

Documento sobre Bases Conceituais sobre Mudanças Climáticas, Impactos e Adaptação em Recursos Hídricos

Francisco de Assis de Souza Filho
Sandra Helena Silva de Aquino
Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins

AGOSTO, 2014

Sumário

1	Introdução.....	3
2	Impacto da variabilidade e mudança climática em recursos hídricos	6
2.1	Visão geral	6
2.2	Bacias Hidrográficas e Regiões Brasileiras	8
2.3	Águas Subterrâneas.....	10
3	Conceitos Básicos	12
3.1	Segurança Hídrica.....	12
3.2	Vulnerabilidade, Exposição e Sensibilidade.....	13
3.3	Mitigação	15
3.4	Adaptação	16
3.4.1	Sustentabilidade e Resiliência.....	17
3.4.2	Robustez.....	20
3.4.3	Estratégia Robusta.....	20
3.4.4	Conceito de Risco	21
4	Estratégias de gestão adaptativa.....	25
5	Base Legal: Aspectos Legais e Institucionais	29
6	Referências	34

1 Introdução

Vive-se em um mundo em mudança, a qual está associada a processos sociais e naturais em escala planetária que condicionam e transformam a realidade local.

Processos sociais como a globalização econômica e cultural frutos da modernidade tardia de Anthony Giddens ou a líquida de Zygmund Bauman impõem ritmos frenéticos às transformações sociais, tornando voláteis conceitos, valores e estruturas sociais. Vive-se em uma época em que falta tempo para os acontecimentos. Época em que os acontecimentos se "desencaixam" de contextos locais de interação e se reestruturam através de extensões indefinidas de tempo-espaço (GIDDENS, 1991).

O processo de globalização econômica na produção material trouxe possibilidades de produção agrícola e industrial sem paralelo na história, demandando de forma intensiva recursos materiais na escala do planeta.

Estes processos sócio-naturais produzem crescente complexidade e incerteza aos sistemas sociais, notadamente, aos recursos hídricos. Complexidade entendida como *"um tecido de constituintes heterogêneos inseparavelmente associados: ele coloca o paradoxo do uno e do múltiplo"* (MORIN, 2011). O tecido sócio-natural nos recursos hídricos é complexo em sua intercausalidade, em sua multiplicidade de interesses sociais conflitantes e em sua ocorrência natural em diversificados processos não lineares. A incerteza, não obstante por ser inerente à complexidade por sua relevância própria, merece destaque neste contexto.

Entre as mudanças globais destacam-se pelo seu alcance potencial as Mudanças Climáticas devido a ação antrópica. As consequências das mudanças climáticas podem alterar a confiabilidade dos sistemas de água atual e a gestão dos usos e das infraestruturas de suprimento (BATES *et al.*, 2008). Adicionalmente, a mudança climática desafia a suposição tradicional de que a experiência hidrológica do passado fornece um bom guia para as condições futuras.

Problemas com a disponibilidade de água e as secas devem aumentar em regiões semiáridas a baixas latitudes (IPCC, 2007b). Estudos mostram que muitas dessas áreas, dentre elas, o nordeste brasileiro, poderão sofrer uma diminuição dos recursos de água devido às alterações climáticas (KUNDZEWICZ *et al.*, 2007).

A percepção de que se vive em um mundo em mudança, marcado pela complexidade e incerteza que condicionam a existência do risco climático sinaliza para a

necessidade de gestão adaptativa dos recursos hídricos, a qual tem como um de seus objetivos centrais proporcionar ***Segurança Hídrica***.

A segurança hídrica tornou-se um imperativo de desenvolvimento, não sendo um problema de um setor específico, mas de toda a sociedade. Nesse contexto, a “*good water governance*” é condição *sinequa non* para o alcance da referida segurança.

A governança da água configura-se como um processo gradual e contínuo que precisa ser constantemente aprimorado em função do aumento das incertezas e riscos gerados, principalmente, pelas mudanças climáticas. Trata-se de construir de forma participativa uma gestão integrada dos recursos hídricos.

O conceito de segurança está associado ao tripé prevenir-controlar-garantir. Em um mundo em mudança e incerto a segurança hídrica deve incorporar de forma intensiva a gestão de risco, notadamente o risco climático. Neste contexto a gestão de recursos hídricos deve contemplar o tripé: incerteza, adaptação e risco de falha. O par dialético segurança e risco é fundamento para o gerenciamento de recursos hídricos em mundo em mudança, notadamente nas condições de mudança do clima.

A construção da base conceitual para o gerenciamento de risco do risco climático nos recursos hídricos demanda: (i) a identificação do sinal da mudança, sua direção, intensidade e as incertezas associadas as mesmas; (ii) identificação de uma base conceitual que possibilite operar na análise e formulação de estratégias para a gestão de riscos climáticos; (iii) a formulação de diretrizes gerais de estratégia de gestão de risco e finalmente (iv) se há condições jurídicas e institucionais para a execução destas estratégias ou se as mesmas necessitam ser construídas.

Visando contribuir na construção desta base conceitual o presente documento está estruturado em 5 seções incluindo-se esta.

A segunda seção apresenta amplo levantamento bibliográfico sobre os impactos da mudança do clima nos recursos hídricos. Esta revisão foi desenvolvido, inicialmente, no âmbito dos trabalhos do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. As discussões dessa seção giram em torno da identificação e compreensão da relação entre clima e recursos hídricos, buscando elencar impactos das mudanças climáticas no Brasil. A conclusão da análise dos trabalhos descritos nesta seção é que (i) há um sinal de aumento de temperatura assoado a mudanças climáticas antrópicas em todas as regiões hidrográficas brasileiras; e (ii) a precipitação poderá mudar não havendo uma convergência dos modelos quanto a escala da intensidade desta mudança e para algumas regiões até mesmo a direção da mudança (aumento ou redução) é incerta.

As incertezas associadas as modificações no regime de chuvas produzem conseqüentemente e de forma mais intensa incertezas sobre o regime de vazões. Gerenciar os Recursos Hídricos (GRH) no contexto de incertezas e riscos estruturais é o desafio atual. A identificação de base conceitual que possibilite a análise e formulação de estratégias para a gestão de riscos climáticos é o objeto da terceira seção deste trabalho. Estes conceitos devem possibilitar a Gestão Adaptativa dos Recursos Hídricos.

A quarta seção trata da operacionalização da base conceitual, buscando responder a seguinte indagação: Quais os caminhos possíveis para a governança adaptativa?

A quinta e última seção analisa o arcabouço jurídico brasileiro relacionado ao tema clima e recursos hídricos como forma de identificar a viabilidade de se operacionalizar uma estratégia de gestão adaptativa.

As discussões contidas nesta base conceitual serão expandidas e detalhadas no desenvolvimento dos demais segmentos deste trabalho.

2 Impacto da variabilidade e mudança climática em recursos hídricos

2.1 Visão geral

O ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação. Com o aquecimento da atmosfera, de acordo com o que sinalizam os modelos de mudança climática, esperam-se, entre outras consequências, mudanças nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios. Estudos mostram que os eventos hidrológicos críticos (secas e enchentes) poderão tornar-se mais frequentes e mais intensos.

Adicionalmente aos impactos esperados na oferta hídrica encontram-se as prováveis mudanças na demanda de diversos setores usuários da água. A elevação da temperatura e da evapotranspiração poderá acarretar, entre outros efeitos, maior necessidade de água para a irrigação, refrigeração, consumo humano e dessedentação de animais em determinados períodos e regiões, além de afetar a capacidade de reservação e o balanço hídrico. A este aumento de demanda associado a mudança do clima superpõe-se o crescimento da demanda devido expectativa de crescimento populacional e desenvolvimento do país.

O aquecimento global vai levar a mudanças na precipitação e outras variáveis climáticas, cujos efeitos serão ampliados no escoamento, Chiewet al (2009).

O efeito projetado das mudanças climáticas no escoamento superficial e na recarga subterrânea é variável, dependendo da região e do cenário climático considerado, mas relaciona-se, em grande parte, com as mudanças previstas para a precipitação (IPCC, 2001; KROL *et al.*, 2006). Prevê-se que a magnitude e a frequência de vazões máximas aumentem na maioria das regiões do planeta e que as vazões mínimas sejam menores em muitas regiões (MELLO *et al.*, 2008).

O impacto da mudança climática sobre o escoamento pode ser estimado diretamente a partir do histórico do clima sazonal ou anual e séries temporais do escoamento de forma direta, ou com base em conceitos das elasticidades clima de escoamento ou ainda utilizando modelagem hidrológica (AUGUSTIN *et al.*, 2008; GRAY e MCCABE, 2010, SANKARASUBRAMANIAN *et al.*, 2001; CHIEW, 2006;

FU *et al.*, 2007, ESCARIÃO, 2009, SCHAAKE, 1990; XU, 1999; CHIEW e MCMAHON, 2002, MEDEIROS, 2003, TOMASELLA *et al.*, 2009, NÓBREGA *et al.*, 2011). Os modelos hidrológicos podem ser alimentados por modelos climáticos regionalizados estatisticamente ou dinâmicos (CHARLES *et al.*, 2004; FOWLER *et al.*, 2007; RAJE e MUJUMDAR, 2009; MEHROTRA, R., e A. SHARMA, 2010; RAJE e MUJUMDAR, 2010; GORDON e O'FARRELL, 1997; NUNEZ e MCGREGOR, 2007, AMBRIZZI *et al.*, 2007). A combinação dos resultados dos modelos tem sido buscada como forma de melhoria da informação (MANNING *et al.*, 2009; STOCKER *et al.*, 2010). Outra classe de abordagem é o cálculo das vazões diretamente dos modelos climáticos globais (MILLY *et al.*, 2005).

Avaliação da destreza dos modelos em representarem o clima atual mostrou a dificuldade destes em representar o balanço hídrico nas regiões hidrográficas Atlântico Nordeste Ocidental e Atlântico Nordeste Oriental. As vazões das regiões hidrográficas do Tocantins, Atlântico NE Ocidental, Atlântico NE Oriental, Atlântico Leste, Parnaíba, São Francisco e Amazônia apresentaram diminuição até 2100. Houve pequena alteração nas regiões do Atlântico Sul, Atlântico SE e Uruguai. Uma pequena elevação pode ser identificada nas bacias do Paraná e do Paraguai no final do século XXI (SALATI *et al.*, 2008).

Verifica-se que um fator limitante para uma análise mais conclusiva a respeito da disponibilidade de água resultante dos cenários do IPCC é a falta de concordância dos modelos climáticos para grande parte do território brasileiro (SILVEIRA *et al.*, 2013a; SILVEIRA *et al.*, 2013b).

Silveira *et al.* (2013a) analisaram as projeções de precipitação dos modelos globais do quarto relatório do IPCC-AR4 para o Nordeste Setentrional do Brasil para o período de 2010 a 2099 dos cenários A1B, A2 e B1. Os modelos mostraram maiores impactos na pré-estação, porém divergiram quanto ao sinal da anomalia, indicando uma possível antecipação ou adiamento da influência da ZCIT na região.

Enquanto, Silveira *et al.* (2013b) a partir de dados provenientes dos modelos do IPCC-AR5 analisaram as projeções de precipitação de 7 modelos para o século XXI para o cenário RCP 8.5 sobre três regiões do Brasil: Bacia do Prata, região Amazônica e Nordeste Setentrional. Na região Amazônica, os modelos sugerem maiores possibilidades de redução na precipitação, em até 20,5%, 33,6 e 39,5% para os períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099, respectivamente. Na região do Prata e Nordeste Setentrional os modelos divergem quanto o sinal da anomalia.

O relatório síntese do AR4 (PACHAURI e REISINGER, 2007) indica que menos de 66% de 12 modelos climáticos para o cenário A1B concordaram com o sinal da mudança da precipitação entre os períodos 2090-2099 e 1980-1999 para grandes áreas do Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Norte. Apenas o leste da Amazônia e o Sul do País possuem áreas em que mais de 66% dos modelos concordam quanto ao sinal da mudança, sendo o sinal de redução na Amazônia e aumento no Sul do Brasil.

2.2 Bacias Hidrográficas e Regiões Brasileiras

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 realizados 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.

As precipitações no Norte e Nordeste do Brasil deverão ser reduzidas de -2 a -4mm/dia para o cenário A2 e a temperatura deverá aumentar de +2°C a +6°C para todo o território brasileiro, segundo AMBRIZZI *et al.* (2007), que utilizaram simulações do modelo MCG HadAM3P no período de 2071 a 2100.

Contudo, o trabalho de Silveira *et al.*(2013a), onde são analisado mais de 50 rodadas dos modelos globais do IPCC-AR4 para o cenários A2, B1 e A1B para o Nordeste Setentrional do Brasil há divergências quanto ao futuro da precipitação. As projeções de precipitação anual média indicam, ao tratar o conjunto dos dez primeiros melhores (classificação segundo SILVEIRA *et al.*,2013c), uma margem desde 15% a mais que o século XX até 42% a menos no período de 2011 a 2098.

Os rios no leste da Amazônia e Nordeste do Brasil devem ter redução da vazão de até 20% (valores médios de 12 modelos do IPCC - MILLY *et al.*, 2005). UK Met Office (2005) utilizando o modelo climático do Hadley Centre HadGEM1 para os cenários A1B e A2 (pessimista com relação à emissão de gases de efeito estufa), verificou concordância com os resultados de MILLY *et al.* (2005) para a Amazônia e discordância quanto à modificação da vazão no Nordeste. RIBEIRO NETO *et al.* (2011) encontrou valores próximos aos de MILLY *et al.* (2005) em simulação do balanço hídrico no Estado de Pernambuco.

A bacia do rio Tocantins, para o cenário A1B (período de 2080-2090) apresenta redução da vazão da ordem de 30%, com a possibilidade de alcançar até 60% no

período de estiagem; o impacto não é uniforme para o ano inteiro e pode variar a depender das características físicas da sub-bacia analisada (TOMASELLA *et al.*, 2009).

As precipitações anuais podem se reduzir e as temperaturas médias aumentar no Estado da Bahia (TANAJURA *et al.*, 2009; TANAJURA *et al.*, 2010). O rio Paraguaçu, no Estado da Bahia, apresentou ausência de modificação da vazão média anual com os resultados do modelo UKHI (Serviço Meteorológico da Inglaterra) e redução média anual de 40% com o modelo CCCII (Centro de Clima Canadense) e acréscimos na evapotranspiração (MEDEIROS, 2003).

A bacia hidrográfica do rio Paracatu, afluente do rio São Francisco, apresentou tendência de aumento na disponibilidade hídrica em todas as estações fluviométricas, variando de 31 a 131% até 2099 para o cenário B2. Já para o cenário A2, não foi verificada nenhuma tendência significativa (OLIVEIRA *et al.*, 2008; MELLO *et al.*, 2009).

Na região do semiárido do Nordeste brasileiro (KROL & BRONSTERT, 2007), identificou-se tendência significativa de redução nas vazões do Rio Jaguaribe após 2025, considerando cenário de redução de 50% da precipitação nas próximas cinco décadas. Em um cenário de redução de 21% da precipitação.

A bacia Várzea do Boi, no Ceará, apresenta diminuição de precipitação de 12%, no escoamento de 32% e na evaporação de -0,1%, havendo uma perda substancial na disponibilidade hídrica (CAMPOS *et al.*, 2003).

Os modelos do IPCC-AR4 convergem quanto ao impacto no setor hidroelétrico na região sudeste/centro-oeste e Sul, mostrando que possivelmente as vazões devem se reduzir em até 5% em cada período de 30 anos em Furnas e aproximadamente 4% até o final do século em Itaipu. Quanto aos setores Norte e Nordeste a divergência entre modelos indica bastante incerteza nestas regiões. (SILVEIRA *et al.*, 2014).

Adicionalmente, fatores não relacionados à mudança do clima, como o assoreamento, podem afetar os estoques de água. Foi observada uma taxa média de sedimentação, no Ceará, de 1,85% por década (ARAÚJO *et al.*, 2003).

O aumento global de temperatura tem efeito significativo no aumento da evaporação (MITCHELL *et al.*, 2002), o que poderá prejudicar a eficiência de armazenamento nos lagos. Por exemplo, a análise da evaporação para o reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão), que abastece a cidade de Campina Grande, Paraíba, para o cenário B1, no período de 2011 a 2030, mostrou aumento médio na evaporação de 2,16% (FERNANDES *et al.*, 2010). A avaliação das alterações da regularização de

vazão em reservatórios do Estado do Ceará devido à mudança climática mostra que a vazão regularizada é reduzida de forma significativa (CAMPOS e NÉRIS, 2009).

Análises dos efeitos da mudança do clima sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte utilizando os modelos climáticos regionais Precis e ETA constataram significativa discrepância no resultado dos mesmos, tendo o modelo ETA apresentado forte tendência negativa (ALEXANDRE *et al.*, 2009).

A bacia hidrográfica do Paraná-Prata deverá ter aumento da vazão (entre 10% e 40%) no cenário A1B até meados do século XXI segundo 12 modelos climáticos analisados por Milly *et al.* (2005). O UK Met Office (2005), utilizando o modelo climático do Hadley Centre HadGEM1 para os cenários A1B e A2 (pessimista com relação à emissão de gases de efeito estufa), verifica concordância com esses resultados.

O Rio Grande, afluente do rio Paraná, apresenta significativa discordância entre as alterações de vazões estimadas pelos diferentes modelos climáticos para o cenário A1B, (Nóbrega *et al.*, 2011). A vazão aumenta com o ECHAM5 (+13%) e o HadCM3 (+9%), reduz-se com o CCCMA (-14%), o IPSL (-28%) e o HadGEM1 (-10%) e apresenta pequena alteração para o CSIRO (-2%). Em virtude dos resultados obtidos, os autores sugerem que a escolha do modelo climático é a maior fonte de incerteza para a projeção de impactos nas vazões dos rios (NÓBREGA *et al.*, 2011).

2.3 Águas Subterrâneas

A mudança climática deverá afetar as taxas de recarga de águas subterrâneas, ou seja, o recurso águas subterrâneas renováveis e os níveis de águas subterrâneas. No entanto, mesmo o conhecimento de recarga corrente e de níveis de aquíferos nos países desenvolvidos e em desenvolvimento é pobre. Tem havido pouca pesquisa sobre o impacto das mudanças climáticas sobre as águas subterrâneas, incluindo a questão de como as mudanças climáticas afetarão a relação entre as águas superficiais e aquíferos, que são hidráulicamente conectados (KUNDZEWICZ *et al.*, 2007). Estima-se que as águas subterrâneas no Nordeste do Brasil devem ter uma redução na recarga em 70% até 2050 (DOLL & FLORKE, 2005).

Melo (2013) buscou avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas e do uso do solo sobre níveis de água subterrânea em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. Ele utilizou simulações dos MCGs do IPCC-AR4 como dado de entrada para um modelo transiente de fluxo hídrico subterrâneo. Quase 70% dos cenários climáticos geraram variações dos níveis freáticos abaixo daqueles medidos no

monitoramento entre 2004 e 2011. Em alguns setores, o rebaixamento da superfície potenciométrica, simulada por alguns modelos, ultrapassou 10 m. Os cenários mais otimistas, embora tenham obtido elevações dos níveis de água, em mais metade da Bacia do Ribeirão da Onça, também geraram rebaixamentos de até 5 m.

3 Conceitos Básicos

No âmbito da gestão do risco relacionado ao clima são apresentados conceitos básicos que possibilitam a operacionalização da categoria de gestão adaptativa, bem como suas relevâncias para os recursos hídricos. Nesta seção são apresentados os seguintes conceitos: Segurança Hídrica, Vulnerabilidade, Adaptação, Mitigação, Sustentabilidade, Resiliência, Robustez e Risco.

3.1 Segurança Hídrica

Existem na literatura diversas definições do termo segurança hídrica, entretanto, há certa convergência referente ao seu reconhecimento como um elo central na busca da segurança humana e como um problema que apresenta múltiplas dimensões, a saber: social, econômica e ambiental, considerando a segurança hídrica como algo fundamental e facilitador de outros projetos que buscam a sustentabilidade das diversas formas de vida existente no planeta, bem como a conservação e preservação de ecossistemas.

O termo segurança hídrica passa a ser difundido pelo mundo, de forma efetiva, a partir da Declaração Ministerial do 2º Fórum Mundial da Água, ocorrido na cidade de Haia no ano de 2000. Esta declaração intitulada “Segurança da água no século XXI”, define o termo segurança hídrica como algo que

“significa garantir que ecossistemas de água doce, costeira e outros relacionados sejam protegidos e melhorados; que o desenvolvimento sustentável e a estabilidade política sejam promovidos; que cada pessoa tenha acesso à água potável suficiente a um custo acessível para levar uma vida saudável e produtiva, e que a população vulnerável seja protegida contra os riscos relacionados à água” (DECLARAÇÃO MINISTERIAL DO 2º FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA, 2000

De modo semelhante o conceito é apresentado no documento da ONU, intitulado “*Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief*” como a

“(...)Capacity of a population to safeguard sustainable access to adequate quantities of acceptable quality water for sustaining livelihoods, human well-being, and socio-economic

development, for ensuring protection against water-borne pollution and water-related disasters, and for preserving ecosystems in a climate of peace and political stability” ”
(INSTITUTE FOR WATER, ENVIRONMENT & HEALTH, 2013, p. 02).

Ambos os conceitos sinalizam que o termo segurança hídrica se associa diretamente com as categorias segurança alimentar, segurança energética e ambiental, sendo a base para o desenvolvimento dessas. O referido termo opera nos níveis micro e macro da sociedade, requerendo uma colaboração interdisciplinar, afim de que seja construído e legitimado socialmente um modelo de gestão de recursos hídricos capaz de promover o acesso e a mediação dos conflitos entre diversos usuários de águas de domínio nacional e estadual, bem como as águas transfronteiriças, as quais configuram-se como enormes desafios para alcançar a segurança hídrica.

O termo segurança passa a ser largamente usado para evitar ameaças e incertezas, indo além da conotação de cunho militar. Na verdade, com o uso desse conceito busca-se *“achieving a sense of security, sustainability, development and human well-being, from the local to the international level”*(INSTITUTE FOR WATER, ENVIRONMENT & HEALTH, 2013, p. 03). Esses objetivos são diretamente impactados pelas mudanças climáticas, na medida em que esta tem alterado o ciclo da água, bem como sua disponibilidade para os diversos modos de vida e de produção da sociedade, evidenciando a necessidade de ações interdisciplinares e integradas, capazes de promover a segurança hídrica, superando os desafios impostos pela forma inadequada de uso e ocupação do solo e pelo uso ineficiente/ degradante dos recursos hídricos, que são resultados dos processos de crescimento urbano e industrial.

3.2 Vulnerabilidade, Exposição e Sensibilidade

Vulnerabilidade figura como um conceito multidimensional, utilizado em diferentes pesquisas de distintos campos do conhecimento científico, como nas áreas das ciências da saúde, sociais, biológicas e ambientais. Além de ser utilizado com frequência de forma coloquial.

Segundo Adger(2006), o conceito vulnerabilidade é tratado frequentemente em termos negativos que estão relacionados com a predisposição de sistemas, seres humanos e ou comunidades de serem impactadas por perturbações. Nesse sentido, o autor

afirma que “*a ideia central da definição do IPCC, frequentemente citada (McCarthy et al., 2001) é que a vulnerabilidade é o grau em que um sistema é suscetível e é incapaz de lidar com os efeitos adversos (da mudança climática)*” (ADGER, 2006, p. 269).

Segundo Lavell et al. (2012), os riscos dos potenciais eventos climáticos sobre a sociedade são determinados pela sua exposição e vulnerabilidade a esses perigos. Para os autores, a *exposição* refere-se à localização das pessoas, aos meios de vida, aos recursos e serviços ambientais, à infraestrutura disponível e aos recursos econômicos, sociais ou culturais. Já a *vulnerabilidade*, é considerada como o grau em que um sistema é suscetível e incapaz de lidar com os efeitos adversos da mudança e variabilidade climática (incluindo os extremos), sendo função do seu caráter, da sua magnitude e de seu ritmo (IPCC, 2007).

Conforme Lavell et al. (2012), essa definição torna as causas físicas e os seus efeitos um aspecto explícito de vulnerabilidade, enquanto o contexto social é abrangido pelas noções de sensibilidade. Handmer et al. (2012) indicam que algumas mudanças na exposição e vulnerabilidade podem ser consideradas como ações adaptativas.

Até o documento AR4 do IPCC, o termo vulnerabilidade era visto como um conceito composto por três elementos: exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação. Já no documento SREX (2012) do IPCC, a vulnerabilidade passa a envolver apenas a sensibilidade e a capacidade de adaptação, enquanto que a exposição passa a estar incorporado no conceito de risco (Cap. 14, p. 6). Em termos gerais, não houve modificação da definição em si, apenas nos elementos constituintes da vulnerabilidade. Assim, no AR5 o conceito em questão é definido como a propensão ou disposição para ser afetado negativamente (cap. 1 p. 10).

Gallopín (2003) não considera a exposição um elemento da vulnerabilidade. Para este autor, a vulnerabilidade é uma função da capacidade de resposta e da sensibilidade do sistema. Enquanto que a exposição é resultado da relação do sistema com seu ambiente.

Com base numa análise sistêmica do conceito de vulnerabilidade, Gallopín (2003) afirma que este nem sempre é algo negativo. O autor sinaliza a possibilidade de uma vulnerabilidade positiva que se dá quando a transformação sofrida é benéfica, como por exemplo, o colapso de um regime opressor ou quando um determinado grupo social consegue se sobressair de uma situação de pobreza crônica (Gallopín, 2006, p. 295).

3.3 Mitigação

Mitigação é um termo de origem latina, utilizado, de modo geral, como sinônimo de redução e/ou suavização de um efeito nocivo. Esse termo ganhou evidência em momentos distintos nos discursos políticos e de movimentos ambientalistas, mas o que difundiu foi a constatação da assimetria entre o crescimento econômico e uso degradante dos recursos naturais, que trouxe à tona ameaças para as mais variadas formas de vida. Nesse contexto, a mitigação passou a ser empregada como um conjunto de medidas executadas por meio da intervenção humana, capazes de reduzir os impactos negativos à sociedade e aos ecossistemas. Especificamente, o conceito refere-se à redução das emissões de gases de efeito estufa e a remoção desses gases por sumidouros de carbono, como por exemplo as florestas.

Segundo Gallopin (2006), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) reconhece a ligação entre os conceitos de adaptação e mitigação, mas afirma que os mesmos são distintos, embora complementares. Assim, para o IPCC a adaptação diz respeito às ações que atuam sobre o sistema em si. Enquanto que a mitigação refere-se às ações que operam sobre a origem e os atributos da perturbação (GALLOPIN, 2006, p.300).

De acordo com o IPCC, a mitigação demanda mudanças em toda a economia, bem como alterações tecnológicas e institucionais, especialmente o aprimoramento de fontes de energia de baixo ou zero carbono (IPCC WGIII AR5). Essas mudanças requerem capacidade de respostas, mas também capacidade de adaptação, onde a primeira implica numa capacidade de enfrentamento de curto prazo e a segunda demanda ajustes mais sustentáveis, ou seja, de longo prazo. Segundo Gallopín (2006) o IPCC não faz essa distinção entre os conceitos de capacidade de resposta e de adaptação (GALLOPIN, 2006).

Além disso, as ações de mitigações também requerem significativos investimentos financeiros, fato que segundo Giddens (2010) conduzirá a um problema político entre a implementação das ações de mitigação e de adaptação, no sentido em que projetos de adaptação concorrerão com os de mitigação (GIDDENS, 2010, p. 204). Daí a necessidade de planejamento que deve ser fruto de acordos suprapartidários que contenha um conjunto de ações de mitigação e de adaptação de curto, médio e longo prazos.

3.4 Adaptação

Segundo Janssen et al. (2006), a *adaptação* é foco da antropologia desde 1900, mas, somente na década de 1990, o termo começou a ser utilizado nos estudos sobre as consequências das mudanças do clima. Nos sistemas humanos, é definida como “o processo de adaptação ao clima real ou esperado e seus efeitos, a fim de moderar danos ou explorar as oportunidades favoráveis”. Nos sistemas naturais, é considerada como “o processo de ajuste ao clima atual e seus efeitos” (IPCC, 2012a).

O termo adaptação refere-se a respostas dadas pelo sistema que são suficientes para alterá-lo em si mesmo, às vezes, mudando-o para um novo estado. Kasperson et al. (2005) Apud Gallopín (2006), chamam a atenção para a necessidade de fazer uma distinção entre ajustes e adaptação. Para esse autor, os ajustes figuram como respostas dos sistemas às perturbações que não são capazes de alterar, fundamentalmente, o sistema em si por serem, geralmente, de curto prazo e envolverem modificações menores no sistema (GALLOPÍN, 2006, p. 300).

Para Turner et al. (2003), a adaptação refere-se a reestruturação do sistema após as repostas em função de alterações provocadas por perturbações externas. Smit e Wandel (2006) Apud Gallopín (2006) apresentam uma distinção acerca dos termos capacidade de resposta e capacidade de adaptação. O primeiro diz respeito à capacidade de enfrentamento de curto prazo ou apenas à capacidade de sobreviver. Já a capacidade de adaptação envolve ajustes mais sustentáveis ou de longo prazo.

Gallopín (2006) ao fazer uma análise das relações entre os conceitos de vulnerabilidade, resiliência e adaptação, afirma que embora reconheça que não há um consenso quanto ao uso do termo capacidade de adaptação, opta pelo termo capacidade de resposta, o qual se configura como “um atributo do sistema que existe antes da perturbação”. O referido autor alerta para a necessidade de compreensão clara dos conceitos, a fim de não torná-los simplesmente opostos, nem mesmo sinônimos. Nesse sentido, afirma que o IPCC trata os conceitos de capacidade de adaptação e capacidade de resposta como sinônimos, apresentando apenas uma distinção entre o primeiro e o termo mitigação. Esta se refere a ações que operam sobre a origem e os atributos da perturbação, como por exemplo, a redução da emissão de gases de efeito estufa. Ao passo que a adaptação abriga ações que atuam sobre o sistema em si. Para este autor, o conceito de capacidade de adaptação do IPCC pode ser limitado para lidar com as mudanças no ambiente do sistema, ao mesmo tempo em que parece excluir o elemento de crescente adaptação, quando o ambiente não muda. De modo geral, a capacidade de

adaptação parece ser mais ampla do que a capacidade de resposta (GALLOPÍN, 2006, pp. 296,300 e 301).

No documento IPCC WGII AR5TechicanSummary, o termo adaptação aparece como processo de adaptação ao clima reais ou esperados e seus efeitos. Nos sistemas humanos, adaptação procura moderar o dano ou explorar oportunidades benéficas. Nos sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar adaptação ao clima esperado e seus efeitos. Ao longo desses documentos são apresentadas duas subcategorias do termo adaptação, a saber: adaptação incremental e adaptação transformacional. A primeira trata de ações de adaptação, onde o objetivo central é manter a essência e integridade de um sistema ou processo a uma dada escala. Já a segunda se refere a adaptação que altera os atributos fundamentais de um sistema em resposta ao clima e seus efeitos (IPCC WGII AR5 Techican Summary, 2013,p. 4).

3.4.1 Sustentabilidade e Resiliência

A noção de sustentabilidade começou a ser construída na década de 1960, quando o Clube de Roma, iniciou uma série de estudos voltados a investigar problemas de ordem econômica, ambiental e sociológica em escala mundial. Este clube publicou um relatório intitulado os limites do crescimento (*The Limits of Growth*) que denunciava a incessante busca pelo crescimento econômico principalmente das grandes nações que se tornam mais ricas a qualquer custo, sem considerar os danos que provocarão à natureza e, que serão cobrados pelas próximas gerações (ARAÚJO, 2010).

Em razão das ideias deste estudo, diversos encontros foram organizados para discussões sobre as implicações do modo de organização demográfica, de produção e consumo das populações e, vários autores como Commoner (1971), Goldsmith (1972), United Nations (1973), Boulding (1973), Timbergen e Dolman (1987) e Lovelock (1979) chamaram a atenção para a necessidade de uma visão sistêmica e de uma reconsideração das posturas nacionais no que concerne ao problema ambiental e ao estabelecimento de uma ordem internacional (SILVA, 2008).

No entanto, o termo sustentabilidade ganhou notoriedade quando a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD apresentou, em 1987, no relatório “Nosso Futuro Comum” (também conhecido como "Relatório Brundtland") a definição mais aceita de desenvolvimento sustentável, significando “*aquela que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações*

futuras atenderem às suas próprias necessidades” (UNITED NATIONS, 1987). Trata-se de uma definição de caráter filosófico, uma espécie de declaração de princípio, que vem servindo de lema e de bandeira para os defensores de uma política de desenvolvimento mundial benéfica para a humanidade e para o seu habitat natural.

Atualmente, o conceito de sustentabilidade está presente em qualquer sistema de gestão e o alcance dela é considerado um objetivo primordial. Nos recursos hídricos, este conceito está intrinsecamente relacionado com o de resiliência. Isto porque para um sistema hídrico ser sustentável ele precisa manter de forma continuada um balanço hídrico favorável, em quantidade e qualidade, entre a oferta de água com elevados níveis de garantia e a demanda social para usos múltiplos. E esta manutenção diante do extenso cenário de mudança ambiental, decorrente do mau comportamento da sociedade, depende desse sistema ser capaz de superar falhas.

De acordo com Holling (1996), resiliência é a capacidade intrínseca de um sistema em manter sua integridade no decorrer do tempo, sobretudo em relação a pressões externas. A principal característica de um sistema resiliente é sua flexibilidade e capacidade de perceber ou eventualmente criar opções para enfrentar situações imprevistas e de risco.

O conceito de resiliência veio originalmente da física. Depois, ele foi introduzido na ecologia por Holling (1973) e emergiu como uma característica crítica de sistemas complexos e dinâmicos em uma variedade de disciplinas, incluindo a economia (Arthur, 1999), a pedologia (Lal, 1994), a psicologia (Bonanno, 2004), a sociologia (Adger, 2000), a gestão de riscos (Starr *et al.* 2003) e a teoria de redes (Calloway *et al.*, 2000).

A construção de sistemas resilientes requer melhorar as estruturas e os processos sociais e ecológicos que lhe permitem reorganizar-se após uma perturbação (WALKER *et al.*, 2001). Deste modo, o primeiro passo para alcançar a sustentabilidade hídrica é visualizar o hidrossistema como um sistema sócio-natural e complexo.

A resiliência de sistemas sócio-naturais é, em muitas situações, dependente da capacidade das sociedades humanas envolvidas processarem no tempo disponível todas as informações necessárias para lidar eficazmente com a dinâmica complexa do sistema como um todo (VAN DER LEEUW & ASCHAN-LEYGONIE, 2002). Considerar a resiliência no processo de gestão dos recursos hídricos aumenta a capacidade do sistema sócio-natural de sustentar-se em face da imprevisibilidade, da surpresa, dos riscos e da complexidade.

Para Folke *et al.* (2002), duas ferramentas são úteis para construir um sistema sócio-natural resiliente: a estruturação de cenários e a gestão adaptativa. O uso de cenários futuros ajudam a alcançar ou evitar determinados resultados. A gestão adaptativa permite construir um contexto social com instituições flexíveis e abertas de forma a aumentar a capacidade de adaptação sem excluir o desenvolvimento.

Diante do exposto, a sustentabilidade refere-se a uma abordagem em que a dinâmica social se presume dominante, e onde a sobrevivência da dinâmica do sistema depende de introduzir objetivos de longo prazo para a sociedade. Enquanto que, a resiliência ressalta a reciprocidade entre as dinâmicas social e natural, e sublinha a importância da mudança como um meio de sobrevivência.

Os sistemas sócio-ecológicos apresentam três características essenciais em sua evolução: adaptabilidade, resiliência e transformabilidade (FOLKE *et al.*, 2004, WALKER *et al.*, 2004). A *adaptabilidade* é definida como a capacidade dos atores de um sistema gerenciar sua resiliência. A *resiliência* é a capacidade de um sistema absorver perturbações e reorganizar-se quando sofre mudanças, mantendo a mesma função, estrutura, e retroalimentações, isto é, mantendo sua identidade. A *transformabilidade* é a capacidade de criar um sistema, fundamentalmente novo, quando os sistemas ecológicos, econômicos ou sociais (incluindo políticas) existentes encontram-se insustentáveis (WALKER *et al.*, 2004). Há uma importante distinção entre resiliência e adaptabilidade, por um lado, e transformabilidade, por outro. Resiliência e adaptabilidade relacionam-se à dinâmica de um sistema particular, ou a um conjunto de sistemas intimamente relacionados. E a transformabilidade refere-se, fundamentalmente, à alteração da natureza de um sistema.

Os sistemas sócio-naturais apresentam LIMIARES associado a um nível ou quantidade de uma variável de controle que caracteriza o estado do sistema. Estas variáveis podem mudar, muitas vezes lentamente, até um valor em que ocorre alteração em um *feedback crítico* impondo ao sistema se auto-organizar ao longo de uma trajetória diferente em direção a um atrator diferente; o sistema modifica seu padrão de ocorrência podendo inclusive modificar sua identidade inicial. Estes valores dos limiares tem sido associados na literatura ao conceito de capacidade de suporte do sistema.

3.4.2 Robustez

Nesse contexto, surge também o conceito de robustez, que se refere à capacidade de manter o desempenho do sistema quando sujeito a perturbações externas e imprevisíveis (CARLSON E DOYLE, 2002). Folke et al. (2002) enfatizam a importância da gestão da resiliência, pois ela aumenta as perspectivas de um desenvolvimento sustentável, e a capacidade de um sistema sócio-ecológico lidar com o imprevisto, cada vez maior em um mundo em constante transformação.

Janssen e Anderies (2007) observam que, devido aos desafios constantemente enfrentados pelos sistemas de governança dos recursos de uso comum, a discussão de perdas e ganhos na robustez é particularmente relevante para o processo de elaboração de mecanismos institucionais eficazes. Conforme os autores, a robustez dos sistemas sócio-ecológicos pode ser uma terminologia um pouco enganosa, uma vez que um sistema pode ser robusto a certas perturbações, mas não a outras. De fato, quando há o desejo de melhorar a robustez a perturbações de tipo A, pode-se ter que desistir de robustez a perturbações de tipo B. Os autores ressaltam que as sociedades humanas podem deliberar estratégias em relação a perdas e ganhos (*trade-off*) de robustez para os diferentes tipos de perturbação.

3.4.3 Estratégia Robusta

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), elaborado em 2006, levou em consideração a utilização de uma metodologia prospectiva de cenários para antecipar as imprevisibilidades acerca dos recursos hídricos. Como ponto de partida, para a construção desses cenários foi estabelecido que eles deveriam descrever futuros alternativos, como ferramenta do planejamento de uma realidade carregada de riscos.

Na visão prospectiva, os cenários devem ser construídos de acordo com um conjunto de princípios para que possam ser concebidos como seus instrumentos privilegiados. Eles devem surgir de modo lógico (num encadeado de causas e efeitos) do passado e do presente e devem ser desenvolvidos segundo linhas de raciocínio corretas.

A estratégia robusta busca responder como serão alimentadas as decisões dos gestores dos recursos hídricos ao longo do tempo e como se chegar a um

desenvolvimento sustentável para que haja o uso mais eficiente possível dos recursos hídricos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005).

A estratégia interroga sobre as escolhas possíveis e os riscos irreversíveis, e refere-se, desde os anos 80, aos cenários da prospectiva, como se pode observar nos trabalhos de Michael Porter. A passagem da reflexão prospectiva à ação estratégica supõe, a todo o momento, uma apropriação pelos atores a que diz respeito. O mesmo é dizer que a sociedade, e não apenas os gestores, deve ser envolvida ao máximo nas diferentes etapas do planejamento sem, por isso, alterar o caráter necessariamente confidencial de determinadas escolhas estratégicas (GODET, 2000).

3.4.4 Conceito de Risco

O conceito de risco começou a ser utilizado nos séculos XVI e XVII na área marítima, devido à preocupação com duas questões: a) qual a possibilidade de uma viagem ter sucesso; e b) que fatores eram importantes para determinar esse sucesso.

Muitas vezes risco e incerteza foram citados como sinônimos. No entanto, fazer a devida distinção é importante para uma gestão efetiva do risco. Segundo Knight (1921), risco é a aleatoriedade mensurável dos eventos futuros, ou seja, pode ser usada alguma função de distribuição de probabilidade capaz de descrever o valor dos eventos futuros. Já a incerteza, para o mesmo autor, é a aleatoriedade não mensurável dos eventos futuros. No limite sempre haverá alguma incerteza em todos os eventos práticos, pois seremos sempre incapazes de mensurar precisamente todos os efeitos que afetam os eventos futuros.

Para Giddens (2000), o conceito de risco é inseparável das idéias de probabilidade e incerteza, já que não se pode dizer que alguém enfrenta um risco quando o resultado da ação está totalmente garantido. Neste mesmo sentido, Raftery(1994, apud VIEIRA, 2005) expôs que o risco tem atributos quantificáveis, enquanto a incerteza não os tem. E que aos riscos sempre estariam associada uma função de probabilidade.

Holton (2004) relata que são necessários dois fatores para que o risco se configure. O primeiro é a incerteza sobre os prováveis resultados de um experimento, e o segundo é o fato de que os resultados obtidos precisam ser relevantes em termos de utilidade.

Conforme Damodaram(2009), a definição de risco deve incluir tanto a probabilidade de ocorrência quanto às consequências desse evento. Com isso, a

probabilidade de um grande terremoto pode ser pequena, mas, os danos são catastróficos que o evento poderia ser classificado como de alto risco. Segundo o mesmo autor, o risco se diferencia de ameaça por ser um evento de maior probabilidade, acerca do qual há informações suficientes para avaliar tanto a probabilidade quanto os danos.

Segundo a Política Nacional de Defesa Civil, risco é a relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de um evento adverso se concretize com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos (CASTRO, 2007).

Adams (2009, p. 64) estabelece que o risco seja definido, pela maioria dos que buscam mensurá-lo, como o produto da probabilidade e da utilidade de algum evento futuro, e complementa seu pensamento afirmando que “o futuro é incerto e inescapavelmente subjetivo: ele não existe a não ser nas mentes das pessoas que tentam prevêê-lo”.

Dwyer (*et al.*, 2004) diz que o risco depende de três elementos: perigo, vulnerabilidade e exposição. Para o mesmo autor, esta relação é proporcional, ou seja, se um destes elementos aumentar ou diminuir então, o risco aumenta ou diminui, respectivamente.

Na hidrologia o conceito de risco está associado ao da probabilidade de falha do sistema.

3.4.4.1 Percepção do Risco

O risco tem sido percebido pelo homem há muitos séculos e desde o aparecimento do seu conceito estudiosos tem procurado várias maneiras de mitigá-lo, seja por transferência de risco, seja por compartilhamento. Em geral, os níveis de risco de um evento são relacionados com as diferentes perspectivas atribuídas a ele. Desta forma, situações que possam parecer de alto risco para uma pessoa ou organização podem ser consideradas de baixo risco para outras.

A percepção do risco está relacionada com o comportamento dos agentes expostos a ele. Segundo Gitman (2004 apud BARROS FILHO, 2010) são três os comportamentos básicos em relação ao risco: indiferença, propensão e aversão. No caso de indiferença, não haveria nenhuma variação de retorno exigida em razão de uma variação nos níveis de risco. Em uma situação de propensão a risco, o agente estaria disposto a assumir até mesmo um retorno menor correlacionado a um risco maior. Em um comportamento de aversão ao risco, o agente exige um retorno mais alto em função da elevação do risco.

A linha de estudo que relaciona comportamento (psicologia) e economia é recente e ganhou notoriedade, em 1979, com a publicação do artigo *Prospect Theory: Na Analysis of Decision under Risk* de Daniel Kahneman e Amos Tversky, também conhecida como Teoria do Prospecto. Nesse trabalho, o comportamento foi visto sob uma ótica diferente da teoria neoclássica que obedece a teoria da utilidade esperada. Os autores concluíram no estudo que os indivíduos se comportam de maneira diferente diante de situações de ganhos e perdas.

Segundo Kahneman e Tversky (1979), a Teoria da Utilidade Esperada, que forma a base para um modelo descritivo de decisão, não descreve precisamente como os indivíduos avaliam as opções, principalmente em situações de decisão que envolvam risco.

Tversky e Kahneman (1981) sugerem que em função de imperfeições na percepção humana, mudanças de perspectiva podem reverter o aparente tamanho relativo dos objetos e o nível de desejo de cada opção. Os mesmos autores encontraram evidências de que a mudança de perspectiva para um determinado problema pode influenciar e enviesar a escolha das alternativas ficando evidente que nas escolhas que envolvem ganhos certos os indivíduos são avessos ao risco e nas escolhas envolvendo perdas certas são propensos ao risco (Figura 5).

A teoria do Prospecto foi construída sob a ótica de três efeitos. O efeito certeza que atribui um peso maior aos eventos certos em detrimento dos eventos que são prováveis. O efeito reflexo que mostra aversão a risco em situações de ganho, uma vez que as pessoas supervalorizam os ganhos certos e a propensão a risco nas situações de perda. Este efeito faz com que problemas idênticos tenham soluções distintas, violando a transitividade da utilidade esperada. E o efeito isolamento que é a decomposição equivocada dos problemas.

3.4.4.2 Estratégias de gestão de riscos

O risco pode ser gerado por um evento que produza impactos positivos e/ou negativos. Por isso ele deve ser gerenciado de forma que as oportunidades sejam maximizadas e as potenciais perdas sejam minimizadas.

A gestão do risco é uma abordagem sistêmica para identificar, avaliar e controlar o risco. Neste processo deverão ser incluídas as diferentes naturezas do risco a fim de que seja aplicada uma estratégia adequada para cada situação. Por exemplo, quando o

risco é financeiro é necessário o desenvolvimento de uma estratégia para reter, neutralizar e transferi-lo. O risco sendo natural faz-se necessário, além de isolá-lo, reduzi-lo ou eliminá-lo, prevenir - proteger e comunicar a sociedade sobre a possibilidade de ocorrência do mesmo.

Segundo Ponte (2005), o gerenciamento de riscos pode ser definido como um processo formal no qual fatores de incerteza presentes em determinado contexto são sistematicamente identificados, analisados, estimados, categorizados e tratados. Procura-se alcançar um equilíbrio entre a concretização de oportunidades de ganhos e a minimização de perdas. Trata-se de uma atividade interativa que permite o aprimoramento contínuo do processo de decisão.

Para o *National Institute of Standards and Technology*(2011), gerenciar riscos é uma atividade complexa e multifacetada a ser realizada de forma holística. É um processo abrangente que exige estabelecer o contexto para as decisões baseadas no risco, avaliando-o, para que seja possível responder a determinados riscos e acompanhá-los numa base contínua, usando uma comunicação eficaz e um feedback para a melhoria das atividades relativas ao risco.

De acordo com o autor supracitado são quatro os componentes de gestão de risco. O primeiro componente é estabelecer um contexto de risco. O segundo é avaliar o risco de acordo com o contexto definido. O objetivo desse componente é identificar as ameaças, as vulnerabilidades e as consequências do impacto. Para apoiar essa avaliação deve-se definir: i) as ferramentas, técnicas e metodologias a serem utilizadas; ii) os pressupostos relacionados ao risco; e iii) as restrições que possam afetar a avaliação dos riscos. O terceiro componente de gestão de risco aborda como as pessoas ou as instituições respondem aos riscos. O último componente é monitorar o risco ao longo do tempo.

O gerenciamento de risco, também, deverá considerar de forma integrada as diferentes visões de risco de forma a proporcionar alguns benefícios, como: i) a geração de uma base rígida e confiável para o planejamento e tomada de decisão; ii) a melhoria na identificação das ameaças e oportunidades; iii) a alocação e uso mais efetivo dos recursos; e, iv) a melhoria na conformidade com a legislação vigente.

4 Estratégias de gestão adaptativa

Refletir sobre as estratégias para a adoção de uma governança adaptativa em recursos hídricos, requer, inicialmente, a compreensão desta categoria como um conceito que se articula e se condiciona frequentemente com o termo governabilidade, sem, no entanto, serem sinônimos. A governabilidade diz respeito às condições necessárias para o exercício do poder, enquanto que a governança desponta como competência do governo de implementar as decisões tomadas. Segundo Bento (2003) a governança refere-se a um conjunto de instrumentos técnicos de gestão capazes de garantir a eficiência e adocratização das políticas públicas, ampliando e aperfeiçoando os canais de interlocução entre poder público e sociedade. A governabilidade, por sua vez, diz respeito “às condições do ambiente político em que se efetivam ou devem efetivar-se as ações da administração, à base de legitimidadedos governos, credibilidade e imagem públicas da burocracia” (BENTO, 2003, p. 85). Esses conceitos despontam como alternativas ao insulamento técnico-burocrático.

Atualmente, reconhece-se que a participação da sociedade civil no âmbito das decisões políticas relativas às chamadas coisas públicas figura como um caminho possível, mas não único, para a Governança adaptativa em recursos hídricos.

Nesse contexto, é preciso reconhecer que a eficácia da gestão dos recursos de uso comum por parte das instituições é influenciada pela sua capacidade adaptativa. Além disso, as instituições se modificam ao longo tempo em função da própria dinâmica da sociedade. Esses fatos sinalizam a necessidade de aprimoramento de conhecimento atinente à adaptação das instituições a um mundo em mudança. Para tanto, faz-se necessária a consideração de elementos chaves para um processo de gestão adaptativa de recursos de uso comum, especificamente, de recursos hídricos, a saber:

- ✓ Fornecimento de informações – produção e acesso a informações sobre os sistemas sócio naturais que tenham credibilidade, relevância e legitimidade. Conhecimento dos fluxos e contra-fluxos das informações e reconhecimento das informações/conhecimentos trazidos pelos agentes sociais;
- ✓ Gestão de conflitos- conceber os conflitos não como disfunções sociais, mas como elementos propulsores de mudança e inovação. Adoção de mecanismos capazes solucionar/amenizar os conflitos, como por

exemplo, a existência de fóruns de participação social, a execução da macro alocação, elaboração participativa de planos de contingência para eventos extremos, dentre outros mecanismos;

- ✓ Cumprimento de regras – as regras, formais ou não, devem ser adaptadas às diversas realidades locais e fruto de acordos, onde haja o compartilhamento do sentido da regra e mecanismos que estimulem o seu cumprimento para que a quebra dessas regras não se torne mais interessante do que a sua aceitação e, conseqüente, cumprimento. Devem, ainda, ser pensadas reconhecidas sanções compatíveis com as possíveis violações;
- ✓ Fornecimento de infraestrutura física, tecnológica e institucional- a gestão de recursos hídricos está condicionada com a infraestrutura física existente, a tecnologia em uso e o arranjo institucional adotado;
- ✓ Adaptação- Processo de construção e desconstrução/aprender e desaprender em função da dinâmica da sociedade e das incertezas climáticas, as quais demandam capacidade de adaptação e flexibilidade dos arranjos institucionais num contexto amplo de participação;

Mas, a variabilidade climática impõe significativas dificuldades para gestão de recursos hídricos, demandando mecanismos de gestão de risco, bem como a inserção da previsão climática no processo de alocação de água, a qual figura como elemento fundamental que garantirá uso menos conservador dos estoques de água. Além disso, há ainda a necessidade de flexibilização e capacidade de adaptação dos sistemas jurídico-institucionais (SOUZA FILHO e PORTO 2003).

Para isso os autores sugerem algumas medidas e propriedades que o sistema deve realizar ou possuir neste 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*- Deverão ser alcançadas por meio de ações estruturais e não estruturais. Como exemplo dos processos que estão associados a esta flexibilidade citam-se: a) o sistema de alocação de água flexível deverá prevê formas ágeis de realocação de água em anos secos; b) um sistema de oferta hídrica que disponha de mananciais alternativos (tais como,

reuso e dessalinização) e boa capacidade de transporte espacial desta disponibilidade;

- *Água como uma política pública* - é fundamental para o desenvolvimento das demais políticas setoriais. Analisar os processos e condicionantes históricos que levaram a afirmar que o entendimento de que o homem é o foco da questão, e que de uma certa forma, faz-se necessário conviver e integrar diferentes formas e setores de produção (da subsistência à indústria petroquímica) é elemento indispensável para a construção de uma solução socialmente justa e tecnicamente sustentável;
- *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, eles sugerem o transporte da água no espaço, ou seja, as transposições de bacias. Indicam ainda outras ações para essa gestão: (a) fontes alternativas de suprimento (tais como, reuso da água e dessalinização); (b) aprimorar os sistemas de operação de reservatório de curto prazo incorporando previsão climática; e (c) aprimorar as ferramentas de operação de reservatório de longo prazo com vistas a incorporar as incertezas oriundas da variabilidade e mudança climática;
- *Gestão da demanda e a adaptação institucional* - instrumentos essenciais para garantir o aumento da resiliência do sistema diante das incertezas e da variabilidade climática. Para isso, os autores sugerem os seguintes programas: a) cadastro de usuários de água: este programa é fundamental para a realização dos programas de direito da água, hidrometração e cobrança. b) programa de hidrometração: consiste na hidrometração dos maiores e mais importantes usuários da bacia hidrográfica. c) programa de direito de uso: consiste na elaboração de um modelo de alocação e a definição de regras claras de alocação e emissão dos títulos que personificarão os usuários com direito a uso. d) programa de cobrança de água bruta: programa que procura racionalizar o uso por meio de uma valoração econômica para água. e) programa de educação e desenvolvimento tecnológico: procura difundir e desenvolver tecnologias (estruturais ou não estruturais) de uso racional da água.
- *Hidrossistemas devem permitir*: a) um bom modelo de alocação; b) racionalização do uso, por meio de incentivos à conservação e proteção dos

suprimentos de água; c) possibilidade de transferência de água entre usos e usuários em resposta a mudança nas condições de suprimento e da demanda; d) modificação na operação da infraestrutura atual para adaptar às mudanças; e d) transposições e integração de bacias .

- *Planejamento e a gestão de riscos* - na construção de cenários futuros para o planejamento de longo prazo às incertezas nas vazões são acrescentadas às incertezas na projeção de demandas futuras provenientes das mudanças do clima ou da modelagem do comportamento dos diversos atores econômicos e sociais que definem esta demanda. Desse modo, deve-se realizar melhora nos métodos de planejamento diante das incertezas por meio de ações de desenvolvimento e aplicação.
- *Planos de contingência (secas e cheias)* - deverão ser 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 a ocorrência dos mesmos.
- *Aprimoramento dos modelos de previsão climática* - para geração de informação e sua utilização no acoplamento de modelos hidrológicos aos modelos de previsão climático a fim de avaliar os impactos na agricultura, economia e recursos hídricos no processo de previsão;
- *Aprimoramento do conhecimento da natureza para prever mudanças*, com o objetivo de avaliar melhor os processos físicos nas bacias hidrográficas.
- *Produção de conhecimentos* - devem ser realizadas trocas de conhecimentos entre as instituições de administração da água objetivando a atualização do conhecimento sobre mudança e variabilidade climática.

5 Base Legal: Aspectos Legais e Institucionais

Enquanto ferramentas de decisões políticas dos governos (SOUZA, 2006) e resultado de intervenções de um campo multidisciplinar, as políticas públicas buscam responder diversos problemas latentes na sociedade fruto da ação humana, mas também da ocorrência de eventos considerados naturais.

Embora se reconheça que o marco regulatório da Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil é o Código de Águas(1930), somente a partir dos 80 começaram a despontar no cenário nacional diversas políticas públicas para lidar com os desafios impostos pela variabilidade climática e uso degradante dos recursos naturais (Ver Quadro 01). Dessa forma, percebe-se que a necessidade de adaptação, reconduz a sociedade ao planejamento, por envolver uma reflexão antecipada e sistemática (GIDDENS, 2010), impulsionando a existência de vários planos nacionais e/ou estaduais, pautados em arcabouço jurídico específico que estabelece diretrizes, objetivos, instrumentos e, em alguns casos, até metas como, por exemplo, a Lei 12.187/09 – Mudança do Clima, que propõe uma redução da emissão de carbono por parte do Brasil. No quadro a seguir é possível visualizar as políticas públicas citadas anteriormente e seu instrumento normativo específico.

Quadro 01. Políticas públicas e seus respectivos instrumentos normativos

Política Pública	Instrumento Normativo
Meio Ambiente	Lei N°6.938/81
Recursos Hídricos	Lei N° 9.433/97
Saneamento	Lei N°11.445/07
Irrigação	Lei N° 12.787/13
Mudança do Clima	Lei N° 12.187/09
Segurança de Barragens	Lei N° 12.334/10
Proteção e Defesa Civil	Lei N° 12.608/12

Cada uma das políticas públicas contidas no Quadro 2 figuram como elementos norteadores de ações e ou atividades humanas que fazem uso de recursos ambientais para fins econômicos, mas também de ações de mitigação e de adaptação com vistas ao desenvolvimento sustentável, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e a conservação de recursos naturais e dos ecossistemas. Entretanto, há que se reconhecer que a simples existência das políticas políticas não elimina dificuldades para sua implantação.

Canali (2014)¹, elenca algumas dificuldades no processo de implementação dessas políticas públicas, a saber: fraca ou inexistente integração ao se observar o papel dos Conselhos Nacionais de Políticas Públicas; fragmentação e imediatismo, planos pouco efetivos, dispersão de foco e recursos, disputas federativas e fraca percepção social do risco. Embora o referido autor reconheça pontos forte e fracos das políticas públicas, ele aponta alguns caminhos que podem ser percorridos para buscar a integração entre as políticas públicas.

Inicialmente, sinaliza para a realização de uma avaliação estratégica das bacias hidrográficas que afirma ser o ponto de partida para o planejamento de ações. Em seguida, fala da identificação de ações prioritárias que devem ser votadas/escolhidas pela sociedade. Fala também da importância de foco na implantação que deve se dar por meio da celebração de pactos federativos, respaldados por compromissos dos governantes eleitos. Finalmente, afirma que as ações e resultados devem ter publicidade, a fim de democratizar o acesso à informação à população, ao passo que esta não é mero coadjuvante do processo de gestão das políticas públicas atinentes à gestão de recursos hídricos e de mudança climática.

Um desafio que vem à tona ao refletir sobre a aplicabilidade das políticas públicas em questão no âmbito do sistema federalista brasileiro é o embate entre a descentralização com a tendência centralizadora da União relativa ao domínio das águas e a busca de solução dos conflitos daí decorrentes. Configurando-se como uma ameaça ao novo sistema político de organização territorial e distribuição de poder no país. Para superar essa situação, propõe-se que a União não tenha tarefas executivas, mas a atribuição, já expressa, de articular os demais entes da federação sem ser seu concorrente, bem como estabelecer linhas gerais relativas às políticas públicas, como por exemplo, a Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos. Essas mudanças são passíveis de acontecer sem que haja mudança no texto constitucional fruto de uma reforma, mas através do que se convencionou chamar de mutação constitucional resultado de alterações na interpretação.

¹ Apresentação oral intitulada: *Segurança Hídrica-Instrumentos Normativos*, realizada na Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), cidade de Belo Horizonte em 27 de março de 2014.

A seguir é possível visualizar um quadro síntese das questões centrais das legislações em foco.

Quadro 02. Síntese das questões centrais contidas nas políticas públicas lidar com os desafios impostos pela variabilidade climática e uso degradante dos recursos naturais.

LEGISLAÇÕES	QUESTÕES CENTRAIS	LEGISLAÇÕES	QUESTÕES CENTRAIS
Recursos Hídricos	<p>Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídrico; Tripé indissociável: participação, descentralização e integração; Faz uso de mecanismos econômicos de incentivo ao uso racional e solução de conflitos; Adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento; Redefine os marcos técnico, jurídico e institucional concernentes a gestão de recurso hídrico no país/A gestão de oferta alia-se a gestão de demanda; Propõe o uso eficiente dos recursos hídricos por meio da utilização de instrumentos como cobrança pelo uso da água bruta e a inclusão da participação pública; Modificações no centro do poder/Tomada de decisão pautada em acordos firmados por usuários, sociedade civil e Estado através de órgãos colegiados como Comitês de Bacias Hidrográficas e Comissões de Usuários; Alterações no mecanismo de financiamento do sistema: pagamento de usuários e não mais exclusivamente, uso de recursos da União. A integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental é uma diretriz; A cooperação entre os entes da federação aparece em todas essas políticas como condição necessária para sua implantação e execução.</p>	Meio ambiente	<p>Institui a Política Nacional de Meio Ambiente; Faz uso do comando controle; Participação da sociedade por meio de audiências públicas; As ações de adaptação e mitigação aparecem como estratégias que devem se estender aos âmbitos local, regional e nacional de forma articulada com as ações já existentes nas esferas estadual e municipal de entidades públicas e privadas; A cooperação entre os entes da federação aparece em todas essas políticas como condição necessária para sua implantação e execução.</p>
		Saneamento	<p>Institui a Política Nacional de Irrigação; O tema participação aparece como princípio fundamental relacionado ao controle social; Adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento; o Artigo 4º afirma que “os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento”, ou seja, não se pode confundir água bruta com os serviços de saneamento; Os planos de saneamento básico deverão ser compatíveis com os planos de bacias hidrográficas; A cooperação entre os entes da federação aparece em todas essas políticas como condição necessária para sua implantação e execução.</p>
Irrigação	<p>Institui a Política Nacional de Irrigação; Preconiza que esta lei deve manter uma interface com a Lei 9.433/97; Trata do uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados à irrigação; O tema participação aparece como um princípio que junto com a</p>	Mudança do clima	<p>Institui a Política Nacional de Meio Ambiente; Pauta-senos princípios da precaução, da prevenção, da participação dos cidadãos com vistas ao desenvolvimento sustentável; Aponta para a necessidade de utilização de instrumentos financeiros e econômicos.</p>

LEGISLAÇÕES	QUESTÕES CENTRAIS	LEGISLAÇÕES	QUESTÕES CENTRAIS
	<p>democracia deve orientar a gestão dos projetos públicos;</p> <p>Os comitês de bacias devem ser consultados mediante a elaboração dos planos estaduais de irrigação;</p> <p>Adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento;</p> <p>A cooperação entre os entes da federação aparece em todas essas políticas como condição necessária para sua implantação e execução</p>		<p>A cooperação entre os entes da federação aparece em todas essas políticas como condição necessária para sua implantação e execução</p>
<p>Segurança de Barragens</p>	<p>Institui a Política Nacional de Segurança de Barragens;</p> <p>A participação figura como um fundamento da Política Nacional de Segurança de Barragens –PNSB;</p> <p>Adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento;</p> <p>A cooperação entre os entes da federação aparece em todas essas políticas como condição necessária para sua implantação e execução;</p> <p>Traz ao longo de seu texto categorias como gestão de risco e segurança de barragem</p>	<p>Proteção e Defesa Civil</p>	<p>Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC;</p> <p>Autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres;</p> <p>A participação social aparece como possibilidade de colaboração de entidades pública, privada e da sociedade civil nas medidas previstas para redução dos riscos de desastres, sendo ainda, uma diretriz do PNPDEC;</p> <p>Adota a bacia hidrográfica como unidade de ações de prevenção;</p> <p>A cooperação entre os entes da federação aparece em todas essas políticas como condição necessária para sua implantação e execução.</p>

6 Referências

ADAMS, J. **Risco**. São Paulo: SENAC, 1ª ed., 2009, 224p.

ALEXANDRE, G.R; BATISTA, M.B; NAGHETTINI, M.; **Estudo para a identificação da altura anual de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de modelos climáticos**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2009.

AMBRIZZI, T.; SOUZA, E.B.; PULWARTY, R.S. The Hadley and walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. *In The hadley circulation: present, past and future*, Diaz H.F. and Bradley R.S. (Eds.). Kluwer Publishers, Chapter 7, p. 203-235, 2004.

ARAÚJO, A. R. **Educação ambiental e sustentabilidade: desafios para a sua aplicabilidade**. 2010. 77p. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Pós-Graduação em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Agrícolas. Lavras, MG. 2010.

ARAÚJO, J.A; FERNANDES, L.; MACHADO JÚNIOR, J.C; OLIVEIRA, M.R.L; SOUSA, T.C. Sedimentação de Reservatórios no Semiárido do Brasil *In* Thomas Gaiser; Maarten Krol; Hort Frischkorn; José Carlos de Araújo. (Org.). **Global change and regional impacts: water availability and vulnerability of ecosystems and society**. Berlin: Springer Verlag, 2003

AUGUSTIN, N. H., L. BEEVERS, and W. T. SLOAN (2008). **Predicting river flows for future climates using an autoregressive multinomial logit model**, *Water Resour. Res.*, 44, W07403, doi:10.1029/2006WR005127.

BARROS FILHO, C. V. **Otimização e planejamento de capital em instituições financeiras considerando os requisitos de acordo com a Basileia II para o risco do crédito**. 2010. 132f. Dissertação (Mestrado). Desenvolvimento Regional e Gestão de Empreendimentos Locais, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2010

BATES, B.; KUNDZEWICZ, Z.W; WU, S.; PALUTIKOF, J.; **Climate change and water**. IPCC, APRIL 2008.

BENTO, L. V. **Governança e governabilidade da reforma do Estado: entre eficiência e democracia**. Editora Manole. 2003.

CAMPOS, J.N.B. e NÉRIS, L.F.A.. Mudanças Climáticas e Disponibilidades Hídricas no Semiárido: Resultados Preliminares. *In* SERVAIN, J., CAMPOS, J.N.B., MARTINS, E.S.P.P. **Clima do Atlântico Tropical e Impactos Sobre o Nordeste (CATIN)**. 2009.

CAMPOS, J.N.B; STUDART, T.M.C; CHAGAS, T.C.; Vulnerabilidade no Rendimento de Reservatórios em mudanças climáticas” *In*: Thomas Gaiser; Maarten Krol; Hort Frischkorn; José Carlos de Araújo. (Org.). **Global change and**

regional impacts: water availability and vulnerability of ecosystems and society. Berlin: Springer Verlag, 2003.

CANALI, GILBERTO, VALENTE. Descentralização e subsidiariedade na gestão de recursos hídricos – uma avaliação da sua recente evolução em face da Lei 9.433/97. *In* FREITAS, Vladimir P. (Coord.) **Direito Ambiental em Evolução 3**. Curitiba: Juruá, 2002.

CASTRO, A.L.C **Manual de Planejamento da Defesa Civil**. Brasília. Ministério da Integração Nacional, Secretária da Defesa Civil, 2007.

CHARLES, S. P., B. C. BATES, I. N. SMITH, AND J. P. HUGHES. **Statistical downscaling of daily precipitation from observed and modelled atmospheric fields**, *Hydrol. Processes*, 18, 1373 – 1394, doi:10.1002/hyp.1418, 2004.

CHIEW, F. H. S., AND T. A. MCMAHON (2002), **Modelling the impacts of climate change on Australian streamflow**, *Hydrol.Processes*, 16, 1235– 1245, doi:10.1002/hyp.1059.

CHIEW, F. H. S., J. TENG, J. VAZE, D. A. POST, J. M. PERRAUD, D. G. C. KIRONO, AND N. R. VINEY. **Estimating climate change impact on runoff across southeast Australia: Method, results, and implications of the modeling method**, *Water Resour.Res.*, 45, W10414, doi:10.1029/2008WR007338., 2009.

DAMODARAM, A. **Gestão estratégica do risco: uma referência para a tomada de riscos empresariais**. Porto alegre: Bookman, 1ª ed., 2009, 394p.

DÖLL, P. ; KROL, M.; FUHR, D.; GAISER, T.; HERFORT, J.; HÖYNCK, S.; JAEGER, A.; KÜLLS,C.; MENDIONDO,M.; PRINTZ, A.; VOERKELIUS, S.. Cenários Integrados de Desenvolvimento Regional no Ceará e Piauí. In: Thomas Gaiser; MaartenKrol; HortFrischkorn; José Carlos de Araújo. (Org.). **Global change and regional impacts: water availability and vulnerability of ecosystems and society**. Berlin: Springer Verlag, 2003.

DÖLL, P. AND M. FLÖRKE. **Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge**. Frankfurt Hydrology Paper 03, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, 2005.

DÖLL, P.; HAUSCHILD, M. **Model-based regional assessment of water use – an example for semi-arid Northeastern Brazil**. *WaterInternational*, v.27, p.310-320, 2002.

DWYER, A.; ZOPPOU, C.; NIELSEN, O.; DAY, S.; ROBERT, S. Quantifying social vulnerability: A methodology for identifying at risk to natural hazards. **Geoscience Australia Record**, v. 14, 2004.

ESCARIO, R.D. **Influência do Modelo na Resposta Hidrológica a Cenários de Mudanças Climáticas**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2009, 212 p.

FOLKE, C., CARPENTER, S., WALKER, B., SCHEFFER, M., ELMQVIST, T., UNDERSON, L. y HOLLING, C.S. **Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management.** Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, vol.35, 557-581, 2004.

FOLKE, C., S. R. CARPENTER, B. WALKER, M. SCHEFFER, T. CHAPIN, AND J. ROCKSTRÖM. **Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability.** Ecology and Society 15(4): 20. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>, 2010.

FU, G., S. P. CHARLES, AND F. H. S. CHIEW. **A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow,** Water Resour. Res., 43, W11419, doi:10.1029/2007WR005890, 2007.

GALLOPÍN, G.C. A systemic synthesis of the relations between vulnerability, hazard, exposure and impact, aimed at policy identification. *In Economic Commission for Latin American and the Caribbean (ECLAC), Handbook for Estimating the Socio-Economic and Environmental Effects of Disasters.* ECLAC, LC/MEX/G.S., Box 1 Mexico, D.F, 2003.

_____. **Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity.** Global Environmental Change 16, 2006.

GIDDENS, A. **A Política da Mudança Climática.** São Paulo: Zahar, 2010.

_____. **O mundo na era da globalização.** Lisboa: Presença, 4ª ed., 2000, 65p.

_____. (1991) **As conseqüências da modernidade.** São Paulo: Unesp.

GODET, M., **A caixa de ferramentas da prospectiva estratégica.** CEPES – Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégia. P.97, Lisboa Portugal., 2000

GORDON, H. B., AND S. P. O'FARRELL. **Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice,** Mon. Weather Rev., 125, 875– 907, doi:10.1175/1520-0493(1997)125<0875:TCCITC>2.0.CO;2, 1997.

GRAY, S. T., AND G. J. MCCABE, **A combined water balance and tree ring approach to understanding the potential hydrologic effects of climate change in the central Rocky Mountain region,** Water Resour. Res., 46, W05513, doi:10.1029/2008WR007650, 2010.

HOLLING, C.S. **Engineering resilience vs. ecological resilience.** In Engineering Within Ecological Constraints, ed. PC, Schulze, p. 31–43. Washington, DC: Natl, 1996.

_____. **Resilience and stability of ecological systems.** Annual. Rev. Ecol. Syst. 4:1-23, 1973.

_____. **Understanding the complexity of economic, ecological and social systems,** Ecosystems, vol.4, 390-405, 2001.

HOLTON, G. A. Defining Risk. **Financial Analysis Journal**, v. 60, n. 6, p. 19-25, 2004.

INSTITUTE FOR WATER, ENVIRONMENT & HEALTH. Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief. Global Water Agend. United Nations University, 2013

IPCC. WGII AR5: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Technical Summary, 2014.

IPCC. WGII AR5. **Final draft: Point of departure** chapter 1, 2014.

_____. WGII AR5. **Final draft. Adaptation Needs and Options.** Chapter 14, 2014

_____. **Climate Change 2007: Synthesis Report.** 2007b.

_____. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp. 2007a.

_____. **Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation** [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19, 2012.

_____. Climate change . Impacts, adaptation, and vulnerability. *In* MCCARTHY, J.J. **Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p.1.032, 2001.

JANSSEN, M., ANDERIES, M. **Robustness trade-offs in social–ecological systems** International Journal of the Commons, 1 (1) 2007.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, v. 47, n. 2, pp. 263-292, 1979.

KNIGHT, F. H. *Risk, Uncertainty and Profit*. New York: Hart, Schaffner and Marx, 1921.

KROL, M.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. **Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil.** Journal of Hydrology, Amsterdam, v.328, p.417-31, 2006.

KROL, M.S.; BRONSTERT, A. **Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil.** Environmental Modelling & Software, Oxford, v.22, p.259-68, 2007.

Krol, M.S.; Jaeger, A.K.; Bronstert, A.; Modelagem Integrada dos Impactos das Mudanças Climáticas. In Thomas Gaiser; Maarten Krol; HortFrischkorn; José Carlos de Araújo. (Org.). **Global change and regional impacts: water availability and vulnerability of ecosystems and society**. Berlin: Springer Verlag, 2003 .

KUNDZEWICZ, Z.W., L.J. MATA, N.W. ARNELL, P. DÖLL, P. KABAT, B. JIMÉNEZ, K.A. MILLER, T. OKI, Z. SEN AND I.A. SHIKLOMANOV. **Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210, 2007.

Lall, U., and M. Mann .**The Great Salt Lake: A barometer of lowfrequency climatic variability**, Water. Resour. Res., 31, 2503– 2515, 1995.

LALL, UPMANU ; SOUZA FILHO, F. A. . **Water Resource Management Under Changing Climate: Role of Seasonal Forecasts**. WaterResourcesImpact, Utha, v. 6, n. July, p. 7-10, 2004.

LAVELL, A., M. OPPENHEIMER, C. DIOP, J. HESS, R. LEMPERT, J. LI, MUIR-WOOD, R. E MYEONG, S. **Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience**. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 25-64, 2012.

MANNING, L. J., J. W. HALL, H. J. FOWLER, C. G. KILSBY, AND C. TEBALDI **Using probabilistic climate change information from a multimodel ensemble for water resources assessment**, Water Resour. Res., 45, W11411, doi:10.1029/2007WR006674, 2009.

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 .

MEHROTRA, R., AND A. SHARMA (2010), **Development and Application of a Multisite Rainfall Stochastic Downscaling Framework for Climate Change Impact Assessment**, Water Resour. Res., 46, W07526, doi:10.1029/2009WR008423

MELLO, E.; OLIVEIRA, F.A.; PRUSKI, F.F. **Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Paracatu (médio São Francisco)**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.4, p.635-644, out./dez. 2008.

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 da Universidade de São Paulo. p1-202, 2013.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Balanco Energético Nacional 2005: Ano base 2004**, Empresa de Pesquisa Energética/EPE, Rio de Janeiro: 2005.

MILLER, D. AND FRITSCH, J.M., 1991: **Mesoscale convective complexes in the Western Pacific region**. Mon. Weather Rev, 119, p. 2978-2992, 1991.

MILLY, P. C. D., K. A. DUNNE e A. V. VECCHIA. **Global pattern of trends in streamflow e water availability in a changing climate**. Nature, Vol 438, 17 November 2005|doi:10.1038/nature 04312, 2005.

MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J.,; FALKENMARK, M. ; HIRSCH, R.M.; KUNDZEWICZ,Z.W.; LETTENMAIER,D.P; STOUFFER, R.J. **Stationarity Is Dead: Whither Water Management?**. SCIENCE VOL 319 1 FEBRUARY 2008.

MITCHELL, T. D.; FEDDES, R.B.R; FRITSCH, J.; HOFF, H; KABAT, P.; KÖNNEN, G; ZBIGNIEW KUNDZEWICZ. Chapter 1: Brief Overview of the Science on Water and Climate *INDialogue on water and climate*. Editores: KABAT, P.; SCHULZE, R.E.; HELLMUTH, M.E.; VERAART, J.A.; " DIALOGUE ON WATER AND CLIMATE, 2002.

MORIN, EDGAR. **Introdução ao pensamento complexo**. Tradução: Eliane Lisboa. 4ed. Porto Alegre: Sulina, 2011.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Managing Information Security Risks**. United States: NIST Special Publication 800-39, 2011, 88p.

NÓBREGA, M.T., COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M., PAZ, A.R. **Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil**. Hydrol. Earth Syst. Sci., v. 15, p. 585–595, 2011.

NUNEZ, M., AND J. L. MCGREGOR. **Modelling future water environments of Tasmania, Australia**, Clim. Res., 34, 25 – 37, doi:10.3354/ cr034025, 2007.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas na América do Sul e convecção na Amazônia**. Dissertação de Mestrado em meteorologia - INPE, São José dos Campos, (INPE-4008-TDL/239),1986.

PACHAURI, R.K. e REISINGER, A. **Synthesis Report - Fourth Assessment Report**. IPCC, Geneva, Switzerland. 2007. 104 p.

PONTE, M. V. V. **Gerenciamento de risco**. 4º Prêmio Schöntag. Secretária da Receita Federal - ESAF. 2005.

RAJE, D., AND P. P. MUJUMDAR. **A conditional random field–based downscaling method for assessment of climate change impact on multisite daily precipitation in the Mahanadi basin**, Water Resour. Res., 45, W10404, doi:10.1029/2008WR007487, 2009.

_____. **Constraining uncertainty in regional hydrologic impacts of climate change: Nonstationarity in downscaling**. Water Resour. Res., 46, W07543, doi:10.1029/2009WR008425, 2010.

RIBEIRO, D. P. C. **Prospecttheory, diversificação ingênua e propensão a risco de especialistas de mercado: Evidência empírica no Brasil**. 2010. 55f. Dissertação (Mestrado). Pós – Graduação em Economia. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2010.

RIBEIRO NETO, A.; CIRILO, J.A. e DANTAS, C.E.O. Integração de Modelos Chuva-Vazão e Hidrodinâmico para Simulação de Cheias. *In Anais XIV World WaterCongress, 2011*, Porto de Galinhas-PE, IWRA.

RIBEIRO NETO, A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. E CIRILO, J.A. Impacto das mudanças climáticas no escoamento superficial usando modelo climático regional: Estado de Pernambuco – Nordeste do Brasil. *In Anais XIV World WaterCongress, 2011*, Porto de Galinhas-PE, IWRA.

SALATI, T., SCHINDLER, W., VICTORIA, D.C., SALATI, E., SOUZA, J.C.S., NOVA, N.A.V. **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. 80 p.

SANKARASUBRAMANIAN, A., R. M. VOGEL, AND J. F. LIMBURNER. **Climate elasticity of streamflow in the United States**, Water Resour. Res., 37, 1771– 1781, doi:10.1029/2000WR900330., 2001.

STOCKER, T, QIN DAHE, GIAN-KASPER PLATTNER, MELINDA TIGNOR, PAULINE MIDGLEY. **IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections**. 25-27 January 2010. Boulder, Colorado, USA.

SILVA, M. S. **Avaliação Ambiental Estratégica na Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH**. 2008. 189 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília (UnB), Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília. 2008.

SILVEIRA, C. S. ; SOUZA FILHO, F. A., CABRAL, S.L.. **Análise das Projeções de Precipitação do IPCC-AR4 para os Cenários A1B, A2 e B1 para o Século XXI para Nordeste Setentrional do Brasil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, RS, v. 18, n. 2, p. 117-134, 2013.

SILVEIRA, C. S. ; SOUZA FILHO, F. A.; COSTA, A.A.; CABRAL, S.L.. **Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 28, n. 3, p. 317-330, 2013.

SILVEIRA, C. S. ; SOUZA FILHO, F. A., LÁZARO, Y.M.C. **Avaliação de Desempenho dos Modelos de Mudança Climática do IPCC-AR4 Quanto a Sazonalidade e os Padrões de Variabilidade Interanual da Precipitação Sobre o Nordeste do Brasil, Bacia do Prata e Amazônia** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, RS, v. 18, n. 1, p. 177-194, 2013.

SILVEIRA, C. S. ; SOUZA FILHO, F. A.; LOPES, J.E.G; BARBOSA, P. S. F.; TIEZZI, R. O. **Análise das projeções de vazões nas bacias do setor elétrico**

brasileiro usando dados do ipcc-ar4 para o século xxi. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, RS, v. 19, n. 4, 2014. (aceito para publicação)

SOUZA FILHO, F. A., PORTO, R.. Aprimoramento do processo de alocação de água de curto prazo no Ceará através da utilização da informação climática. *In XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2003, Curitiba/PR. Anais em CD-ROM, 2003

SOUZA FILHO, F. A. ; PORTO, RUBEM L. . Acoplamento de modelo climático e modelo hidrológico. *In XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2003, Curitiba. Desafios da Gestão da Água no Limiar do Século XXI. Porto Alegre : ABRH, 2003.

SOUZA FILHO, F.A. **Variabilidade e Mudança Climática nos Semi-Áridos Brasileiros.** Em *Clima e Recursos Hídricos.* . Ed. C.E.M Tucci e B. Braga, pp. 77-11. (Coleção ABRH, Porto Alegre, RS) 2003.

SOUZA, CELINA. Federalismo, desenho constitucional e instituições federativas no Brasil pós-1988. *Revista de Sociologia Política.* Curitiba, nº 24, p. 105-121, jun. 2005
Souza, Celina. **Introdução Políticas Públicas: uma revisão da literatura.** *Sociologias.* Porto Alegre, ano 8, nº 16, jul/dez 2006.

TANAJURA, C.A.S; GENZ, F.; ARAÚJO, H.A. **Mudanças Climáticas E Recursos Hídricos Na Bahia: Validação Da Simulação Do Clima Presente Do Hadrm3p E Comparação om Os Cenários A2 E B2 Para 2070-2100.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.3, 345 - 358, 2010

_____. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da modelagem do clima presente *In XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2009.

TOMASELLA, J., BORMA, L.S., MARENGO, J.A., RODRIGUEZ, D.A., CUARTAS, L.A., NOBRE, C.A. e PRADO, M.C.R. **The droughts of 1996–1997 and 2004–2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem.** *Hydrol. Process.* 25, 1228–1242. 2011.

TOMASELLA, J., RODRIGUEZ, D. A., CUARTAS, L. A., FERREIRA, M., FERREIRA, J. C., FERREIRA, J.C., MARENGO, J. **Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na Bacia do Rio Tocantins.** CCST/INPE, Cachoeira Paulista, 2009.

TURNER II., B.L., KASPERSON, R.E., MATSON, P.A., MCCARTHY, J.J., CORELL, R.W., CHRISTENSEN, L., ECKLEY, N., KASPERSON, J.X., LUERS, A., MARTELLO, M.L., POLSKY, C., PULSIPHER, A., SCHILLER, A.A **framework for vulnerability analysis in sustainability science.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100 (14), 8074–8079, 2003.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, v.211, n. 4481, p. 453 – 458, 1981.

UK MET OFFICE. **Climate change, rivers and rainfall.** Recent research on climate change science from the Hadley Centre December 2005.

VAN DER LEEUW, S.; ASCHAN-LEYGONIE, C. **A long-term perspective on resilience in socio-natural systems.** Workshop: System shocks- system resilience. Sweden, 2002.

VIEIRA, V.P. P. B. **Sustentabilidade do Semi-Árido Brasileiro: Desafios e Perspectivas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 7. n.4. outubro/dezembro, 2002. (2005)