feitas. Por isso, ao final, o trabalho apresenta apenas sugestões e recomendações específicas referentes à adaptação de sistemas de outorga e alocação de água ao contexto de alterações futuras da disponibilidade hídrica, considerando-se as incertezas quanto às suas causas.

# ANEXO D – APLICAÇÃO DE METODOLOGIA CUSTO/BENEFÍCIO (*ECONOMICS OF CLIMATE ADAPTATION*)

Pela equipe do Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas

## Introdução

As mudanças climáticas trazem impactos, traduzidos em desastres naturais e escassez de recursos naturais, que já afetam e tendem a afetar ainda mais a economia e a sociedade brasileira. Nesse contexto, medidas adaptativas devem ser pensadas como alternativas para evitar danos maiores às pessoas e ativos sob risco.

Assim, um planejamento em adaptação faz-se necessário e pertinente para lidar com os riscos climáticos atuais e futuros. Dessa forma, dentre as diversas etapas de tal planejamento, o presente estudo<sup>8</sup> objetiva explorar a fase de priorização das medidas de adaptação a serem implementadas, aprofundando o entendimento do método de análise de custo-benefício (ACB) de medidas por meio de uma aplicação didática e prática do método *Economics of Climate Adaptation (ECA)*<sup>9</sup>, sempre que possível e conveniente trabalhando com dados reais<sup>10</sup>.

Para tanto, escolheu-se tema de interesse conjunto do Ministério do Meio Ambiente e Agência Nacional de Águas, ou seja, recursos hídricos dentro de uma bacia hidrográfica federal, qual seja: **bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ)** (Figura 1). A aplicação é focada nos usos para abastecimento urbano,

industrial e irrigação e nos riscos associados à escassez hídrica no futuro<sup>11</sup>.

## ACB e recursos hídricos

A identificação de riscos e vulnerabilidades climáticas (presentes e futuras) constitui a primeira etapa para a determinação de medidas de adaptação. Em seguida, é importante ranquear tais riscos e vulnerabilidades de acordo com suas ameaças e impactos. Por fim, medidas de adaptação devem ser estipuladas para abordar tais riscos e vulnerabilidades.

Nessa última etapa, além dos critérios adotados para auxiliar na própria definição das medidas de adaptação, são utilizadas ferramentas (Quadro 1) e métodos para priorizar as medidas identificadas, dentre os quais a Análise de Custo-Benefício (ACB)<sup>12</sup> é a mais utilizada quando a eficiência é o principal critério de decisão, dado que a ACB calcula e compara custos e benefícios, expressos em termos monetários, de cada medida considerada.

Assim, compara-se a projeção de situações atuais versus alternativas, quantificando ganhos e perdas resultantes de diferentes investimentos. Contudo, é válido ressaltar que há considerável dificuldade de incluir estimativas confiáveis de atributos que não possuem valor de mercado bem definidos, tais como a biodiversidade e os valores culturais.

O presente estudo adota o método *Economics of Climate Adaptation (ECA)* como base para conduzir tal análise de custo-benefício. Esse método possibilita gerenciar o risco climático total por meio da resposta às seguintes perguntas:

- 1) Onde e de que estamos em risco?
- 2) Qual é a magnitude da perda esperada?
- 3) Como poderíamos responder?

8 O presente documento sumariza o propósito, os métodos e os resultados utilizados e alcançados no Produto 3.0: Relatório da aplicação de metodologia custo-benefício (*Economics of Climate Adaptation*) em região e setor acordados, do Contrato Administrativo Nº 001 /2012, Processo Nº 02000.001975/2011-41 do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

9 A metodologia "*Economics of Climate Adaptation*" (ECA) é o produto de um grupo de trabalho formado entre o Fundo Global para o Meio Ambiente, McKinsey & Company, Swiss Re, Fundação Rockefeller, ClimateWorks Foundation, A Comissão Europeia e Standard Chartered Bank.

10 Apesar do esforço de se utilizar métodos e dados os mais próximos da realidade, existem simplificações e incertezas que devem ser consideradas. No entanto, devido seu alto grau de aderência com a realidade, próximos estudos mais aprofundados e completos poderão usá-lo como ponto de partida.

11 Uma vez que o presente estudo trata de uma aplicação metodológica e didática em um prazo limitado, optou-se por analisar prioritariamente o perigo de escassez hídrica e os riscos a ela atrelados. Sendo a qualidade da água influenciada pela escassez hídrica, esse risco também foi analisado, ainda que de maneira secundária no estudo. Ainda que os impactos das mudanças climáticas também possam aumentar a ocorrência de chuvas (e sua intensidade) e consequentes inundações, tal risco não foi abordado no estudo pelos motivos já destacados.

12 Análises de custo-benefício consideram os impactos, em termos microeconômicos, sobre o bem-estar e podem embasar políticas públicas correlatas ao projeto ou proposta em questão.

Figura 1: Localização da Bacia PCJ



Fonte: CONSÓRCIO PCJ (2012).

- 4) Como nós executamos?
- 5) Quais são os resultados e lições aprendidas?

O estudo tem como objetivo oferecer respostas para as três primeiras perguntas, sendo que seu produto final é a avaliação custo-benefício das medidas adaptativas propostas.

Para tanto, é avaliado o risco climático total, definido pelo risco proveniente das mudanças climáticas somados aos riscos existentes baseados em trajetórias previstas para indicadores socioeconômicos. Para realizar essa avaliação, são necessários cenários futuros do clima (no qual teremos que nos adaptar) e cenários futuros socioeconômicos da região definida.

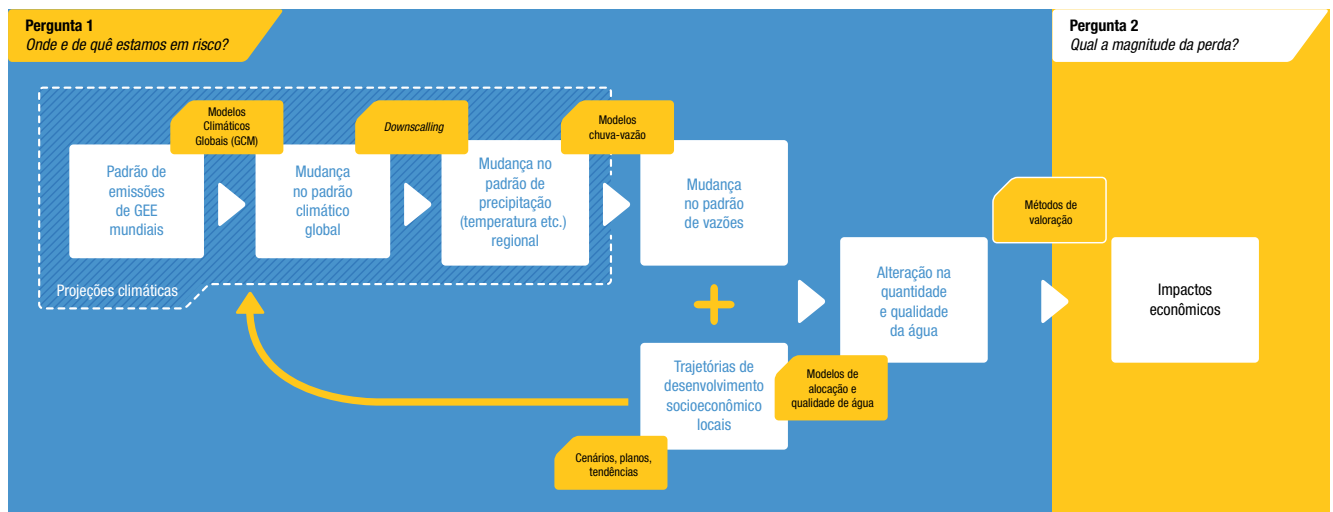
O setor de recursos hídricos está entre os mais afetados direta e indiretamente pelas mudanças climáticas globais. No caso específico da disponibilidade de água em quantidade e qualidade para usos de abastecimento humanos, industriais e irrigação, é possível estabelecer

uma cadeia de elementos desde a causa inicial, as emissões de GEE, até o risco climático total no setor (pergunta 1). Já a segunda pergunta “Qual a magnitude da perda?” é respondida por meio da tradução desses impactos físicos em impactos econômicos (Figura 2).

Conforme mencionado anteriormente, a análise dos riscos foi atrelada aos seguintes usos da água: (i) abastecimento (representado pela água captada pelas companhias de saneamento básico e distribuída para as residências, comércios, prestadores de serviço e pequenas indústrias); (ii) usos industriais (conforme outorgas concedidas pelo Comitê de Bacias, ou seja, indústrias com autoabastecimento); e (iii) usos rurais (dessedentação de animais e irrigação).

O horizonte adotado foi o ano de 2050, correspondendo, assim, a 35 anos a partir de 2015. Para facilitar a comunicação e a percepção do tomador de decisão, a apresentação das perdas associadas ao risco climático total é feita para o ano final adotado, apresentado, dessa forma, o valor anual perdido naquela data futura.

**Figura 2:** Fluxograma de elementos para pergunta 1 e 2 em recursos hídricos



### Quadro I. Bases de dados e ferramentas

Para as projeções climáticas globais, foram utilizados resultados do modelo climático global (GCM) HadGEM2-ES/INPE (adotando-se os cenários RCP 4.5 e 8.5 para toda a simulação, além do cenário de base - sem mudanças climáticas). Tais projeções servem de entrada para o modelo ETA-CPTEC, cujos dados de precipitação futura para a bacia PCJ foram a base para a modelagem estatística para calcular a mudança no padrão de vazão da bacia. Já para a análise de quantidade e qualidade de corpos d'água da bacia PCJ, foi utilizado o Sistema de Suporte a Decisão já existente para a bacia (SSD PCJq).

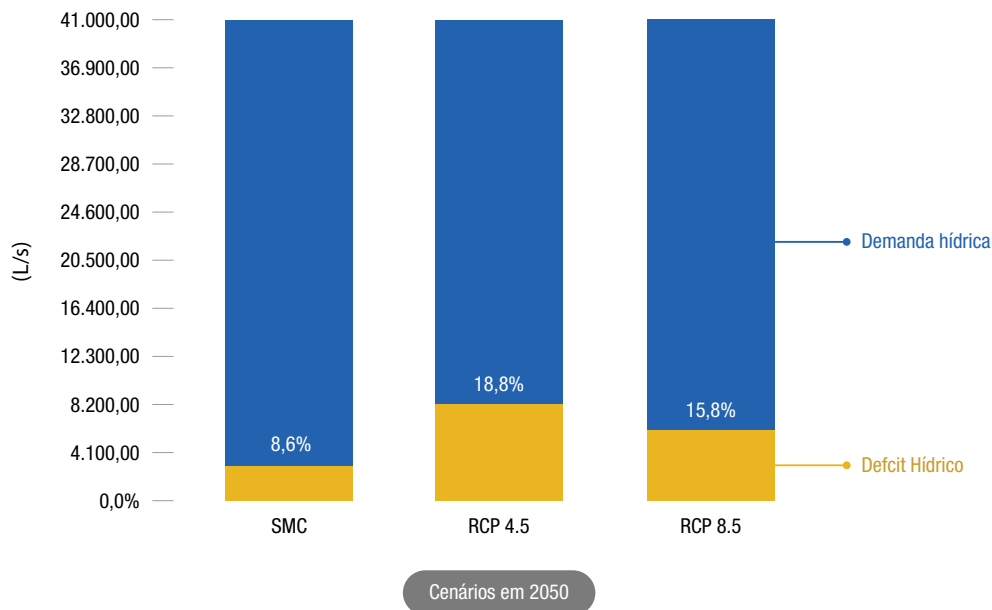
Adicionalmente, usou-se como insumos para a construção das projeções o Programa para Efetivação de Enquadramento da Bacia PCJ (COBRAPE, 2014), dados do IBGE referentes à população e às contas regionais, dados da Agência PCJ (2014) quanto às outorgas de água e dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento do Ministério das Cidades, assim como outras fontes relevantes descritas no relatório.

Por fim, a avaliação do custo-benefício das medidas (pergunta 3) cumpre seu objetivo de promover a comparação e a priorização das medidas a serem adotadas, uma vez que se obtém a visão do cenário futuro no ano referenciado em toda a complexidade das relações entre clima, sociedade e economia.

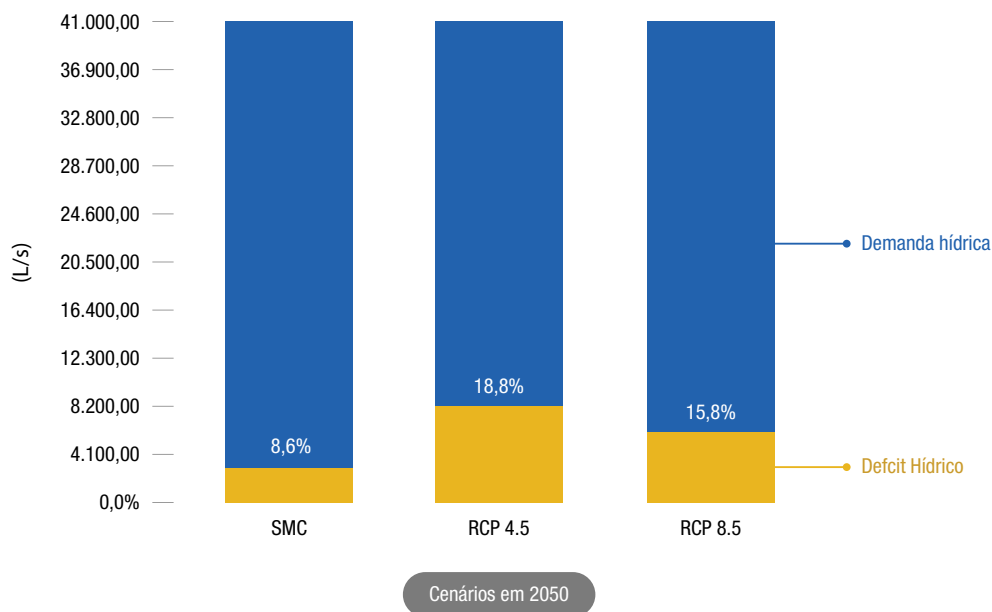
### Pergunta 1: De que estamos em risco?

Os primeiros resultados do estudo oferecem um diagnóstico completo para responder à primeira pergunta. A Figura 3 apresenta a participação dos usos na bacia do PCJ, enquanto a Figura 4 apresenta a demanda e o déficit hídrico esperado para 2050 em cenário sem mudanças climáticas (SMC) e nos cenários de MC moderadas (RCP 4.5) e extremas (RCP 8.5) no agregado e por categoria de uso.

**Figura 3** - Participação relativa dos usos na demanda total da bacia (%)



**Figura 4** - Demanda hídrica e déficit hídrico em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s) e por setor



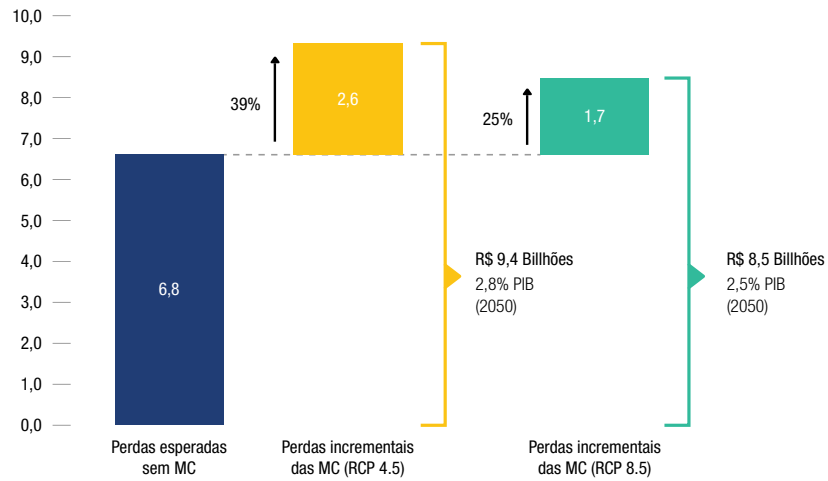
## Pergunta 2: Qual a magnitude da perda esperada?

Uma vez respondida a primeira pergunta e caracterizados os riscos físicos projetados para as alterações na quantidade e qualidade da água, calcularam-se os correlatos impactos econômicos a fim de estimar a magnitude da perda esperada.

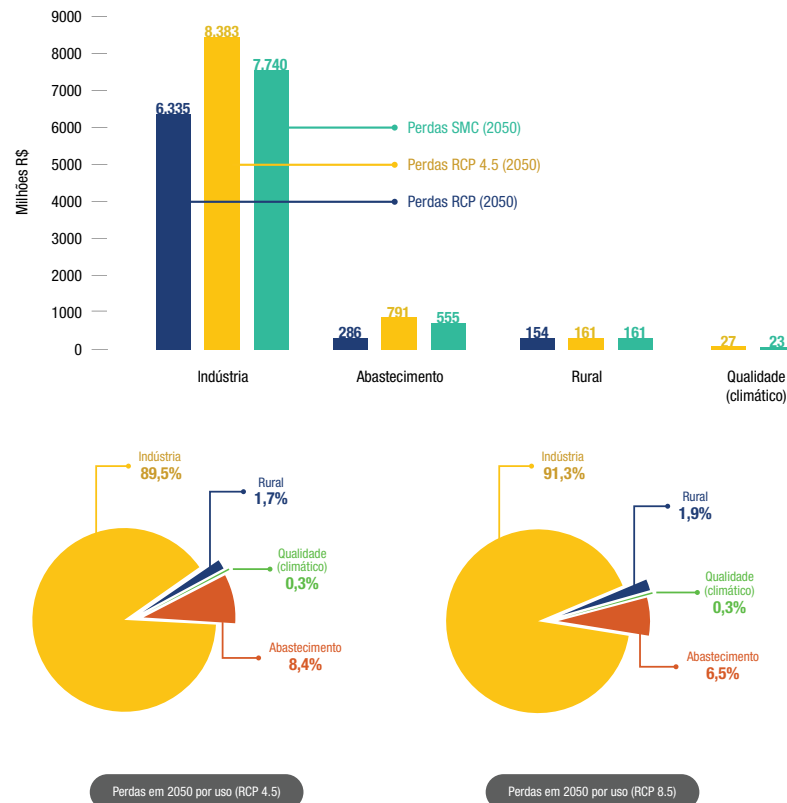
O cenário RCP 4.5 apresenta, no agregado das perdas das três categorias de usos (além das perdas associadas à queda de qualidade da água), um risco climático de 2,8% do PIB da bacia do PCJ no ano de 2050, equivalente a R\$ 9,36 bilhões. Já o cenário de emissões RCP 8.5 apresenta um risco climático menor, equivalente a 2,5% do PIB do PCJ de 2050.

Tais resultados são apresentados de forma agregada abaixo (Figura 5 e Figura 6) e discutidos por categoria de uso no Quadro 2.

**Figura 5 - Perdas esperadas na bacia (cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5) (bilhões R\$)**



**Figura 6 - Perdas absolutas e percentuais por setor nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (milhões R\$)**





## Quadro 2: Perdas por categoria de uso

### Perdas no abastecimento

O risco climático atual já embute uma chance de se deixar 4,6% dos habitantes da bacia sem água durante algum momento no ano de 2050. Com as mudanças climáticas no cenário de emissões RCP 4.5, essa porcentagem sobe para 13,7% da população.

A tradução monetária do custo de se repor o abastecimento dessa parcela da população é de R\$ 790 milhões. Em termos de litros faltantes, tem-se a necessidade de 19,7 bilhões.

Já no cenário de emissões RCP 8.5, 12% das pessoas ficam sob risco, com a reposição dos 13,9 bilhões de litros faltantes com um custo de R\$ 555 milhões.

### Perdas na indústria

O risco climático atual já embute uma chance de se deixar de produzir 5,6% do Valor Agregado Bruto (VAB) industrial durante o ano de 2050. Com as mudanças climáticas no cenário de emissões RCP 4.5, essa porcentagem sobe para 7,4%.

A tradução monetária da produção adicional não ocorrida é de R\$ 2,05 bilhões em 2050. Em termos de litros faltantes, tem-se a necessidade de 214 milhões de litros.

Já no cenário de emissões RCP 8.5, 6,8% do VAB industrial não é produzido e, em termos de volume de água, o déficit hídrico industrial em 2050 seria de 176 milhões de litros.

### Perdas nos usos rurais

O risco climático atual embute uma chance de se perder 8,2% do VAB agropecuário durante o ano de 2050. Com as mudanças climáticas em ambos os cenários de emissões (RCP 4.5 e 8.5), essa porcentagem sobe para 8,5%, representando um acréscimo de risco financeiro de R\$ 6,2 milhões.

O valor das perdas nos usos rurais representa um montante bastante inferior àquele sob risco na indústria por uma combinação de três fatores: (i) a preferência no abastecimento de dessedentação de animais sobre outros usos, exceto o consumo humano; (ii) a maior expressão das atividades industriais no valor econômico produzido na bacia do PCJ; e (iii) o fato de que a produção agrícola não é interrompida em períodos curtos de não abastecimento (ao contrário do que ocorre com a indústria).

### Perdas pelo impacto na qualidade da água

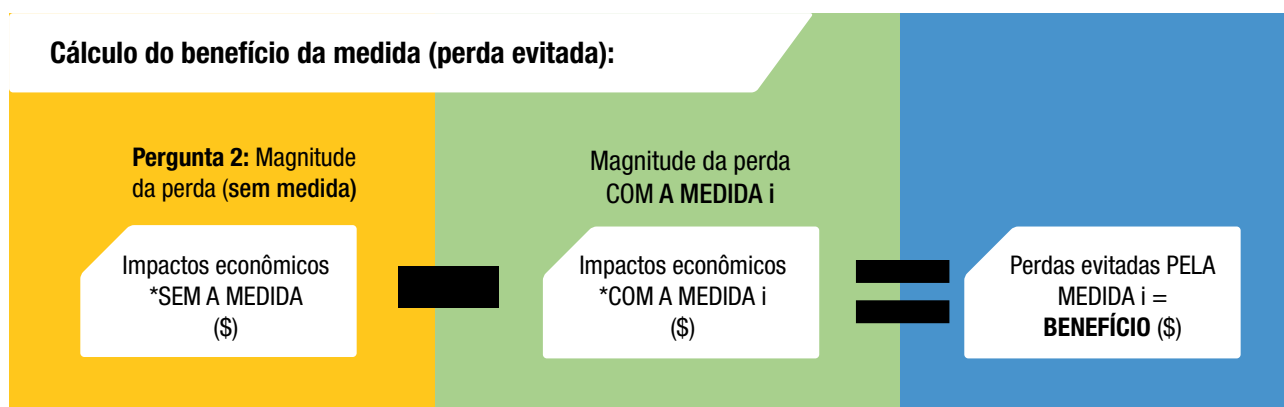
Essa categoria de custos não se mostra muito expressiva em valor frente às modificações de vazão decorrentes das MC. É importante ressaltar que, para a valoração dos custos associados à perda de qualidade, não foi considerado o enquadramento dos corpos d'água, mas somente alterações de classes entre cenários com e sem mudanças climáticas.

No cenário RCP 4.5, cinco municípios sofrem alterações nas classes de seus rios, os obrigando a aumentar suas despesas operacionais, acarretando, em conjunto, em um acréscimo de R\$ 27 milhões no ano de 2050.

Já no cenário de emissões RCP 8.5, apenas dois municípios têm suas classes alteradas, e a diferença financeira dessa deterioração monta em R\$ 22,8 milhões no ano de 2050.



Figura 7: Cálculo do benefício - perda evitada



### Pergunta 3: Como responder? Medidas de adaptação

Uma vez definidos o risco e a magnitude da perda esperada, o próximo passo é desenvolver e verificar alternativas viáveis para responder a esse risco, isto é, as medidas de adaptação possíveis. Para tanto, tais medidas foram levantadas em *workshops* realizados junto a especialistas do setor.

Assim, analisou-se o custo das medidas e a perda esperada evitada (benefício) decorrente de sua implementação. Uma lista das medidas consideradas no estudo é apresentada ao final do deste sumário (**Tabela 3**).

Cada uma das medidas adaptativas incide essencialmente em um dos dois fatores: na vazão dos corpos d'água aumentando a oferta ou nos cenários futuros de demanda. Com as novas perdas calculadas para cada medida analisada, basta subtrai-las das perdas calculadas no cenário sem medidas, sua diferença sendo a perda evitada pela medida, logo seu benefício (Figura 7).

A Figura 8 mostra como cada medida contribui com a redução do déficit hídrico previsto para 2050 em cada setor nos dois cenários de clima futuro.

As três medidas infraestruturais (A - Barragem, B - Transposição, C - Redução das perdas) possuem alto impacto positivo. A medida D-Saneamento apresenta um aumento de déficit. Isso se explica pela realocação de água na bacia devido à maior coleta e tratamento de água. Com exceção das medidas H-Tarifa e I-Outorga Indústria, o impacto geral das medidas de gestão de demanda é baixo.

Por fim, a Figura 9 apresenta o resultado final da aplicação da ACB, em que as informações de custo-benefício e benefício total (perdas evitadas) das medidas são sintetizadas em um gráfico. A altura das barras representa o C/B de cada medida, sendo aquelas abaixo de 1 custo-benéficas naquele cenário. Já as larguras das barras representam o total de benefício (perda evitada) das mesmas. Similarmente, a Figura 10 retrata as razões custo-benefício de cada medida e o benefício total de cada em termos econômicos.

O resultado da ACB ordena as medidas adaptativas em decorrência de sua eficiência econômica. As duas medidas que destoam das demais por terem excelentes razões de custo-benefício e também grandes montas de perdas evitadas (benefícios) são as barragens<sup>13</sup> e o aumento da tarifa da água na outorga para os usuários industriais com autoabastecimento.

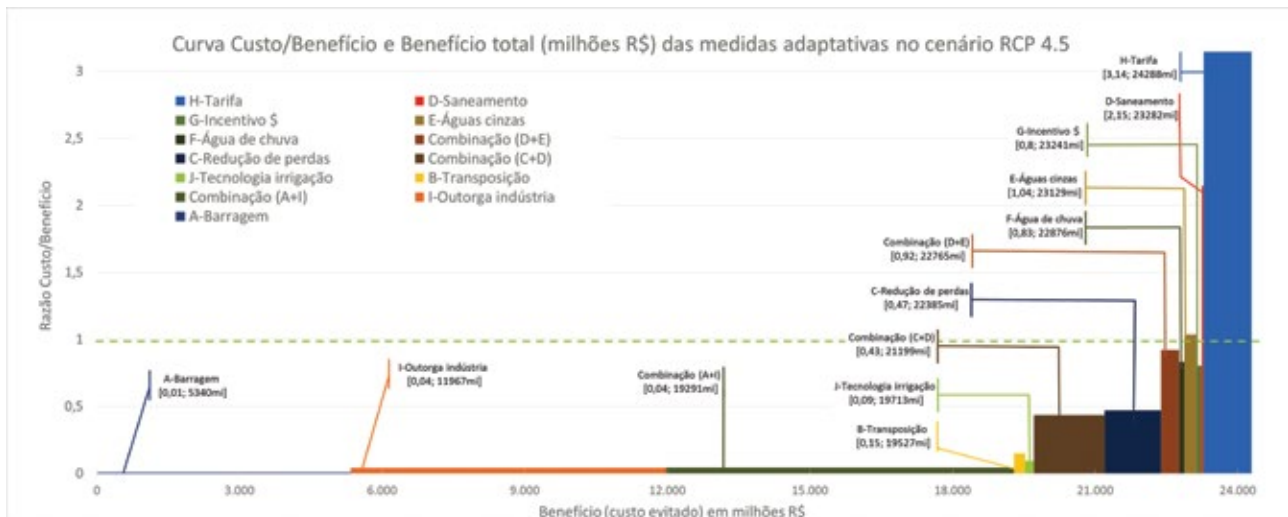
O exercício de ACB realizado explicita a dificuldade inerente à gestão do recurso hídrico. Trata-se, afinal, de um "recurso comum", em que há um alto grau de rivalidade (o consumo de água por um agente subtrai o volume disponível para o outro agente) e um alto grau de não exclusividade (há dificuldade de excluir potenciais beneficiários).

<sup>13</sup> A medida A - Construção de barragens e adutoras é mensurada pela implantação das barragens de Duas Pontes, no rio Camanducaia, e Pedreira, no rio Jaguari.

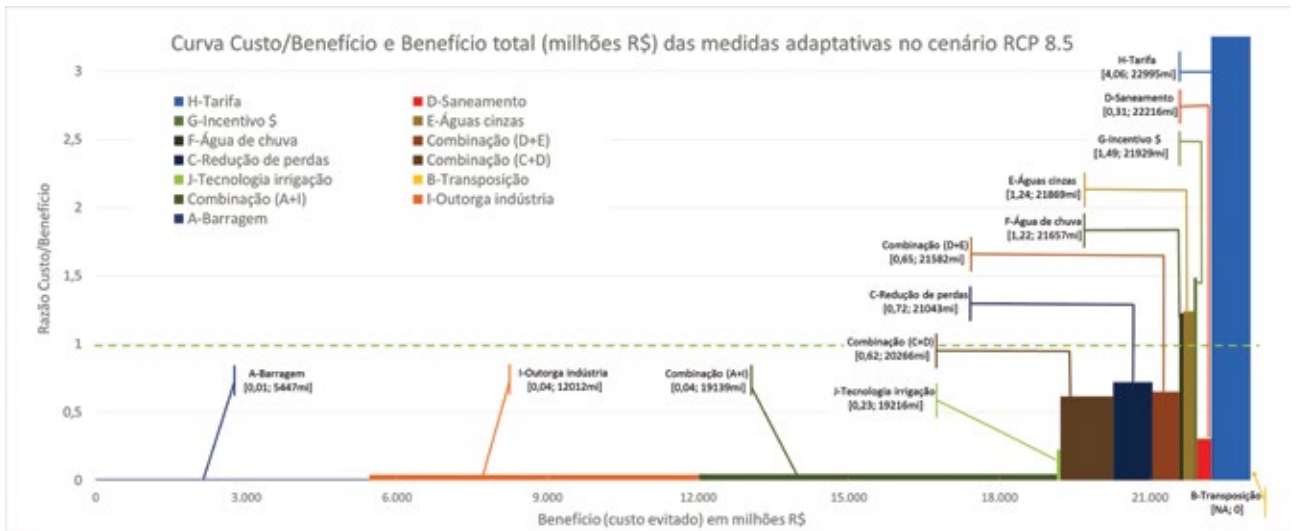
**Figura 8:** Variação percentual no déficit hídrico com aplicação das medidas adaptativas para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5



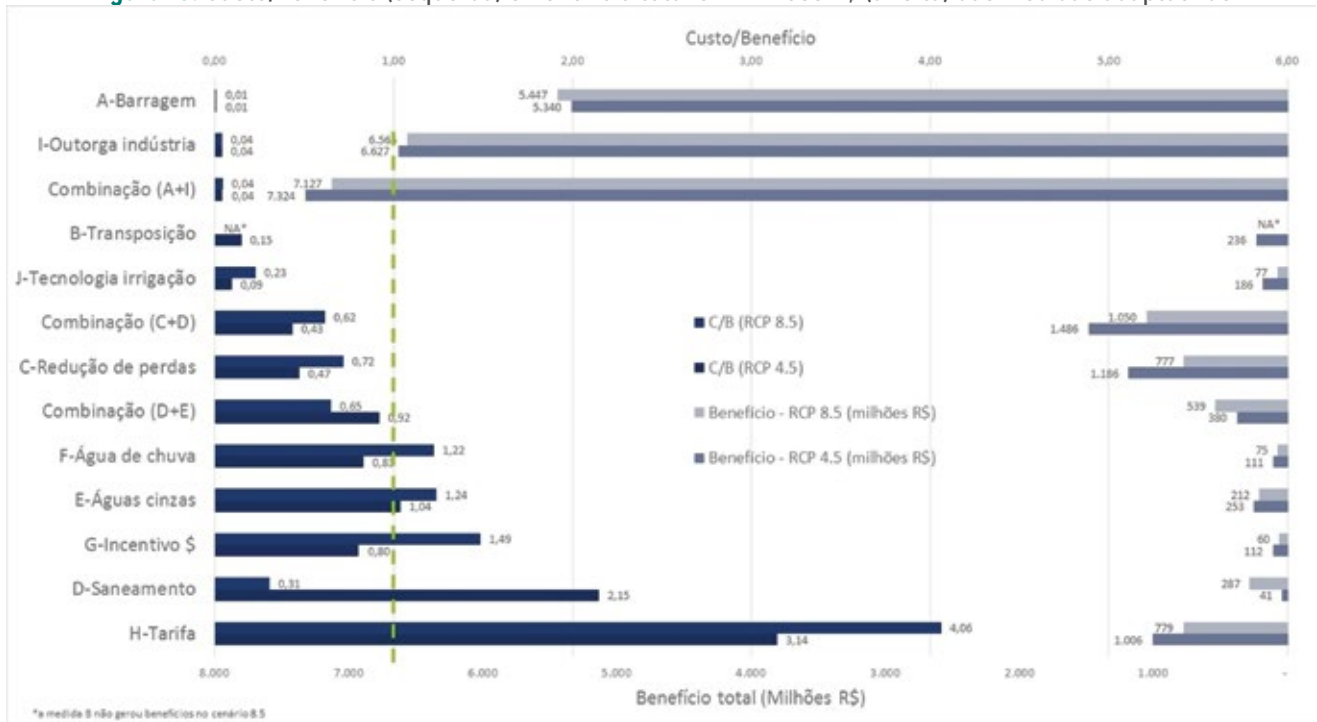
**Figura 9:** Curva Custo/Benefício e Benefício total (milhões R\$) das medidas adaptativas no cenário RCP 4.5 e 8.5 (A)



**Figura 9:** Curva Custo/Benefício e Benefício total (milhões R\$) das medidas adaptativas no cenário RCP 4.5 e 8.5 (B)



**Figura 10:** Custo/Benefício (esquerda) e Benefício total em milhões R\$ (direita) das medidas adaptativas



\*a medida B não gerou benefícios no cenário 8.5

**Tabela 3** - Medidas adaptativas avaliadas no âmbito da ACB

<b>(A) Construção de barragens e adutoras</b>	<p>O objetivo dessa medida é aumentar a capacidade de reservação de água no sistema e, portanto, assegurar o atendimento da demanda hídrica para os diferentes usos principalmente em período de estiagem.</p> <p>Neste estudo foram considerados dentro da ACB dois projetos de reservação previstos para a bacia do PCJ: os reservatórios de Duas Pontes no rio Camanducaia e Pedreira no rio Jaguari.</p>
<b>(B) Transposição de bacias</b>	<p>A transposição de água entre bacias hidrográficas pode ser definida como: “a remoção de água de um sistema de maior superfície drenada para um sistema onde a superfície drenada é menor” (Carvalho, 2005). O objetivo da transposição é suprir as necessidades relacionadas à escassez hídrica ou aumentar a resiliência da bacia receptora.</p> <p>Para esse estudo, foi adotada como referência a transposição do Jaquari-Atibainha, como previsto no Plano de Bacias PCJ (Carvalho, 2005). Sendo assim, foram elaborados alguns cenários com diferentes possibilidades de vazões transferidas por meio da transposição com o seu respectivo custo associado.</p>
<b>(C) Aumento de eficiência da rede de distribuição</b>	<p>O Índice de Perdas na Distribuição (IPD) é o parâmetro mais utilizado para avaliar as perdas no sistema de distribuição de água. No caso da bacia do PCJ, esse número é em média de 37% (COBRAPE, 2013).</p> <p>Sendo assim, nesse estudo será analisada a influência da redução do IDP dos municípios para (pelo menos) 20% como meta, tendo como base estudos prévios para a bacia.</p>
<b>(D) Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto</b>	<p>O objetivo dessa medida é aumentar a qualidade da água com a ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto.</p> <p>A análise nesse caso foi feita com base nas informações contidas no programa de efetivação de enquadramento da bacia PCJ (COBRAPE, 2014) no que tange aos investimentos e projeções para ampliação do sistema de coleta e tratamento de efluentes nos municípios da região aumentando os índices de coleta, de tratamento e de remoção de DBO por município.</p>
<b>(E) Reúso de águas cinzas em residências</b>	<p>As águas cinzas são aquelas residuárias, originárias de chuveiros, lavatórios, máquinas e tanques de lavar roupa. A medida visa à sua reutilização, reduzindo, assim a demanda de água de abastecimento.</p> <p>Para esse estudo, a ACB foi feita com base no uso de águas cinzas para suprir a demanda de água para o vaso sanitário em residências já existentes na região e na totalidade das novas residências em um cenário futuro.</p>
<b>(F) Aproveitamento residencial de água de chuva</b>	<p>A coleta de água e reservação de água de chuva em residências para fins não potáveis é uma alternativa para diminuir a demanda por água da bacia.</p> <p>A análise nesse caso foi baseada na instalação de sistemas de captação de chuva dimensionado para casas populares já existentes na região da bacia e para a totalidade das novas casas em um cenário futuro, com capacidade suficiente para atender à demanda de água para o vaso sanitário durante seis meses no ano.</p>
<b>(G) Incentivos econômicos para o uso racional de água</b>	<p>O incentivo econômico analisado nesse estudo foi o desconto no valor da conta de água como medida indutora de redução de consumo.</p> <p>Baseado na campanha da Sabesp, Guardiã das Águas de 2014, que prevê um desconto de 30% na tarifa mensal dos serviços para aqueles usuários que reduzirem 20% de consumo de água no mês em relação à média dos últimos 12 meses (Sabesp, 2014), a medida foi aplicada para parte da população (já que é voluntária) durante seis meses do ano no período avaliado.</p>
<b>(H) Aumento da tarifa de água</b>	<p>O objetivo dessa medida é induzir a redução da demanda de água residencial por meio do aumento da tarifa pelas empresas de saneamento.</p> <p>No estudo, com base na análise de valores de elasticidade-preço estimados no Brasil e em outros países do mundo em relação à demanda por água para consumo doméstico, foi adotado um incremento no valor atual da tarifa e calculada a redução de consumo proporcional causada.</p>
<b>(I) Aumento da cobrança via outorga para indústria</b>	<p>A análise dessa medida está baseada na cobrança pela água via outorga para o setor industrial que já ocorre na bacia PCJ desde 2006 e é realizada como uma compensação a ser paga pelos usuários de recursos hídricos visando à garantia dos padrões de quantidade, qualidade e regime estabelecidos para corpos d'água das bacias.</p> <p>Adotando um aumento no valor da cobrança da outorga atual para o setor industrial, estima-se a redução no consumo de água em cada setor industrial considerado a partir de elasticidades-preço específicas desses setores encontrados em estudos brasileiros.</p>
<b>(J) Eficiência no uso de técnicas de irrigação</b>	<p>O objetivo dessa medida é reduzir a demanda de água para irrigação por meio da otimização da eficiência de uso de água para irrigação de lavouras temporárias e permanentes.</p> <p>No presente estudo foi analisada a migração do método de média eficiência predominante na bacia - aspersão convencional - para um método de alta eficiência - irrigação localizada. A medida é aplicada considerando-se o perfil das culturas da região e a compatibilidade com as tecnologias.</p>

Legenda de cores

Medidas que afetam oferta	Medidas que afetam qualidade	Medidas que afetam a demanda
---------------------------	------------------------------	------------------------------

## Fontes

ACHARYA, G. Approaches to valuing the hidden hydrological services of wetland ecosystems. **Ecological Economics**, v.35, p. 63-74, 2000.

CARVALHO, R. C. D. **Gestão dos Recursos Hídricos: conflito e negociação na questão das águas transpostas da bacia do Paraíba do Sul**. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CLIMATEWORKS FOUNDATION. **Economics of Climate Adaptation - shaping climate-resilient development**. ClimateWorks Foundation; Global Environment; European Commission; McKinsey & Company; The Rockefeller Foundation, 2009.

COBRAPE. **Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2013.

COBRAPE. **Relatório R5 - Programa para Efetivação do Enquadramento. Volume III- Plano de Ação**. Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - Agência de Bacias PCJ, 2014.

CONSÓRCIO PCJ. **Consórcio PCJ, 2012**. Disponível em: <<http://www.agua.org.br/>>. Acesso em: 5 Setembro 2014.

MUNDA, G. Cost-benefit analysis in integrated environmental assessment: some methodological issues. **Ecological Economics**, v.19, n.2, p. 157-168, 1996.

SABESP. **Guardião das Águas**, 2014. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/Pages/GuardiaoAguas.aspx>>. Acesso em: 31 Agosto 2014.

UNEP. **Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies**, 1998.









Ministério do  
**Melo Ambiente**



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-8210-033-2



9 788582 100332