

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável

Aplicabilidade do Programa Um Milhão de Cisternas no contexto do Distrito  
Federal para convivência com a seca

Dissertação de mestrado para avaliação pela  
Comissão Examinadora.

Autora: Ana Cristina Borges Carvalho

Orientador: Saulo Rodrigues Pereira Filho

Brasília-DF, agosto de 2019.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Ana Cristina Borges Carvalho

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família, em especial meu irmão Frederico, pelo apoio incondicional, paciência e carinho em todas as etapas do mestrado, e por me auxiliarem especialmente na reta final de entrega.

Ao Professor Saulo, pelo crescimento e aprendizado pessoal e profissional.

Aos meus colegas do mestrado, por todas as conversas, desabafos, e força para continuar nesse árduo caminho.

Aos meus amigos que escutaram todas as minhas lamúrias e me incentivaram sempre a continuar: Juliana Walczuk, Matheus, Rafael, Pedro, Camila, Marcus, Thaís, Vítor, Maitê, Artur, Juliana Lastras, Kelton, Valéria, Gabriela, Caio. Sem vocês, eu nunca teria forças pra chegar sozinha até aqui.

Um agradecimento especial ao meu amigo Matheus pelo auxílio em todos os momentos, e em particular na parte de revisão do *abstract*.

Agradeço imensamente também ao meu amigo Vítor, que me auxiliou na análise de dados e produção de gráficos.

Aos meus colegas de trabalho e aos meus chefes, que sempre foram compreensivos com minha necessidade de horário especial para realizar as disciplinas e pelas discussões enriquecedoras em todos os aspectos: Adalton, Orivam, Andrea, Simone, Leandro, Cláudia. Conviver com vocês todos os dias é uma honra.

Ao meu psicólogo, Fernando, que também passou pelo mestrado e me auxiliou a atravessar com sanidade toda essa jornada.

Ao Centro de Desenvolvimento Sustentável por me possibilitar dois anos de profundo aprendizado e por ser um centro de discussão de matérias tão relevantes atualmente.

## Resumo

O Brasil encontra-se em uma das regiões do mundo que mais se aqueceu nos últimos anos, e são esperadas profundas mudanças no clima e alterações nos regimes de precipitação. A água fornece suporte essencial à vida, e alterações pluviométricas constituem grave ameaça, especialmente para populações mais vulneráveis. Neste sentido, a adaptação emerge nos últimos anos como solução rápida para as consequências destas mudanças. O DF vem enfrentando uma crise hídrica nos últimos anos, porém além do estímulo ao contingenciamento e aumento no investimento por novas fontes de água, pouco foi feito com relação à demanda por água. A diminuição da demanda por água por meio de sistemas de coleta da água da chuva pode ser uma alternativa mais barata e com maiores benefícios sociais locais. Este estudo tem como objetivo analisar a aplicabilidade do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) no âmbito do Distrito Federal, pois é um programa de sucesso no Nordeste para adaptação à escassez de água. A pesquisa utilizou o software Netuno para análise do custo benefício econômico da implementação. Também foram analisadas as condicionantes favoráveis e desfavoráveis com relação à legislação, abertura social e incentivos diversos para que o programa ocorra no contexto do DF. O estudo conclui que o P1MC só poderia ser implementado com sucesso em áreas rurais, mas que sistemas de coleta de água de chuva se mostram como solução economicamente viável para diminuição da pressão dos reservatórios em casos de grande demanda em áreas urbanas, e é especialmente favorável em casas com grande área de captação. A medida aumentaria a segurança hídrica, porém majoritariamente da população mais abastada. A implantação de projetos desse tipo no DF é uma alternativa mais barata e rápida que ampliação da oferta, e é econômica para os cofres públicos e para as famílias. Apesar da abertura legislativa, políticas públicas são necessárias no âmbito distrital para incentivar a instalação desses sistemas, possivelmente com políticas tarifárias benéficas e programas de conscientização da importância do uso da água da chuva.

**Palavras chave:** cisternas, adaptação, mudanças climáticas, segurança hídrica, sistemas de coleta de água da chuva

## Abstract

Brazil is located in one of the regions of the world that has warmed the most in recent years, and profound changes in climate and precipitation regimes are expected. Water provides essential life support, and rainfall changes pose a serious threat, especially to more vulnerable populations. In this sense, adaptation has emerged in recent years as a quick solution to the consequences of these changes. The Federal District (DF) has been facing a water crisis in recent years, but besides a contingency plan and investment for new water sources, little has been done regarding the demand for water. Reducing demand for water through rainwater harvesting systems may be a cheaper alternative with greater local social benefits. This study aims to analyze the applicability of the Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) within the Federal District, as it is a successful program in the Northeast to adapt to water scarcity. This research used a software called Neptune to analyze the cost benefit ratio of the implementation. The favorable and unfavorable conditions regarding legislation, social openness and various incentives for the program to take place in the context of the Federal District were also analyzed. The study concludes that P1MC could only be successfully implemented in rural areas, but that rainwater harvesting systems prove to be an economically viable solution for lowering reservoir pressure in cases of high demand in urban areas, and is especially favorable in houses with large catchment areas. This measure would increase water security, but mostly for the wealthier population. The implementation of such projects in the DF is a cheaper and faster alternative than expanding water supply, and is economical for public coffers and families. Despite legislative openness, public policies are needed at the district level to encourage the installation of these systems, possibly with beneficial tariff policies and programs to raise awareness of the importance of rainwater use.

**Key Words:** cisterns, adaptation, climate change, water security, rainwater harvesting systems

## Sumário

<b>Lista de figuras.....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de tabelas.....</b>	<b>9</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Hipótese e Objetivos.....</b>	<b>17</b>
2.1. Hipótese.....	17
2.2. Objetivos gerais .....	17
2.3. Objetivos específicos.....	17
<b>3. Justificativa e Relevância científica .....</b>	<b>18</b>
<b>4. Revisão teórica.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1. Mudanças Climáticas no Brasil e no Distrito Federal.....</b>	<b>23</b>
4.1.1. Mudanças Climáticas Mundiais.....	23
4.1.2. Mudanças Climáticas no Brasil .....	32
4.1.3. Breve panorama sobre a política de clima no Brasil .....	35
<b>4.2. Contexto da água no Brasil e no DF .....</b>	<b>38</b>
4.2.1. Contexto ambiental e hídrico no DF .....	40
4.2.2. Crise hídrica no DF .....	45
<b>4.3. Segurança hídrica .....</b>	<b>50</b>
4.3.1. Definição de Segurança Hídrica .....	50
4.3.2. Histórico de definições.....	54
4.3.3. Segurança hídrica no Brasil.....	59
4.3.4. O conceito utilizado neste estudo .....	62
<b>4.4. Vulnerabilidade e adaptação .....</b>	<b>63</b>
4.4.1. Vulnerabilidade .....	66
4.4.2. Resiliência.....	72
4.4.3. Adaptação .....	73
<b>4.5. Sistemas de coleta da água da chuva .....</b>	<b>84</b>
4.5.1. Programa de Cisternas no Nordeste brasileiro .....	89
<b>5. Procedimentos metodológicos.....</b>	<b>96</b>

<b>5.1. Caracterização da região do estudo.....</b>	<b>96</b>
<b>5.2. Metodologia aplicada .....</b>	<b>97</b>
5.2.1. Software Netuno.....	98
5.2.1.1. Análise do Potencial de Economia de Água Potável .....	99
5.2.1.2. Análise Econômica Familiar da Implementação .....	101
<b>6. Resultados e discussão.....</b>	<b>103</b>
<b>6.1. Levantamento de legislação pertinente .....</b>	<b>103</b>
6.1.1. Legislação federal.....	103
6.1.2. Legislação distrital .....	105
<b>6.2. Resultados do software Netuno.....</b>	<b>110</b>
<b>6.3. Discussão dos dados.....</b>	<b>112</b>
<b>7. Conclusão.....</b>	<b>119</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Projeções de alteração na temperatura média da superfície (a) e mudança na precipitação média (b) com base nas projeções médias multimodais para 2081–2100 em relação a 1986–2005 nos cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita).....	27
Figura 2. Projeções regionalizadas de clima nos biomas brasileiros da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica (setores Nordeste e Sul/Sudeste) e Pampa para os períodos de início (2011- 2040), meados (2041-2070) e final (2071/2100) do século XXI, baseadas nos resultados científicos de modelagem climática global e regional.....	33
Figura 3. Esquema básico de um sistema de coleta de água da chuva (RWH).....	85
Figura 4. Sistema de captação de água da chuva do P1MC .....	95
Figura 5. Demonstra os níveis dos percentuais de economia de água potável com relação ao número de habitantes e diferentes demandas de água em uma situação de área de captação de 50m <sup>2</sup> e percentual de substituição de 30. ....	110
Figura 6. Demonstra os níveis dos percentuais de economia de água potável com relação ao número de habitantes e diferentes demandas de água em uma situação de área de captação de 400m <sup>2</sup> e percentual de substituição de 30. ....	111
Figura 7. Demonstra as taxas internas de retorno (%) em relação ao número de habitantes e diferentes demandas de água em uma situação de área de captação de 50m <sup>2</sup> e percentual de substituição de 30.....	114
Figura 8. Demonstra as taxas internas de retorno (%) em relação ao número de habitantes e diferentes demandas de água em uma situação de área de captação de 400m <sup>2</sup> e percentual de substituição de 30.....	114



## LISTA DE TABELAS

*Tabela 1.* Exemplos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa em subsistemas ecológicos e sociais. Retirado de Lindoso, 2013. .... 68

*Tabela 2.* Tabela de Tarifas cobradas pela CAESB para o período de 01/06/2019 a 31/05/2020. .... 102

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
ASA	Articulação do Semiárido
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CIM	Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COP	Conferência das Partes
CRHDF	Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal
DF	Distrito Federal
FNMC	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
GDF	Governo do Distrito Federal
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
iNDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISH	Índice de Segurança Hídrica
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
P1+2	Programa Uma Terra e Duas Águas
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PGIRH	Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos
PIB	Produto Interno Bruto
PLD	Plano Diretor de Água e Esgotos do Distrito Federal
PNA	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
RCP	Trajetórias Representativas de Concentração
REDD	Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação
Rio+20	Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável
RWH ou RWHS	Sistemas de captação de águas pluviais
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
TCDF	Tribunal de Contas do Distrito Federal
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2014), o Aquecimento Global é inequívoco e as mudanças climáticas associadas irão ampliar riscos já existentes e criar novos riscos para os sistemas naturais e humanos. O Brasil encontra-se em uma das regiões do mundo que se aqueceu expressivamente entre 1901-2012, com um aumento de temperatura média de 1 a 2 °C (IPCC, 2013). Espera-se mudanças profundas no clima, projetando-se aumentos de temperatura, alterações nos regimes de precipitação, e eventos climáticos cada vez mais intensos e frequentes (PBMC, 2013). Importantes transformações associadas aos impactos climáticos têm sido observadas em sistemas sociais e ambientais, com reflexos na vegetação, assim como também na produção de alimentos e na disponibilidade de água, fatos que vêm ameaçando a segurança alimentar e hídrica (FAO, 2012).

Nos últimos 50 anos, a humanidade modificou os ecossistemas mais rápida e extensivamente que em qualquer intervalo de tempo equivalente na história, em geral para suprir a crescente demanda por alimentos, água potável, madeira, fibras e combustível. As mudanças que ocorreram nos ecossistemas contribuíram com ganhos finais substanciais para o bem-estar humano e o desenvolvimento econômico, mas esses ganhos foram obtidos a um custo crescente, que incluiu a degradação de muitos serviços dos ecossistemas, maior risco de mudanças não lineares nos sistemas sócio ecológicos e exacerbação da pobreza para alguns grupos da população. Esses problemas, a menos que tratados, reduzirão substancialmente os benefícios obtidos dos ecossistemas por gerações futuras. Os impactos sobre a disponibilidade e qualidade da água têm fundamental importância por se tratar de recurso indispensável para a população, agricultura, atividade industrial e outros.

Para examinar as tendências atuais e futuras relacionadas às mudanças climáticas no Brasil, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) foi criado em setembro de 2009 pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). Os resultados dos últimos relatórios indicam um cenário complexo, com os principais indicadores sugerindo um aumento de 1°C na temperatura do ar, com uma diminuição de 10% a 20% na precipitação até 2040.

Neste sentido, a adaptação<sup>1</sup>, que inicialmente era marginal na agenda climática frente à mitigação (SCHIPPER, 2006), emergiu na década de 2000 com igual importância na resposta aos riscos das mudanças climáticas (UNFCCC, 2010). Neste intuito, há um reconhecimento da necessidade de integrar diferentes setores da sociedade no planejamento das medidas de adaptação. Nesta delicada interdependência entre sociedade e meio ambiente, evidencia-se a importância de estudos relacionados à resiliência para lidar com mudanças ambientais.

A água constitui um insumo vital para os ecossistemas e todos os habitats aquáticos, os quais, por sua vez, fornecem suporte essencial à vida, além de serviços com valor econômico (WWAP, 2012). A integridade hidrológica de uma região decorre de mecanismos naturais de controle, como o equilíbrio existente entre a cobertura vegetal e a água, especialmente nas regiões das nascentes dos rios. A manutenção desse equilíbrio assegura o provimento de água com qualidade, requisito essencial para a maioria das atividades econômicas, contribuindo para diminuição substancial da necessidade de tratamento para água potável e, conseqüentemente, para a redução dos custos associados ao abastecimento público (ANA, 2013). O desmatamento interfere no ciclo hidrológico, uma vez que sem cobertura vegetal há redução da infiltração da água no solo e aumento do escoamento superficial, o que afeta a dinâmica fluvial. Além disso, há redução do abastecimento dos lençóis freáticos. Por fim, a perda do solo decorrente do desmatamento aumenta a probabilidade de ocorrência de eventos extremos, tais como inundações, queda de barreiras e provoca o assoreamento dos rios devido ao carregamento de sedimentos (ANA, 2013).

O direito à água é um direito fundamental, assim reconhecido expressamente pela Organização das Nações Unidas – ONU em 2010 por meio da Resolução 64/292 (ONU, 2010). O alcance do reconhecimento desse direito é enorme, pois, além de guia à produção de legislações nacionais, reforça aquelas

---

<sup>1</sup> Adaptação é definida como “o processo de ajuste ao clima real ou esperado e seus efeitos” (IPCC, 2014). Será explicada em detalhes no Capítulo 4.4.3.

que assim o preveem e estabelecem que o direito à água deve ser compreendido como direito humano de acesso à água e ao saneamento.

Junto ao que foi proclamado em declarações internacionais, surge o conceito de governança hídrica, que inaugura o novo momento histórico no qual a água deixa de ser percebida como um mero recurso natural, apropriável (e utilizado) de qualquer forma e sem limites pelos seres humanos, gerida sob um viés estritamente econômico por pessoas ou organizações isoladamente consideradas (BOLSON e HAONAT, 2016). O conceito de governança aplicado à água propõe um repensar das formas inovadoras de gestão, tendo em vista que fazem parte do sistema de governança: o elemento político, que “consiste em balancear os vários interesses e realidades políticas; o fator credibilidade, mediante instrumentos que apoiem as políticas, fazendo com que as pessoas acreditem nelas; e o elemento ambiental, que visa à preservação dos mananciais hídricos” (BOLSON e HAONAT, 2016). Ou seja, pensar como utilizar os recursos hídricos de forma eficiente e justa se tornou primordial para os governos nas últimas décadas.

A área de estudo da presente pesquisa é a região do Distrito Federal (DF). O DF vem enfrentando uma crise hídrica nos últimos anos, tendo sido implementado um sistema de racionamento de água no ano de 2017. O governo alega ter sido causada pela baixa incidência de chuvas nos últimos dois anos, além da ocupação desordenada do solo, o crescimento populacional, as captações clandestinas de água, o assoreamento de mananciais e nascentes e a falta de obras estruturantes (GDF, 2018a). Entretanto, diversos sites de notícias divulgaram críticas pela suposta falta de planejamento do governo ao não se preparar para possíveis estiagens, e pelo não investimento no aumento da oferta.

Entre 2016 e 2017, o consumo de água no DF reduziu-se em cerca de 15 milhões de m<sup>3</sup> (uma diminuição de cerca de 9,5%) (CODEPLAN, 2018), com alguns sites de notícias noticiando reduções de 12 a 13% durante todo o período de racionamento (G1, 2018; METRÓPOLES, 2018). A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) investiu em 12 obras de captação de água no Ribeirão Bananal, Lago Paranoá e na Usina Hidroelétrica Corumbá IV, representando R\$ 745,7 milhões em investimentos (ANA, 2010). Além desses

empreendimentos, importantes adequações estão previstas para os atuais sistemas de produção, tais como o reforço proveniente do ribeirão Bananal para o Sistema Torto/Santa Maria e a implementação da estação de tratamento de água Contagem na área do Sistema Sobradinho/Planaltina. Todas as intervenções previstas para o DF totalizam investimentos de R\$ 761,8 milhões (ANA, 2010; ANA, 2019).

Entretanto, além do estímulo ao contingenciamento, o sistema de racionamento e o aumento no investimento por novas fontes de água, pouco foi feito com relação à demanda por água. A diminuição da demanda por água pode ser uma alternativa mais barata e com maiores benefícios sociais locais em relação ao aumento da oferta, a qual presume altos investimentos em infraestrutura.

Sistemas de captação de águas pluviais (RWH, em Inglês) podem aumentar o abastecimento de água para atender às necessidades urbanas e rurais, adicionando flexibilidade e robustez aos sistemas de água. O RWH pode atender parte da demanda de água não potável, evitando o uso de água potável para usos menos exigentes, como lavagem de carro, irrigação de gramado, descarga de vaso sanitário, resfriamento para ar condicionado e outros. O RWH é uma alternativa promissora para reduzir o uso de água potável pois reduz potencialmente a carga de esgoto e, em alguns casos, diminui o impacto das inundações aumentando a capacidade de retenção do sistema. Além disso, a água obtida com RWH é uma alternativa de baixo custo durante períodos de seca, quando o custo da água potável é maior ou os sistemas de abastecimento de água enfrentam escassez severa.

Um sistema clássico brasileiro para lidar com estiagem e descentralizar a captação de água pluvial é o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), implementado no Nordeste brasileiro com sucesso há anos, tendo como principal protagonista a organização não-governamental Articulação do Semiárido (ASA), a qual contou, a partir do ano de 2003, com o apoio do Governo Federal. As cisternas são tecnologias sociais simples e de baixo custo, que captam e armazenam a água da chuva durante os períodos de seca, impulsionando a pequena produção e diminuindo a insegurança hídrica, assim como a dependência de água das redes de abastecimento. Os reservatórios são capazes de arcar com a dupla responsabilidade de atenuar os dois extremos do ciclo hidrológico: as secas (ou

estiagens) e as cheias (ou enchentes). Defende-se a importância dos reservatórios para a conexão entre segurança hídrica, segurança alimentar e segurança física das pessoas.

O programa foi essencial para a realidade local nordestina ao se diminuir a ocorrência de clientelismo para acesso à água e democratizando seu acesso. Ele também aumenta a segurança hídrica, alimentar e a frequência escolar, e diminui a incidência de doenças. O programa ganhou em 2017 o segundo lugar no Prêmio Internacional de Política para o Futuro 2017, da organização alemã *World Future Council*, em parceria com a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (BRASIL, 2017).

Apesar da distinta importância do programa nacionalmente, poucos estudos foram identificados quanto à adaptação do programa a outras realidades brasileiras. O programa poderia fornecer soluções práticas e de baixo custo para problemas de escassez hídrica em diversas regiões.

Este estudo tem o propósito de analisar a aplicabilidade do Programa Um Milhão de Cisternas no Distrito Federal como uma alternativa viável para auxiliar na adaptação às mudanças climáticas e à crise hídrica no DF, região que mostra sinais de diminuição de precipitação relacionada às mudanças climáticas e outras influências antrópicas. Espera-se que os resultados desta pesquisa possam oferecer os parâmetros necessários para a avaliação de sua aplicabilidade, como política voltada para a redução da demanda de água dos reservatórios, assim como para o aumento da independência e da segurança hídrica da população residente no Distrito Federal.



## **2. HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1. Hipótese**

A implementação do Programa Um Milhão de Cisternas no âmbito do Distrito Federal apresenta-se como alternativa viável para adaptação a crises hídricas.

### **2.2. Objetivos gerais**

Analisar a aplicabilidade do Programa Um Milhão de Cisternas no âmbito do Distrito Federal.

### **2.3. Objetivos específicos**

- Analisar o custo benefício econômico da implementação;
- Examinar condicionantes favoráveis e desfavoráveis à aplicação, abordando a legislação existente, economicidade pública, abertura social, entre outros.

### 3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA CIENTÍFICA

As justificativas para tal estudo têm diferentes escalas, sendo algumas específicas à região do estudo, e outras de cunho mais geral, levando-se em consideração fatores como contribuição no aumento do conhecimento científico sobre mudanças climáticas, saúde, justiça, questões de gênero, entre outros.

A mudança climática pode contribuir para a competição crescente por recursos, aprofundar vulnerabilidades existentes, e aumentar a marginalização de certos grupos, tais como mulheres e crianças, que são as que mais sofrem por mortes devido à falta de água potável, e que são os primeiros grupos a terem suas vidas e educação afetadas (NOGUEIRA, 2017; ADEEL, 2012; GTZ, 2010). Segundo Nogueira (2017), as mulheres compartilham um fardo desproporcional das consequências das mudanças climáticas pois são basicamente obrigadas a satisfazer as necessidades de água e lenha de suas famílias. A falta de acesso a água e saneamento obriga as mulheres a caminhar longas distâncias em busca de coleta de água. Isso as expõe a muitos riscos em áreas onde há inquietação e conflitos. As meninas também são afetadas pela falta de água e saneamento - afetando mais a sua escolaridade. Muitos deles acabaram abandonando a escola. A quantidade de tempo que eles gastam coletando água e lenha na verdade os impede de se envolver em outras atividades econômicas (NATH e BEHERA, 2011). O acesso facilitado a água para satisfazer às necessidades domésticas libera essa população para outras atividades, tais como envolvimento em atividades comunitárias ou estudo.

Os pobres são amplamente percebidos como relativamente mais sensíveis às mudanças climáticas: os recursos dos quais dependem são particularmente sensíveis, e sua base de ativos limitada e falta de direitos limitam sua capacidade de adaptação (EAKIN, LEMOS e NELSON, 2014; IPCC, 2014; LEMOS, LO, *et al.*, 2016). Assim, parece lógico que os investimentos no alívio da pobreza possam melhorar direta ou indiretamente a capacidade adaptativa em face de choques climáticos e estresse (LEMOS, LO, *et al.*, 2016; AGRAWAL e LEMOS, 2015).

Dadas as restrições na avaliação econômica dos custos e benefícios das opções de adaptação, e a distribuição desigual de recursos mundiais para auxílio à

adaptação nas populações, como decidir as prioridades de investimento em adaptação, e onde elas ocorrerão? Qual é a base sobre a qual decidir? As pessoas têm o direito moral de não sofrer os efeitos adversos da mudança climática. É mais justo direcionar intervenções para reduzir o risco dos impactos da mudança climática e ajudar na adaptação entre os mais vulneráveis (como Rawls<sup>2</sup> ou Sen<sup>3</sup> argumentariam), ou objetivar gerar o máximo bem coletivo (seguindo a filosofia utilitarista de Bentham<sup>4</sup>) (PELLING, 2011)? A última abordagem pode ter como alvo aqueles que são apenas marginalmente vulneráveis. Justifica-se pelo pressuposto de que o aumento global do bem-estar forneceria um recurso para compensar aqueles que foram negativamente afetados por esta decisão. A abordagem utilitarista é uma das origens da análise econômica de custo-benefício (PELLING, 2011). Estas discussões éticas ainda afligem cientistas mundialmente dentro das discussões de justiça social e ambiental (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018).

Assim, uma maior conscientização pública sobre os efeitos adversos do aquecimento global, melhor sistema de apoio financeiro, acesso à informação correta em tempo hábil, rede institucional bem construída para auxiliar a adaptação, disponibilidade de tecnologia e governo eficiente com enormes investimentos em infraestrutura facilitaria um melhor enfrentamento mundial às ameaças (NATH e BEHERA, 2011). A presente pesquisa, ao propor uma solução barata de adaptação, tem a proposta de trazer para toda a população uma maior capacidade adaptativa

---

<sup>2</sup> Rawls foi um professor de filosofia política na Universidade de Harvard, e trouxe o conceito de “justiça equitativa”. A justiça equitativa é fruto da busca de um ideal de justiça que consiga, de certa forma, neutralizar as contingências, circunstâncias sociais e biológicas que deem vantagens em alguma instância ao indivíduo.

<sup>3</sup> Amartya Sen é professor de economia e filosofia da Universidade Harvard. Desenvolveu trabalhos importantes relacionados a pobreza, fome, justiça, desigualdade social, entre outros. Para Sen, o desenvolvimento não deve ser apenas somente medido através da economia, mas sim por diversos fatores sociais e de qualidade de vida. Foi o idealizador do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

<sup>4</sup> Jeremy Bentham foi um filósofo e jurista britânico difusor do utilitarismo, teoria ética que objetiva a maximização da utilidade e da felicidade. Ou seja, para ele, as ações devem ser analisadas diretamente em função da tendência de aumentar ou reduzir o bem-estar das partes afetadas.

aos efeitos das mudanças climáticas, entrando em sintonia, portanto, com o conceito de justiça de Rawls e de Sen.

Além disso, maiores estudos sobre segurança hídrica são necessários, dado que a qualidade e a disponibilidade hídrica estão decaindo devido à poluição em massa, ao crescimento populacional, à rápida urbanização e ao desenvolvimento industrial. A demanda por água despontou nos últimos anos, triplicando nos últimos 50 anos, mas sem o correspondente aumento na infraestrutura hídrica (GTZ, 2010). Uma maior quantidade de problemas relacionados à quantidade e qualidade da água trazem à tona problemas de saúde, degradação ambiental, e competição por recursos, sendo exacerbado em países em desenvolvimento, onde o acesso a água limpa é limitado (GTZ, 2010).

Além da mudança do clima, os principais fatores que contribuem para o aumento da vulnerabilidade são: a pressão demográfica, crescimento urbano desordenado, a pobreza e a migração rural, baixo investimento em infraestrutura e serviços, e os problemas relacionados à governança (PBMC, 2013). Vários exemplos demonstram possíveis sinergias entre o desenvolvimento, a adaptação e o planejamento de mitigação, que podem ajudar as comunidades locais e os governos a alocar recursos eficientemente disponíveis no planejamento de estratégias para reduzir a vulnerabilidade. No entanto, a generalização de tais ações em escala continental requer que tanto os cidadãos quanto os governos abordem o desafio de construir um novo modelo de governança, onde as necessidades imperativas de desenvolvimento, redução de vulnerabilidade e estratégias de adaptação às tensões climáticas serão verdadeiramente entrelaçadas (MAGRIN, 2014).

A mudança climática também tem impacto sobre o abastecimento de água e o saneamento. Aumentará os danos causados pelas enchentes e os requisitos de tratamento de água e reduzirá a disponibilidade de água e a capacidade operacional (BAHRI, 2012). A mudança climática poderá afetar as taxas de recarga de águas subterrâneas, ou seja, o recurso águas subterrâneas renováveis e os níveis de águas subterrâneas (PBMC, 2013).

A falta de água e a má qualidade da água podem comprometer a saúde e a higiene. Isso aumenta o risco de doenças transmitidas pela água, como a diarreia,

que mata aproximadamente 1,8 milhão de pessoas todos os anos (NATH e BEHERA, 2011). O aumento da exposição a doenças infecciosas é uma preocupação particularmente em países de baixa renda, onde a interrupção dos sistemas de água e saneamento, o comprometimento das práticas de higiene, mudanças no ambiente local e deslocamento da população durante eventos extremos podem levar a um risco elevado de doenças endêmicas, doenças transmitidas pela água, por insetos, por roedores e por alimentos, tais como malária, dengue, encefalite, febre amarela, cólera e outras doenças (FEW, 2007). A escassez de água também obriga as pessoas a armazenar água em suas casas por um longo período para evitar problemas frequentes com a água. Isso pode aumentar o risco de contaminação das águas domésticas, causando doenças (NATH e BEHERA, 2011).

Os desafios enfrentados pelas principais cidades de hoje são assustadores e a gestão da água é uma das preocupações mais sérias. Em muitos lugares do mundo, a água potável a partir de fontes puras é rara, outras fontes de água devem ser tratadas com alto custo e o volume de águas residuais está crescendo (BAHRI, 2012).

Os reservatórios desempenham relevante papel na gestão de recursos hídricos pela capacidade de estocar e atender a diversos usos da água, sejam eles consuntivos ou não consuntivos. Além de armazenar água nos períodos úmidos, podem liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, contribuindo, deste modo, para a garantia da oferta de água para abastecimento humano e irrigação, por exemplo (ANA, 2013). Além disso, a utilização de cisternas aumenta a independência da população com relação à quantidade de água que têm para uso próprio, possibilitando a utilização de água coletada para usos menos “nobres”, diminuindo os gastos com água e reduzindo a pressão sobre o uso de água tratada. O dinheiro público também seria utilizado com mais eficiência, ao se diminuir a necessidade de gastos com tratamento de água.

A respeito de RWH, uma das questões mais urgentes é a necessidade de ferramentas apropriadas para fornecer o máximo de detalhes possível sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implementação de sistemas de RWH.

Essas demandas incluem a análise de diferentes fontes alternativas de água para uso doméstico (águas pluviais e águas cinzas) como suporte para o planejamento adequado de projetos de desenvolvimento urbano atuais e futuros (MORALES-PINZÓN, RIERADEVALL, *et al.*, 2015). Os usos civis da água da chuva coletada são díspares (por exemplo, lavagem do banheiro, lavanderia, irrigação do jardim, limpeza do terraço e outros usos esporádicos ao ar livre, como lavagem de carros), mas todos visam reduzir o consumo de água potável de fontes fornecidas centralmente. Esses usos podem responder globalmente por 80-90% do consumo total de água das residências e destacar os benefícios significativos da conservação da água associados à implementação da RWH (WARD, MEMON e BUTLER, 2012). Conseqüentemente, a instalação de sistemas de RWH aumenta a autossuficiência de água das cidades e pode ajudar a retardar a necessidade de construir novas infraestruturas de água centralizadas (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017).

Outro fator relevante que justifica o presente estudo é o fato de poucas pesquisas sobre o assunto terem sido feitas em outras regiões do Brasil além do Nordeste, sendo que alguns exemplos de pesquisa com aplicações diversas do programa estão nas regiões Sul e Sudeste (LOPES, MARQUES, *et al.*, 2017; GHISI e SCHONDERMARK, 2013; GHISI, BRESSAN e MARTINI, 2007). Este estudo almeja lidar com esse espaço acadêmico relacionado à aplicação de modelos de coleta de chuva para a realidade do DF.

## 4. REVISÃO TEÓRICA

### 4.1. Mudanças Climáticas no Brasil e no Distrito Federal

#### 4.1.1. Mudanças Climáticas Mundiais

A mudança climática, definida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), refere-se a uma mudança no estado do clima que pode ser identificado (utilizando testes estatísticos, por exemplo) por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades, e que persiste por um período prolongado. Refere-se a qualquer mudança no clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana. Esse uso difere daquele da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC), para a qual o termo se refere a uma mudança que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana em específico, por meio da qual se altera a composição da atmosfera global e que leva a uma modificação na variabilidade climática natural observada ao longo de períodos de tempo comparáveis (IPCC, 2007).

Apesar das diferentes definições, é patente nos estudos dos últimos anos sobre mudanças climáticas globais um consenso entre a maioria dos pesquisadores sobre a influência humana no clima (ORESQUES, 2004). A ciência da mudança climática depende de *insights* e aportes de múltiplas disciplinas, e é baseada em múltiplas epistemologias. É considerado um dos desafios mais complexos deste século. Dentro da mudança climática, os relatórios do IPCC tornaram-se uma fonte autorizada que define agendas e atua como um dispositivo de legitimação para a pesquisa. Como uma organização consensual e aberta ao intenso escrutínio público, é conservadora, cuidadosa em seguir a ciência básica e não as tendências políticas, e tem grande credibilidade mundial. Portanto, é válido examinar as pesquisas primárias sobre como o clima mudou e projeções de como ainda mudará, e sobre vulnerabilidade às mudanças climáticas e sua interpretação dentro dos relatórios do IPCC.

Segundo último relatório do IPCC, a influência humana no sistema climático é clara e as recentes emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) são as

mais altas da história, com impactos abrangentes nos sistemas naturais e antrópicos (IPCC, 2014). A emissão continuada de GEE causará mais aquecimento e, conseqüentemente, mudanças duradouras em todos os componentes do sistema climático, alterando a frequência, intensidade, distribuição espacial, duração e sincronismo dos eventos extremos; e aumentando a probabilidade de impactos severos, generalizados e irreversíveis para as pessoas e os ecossistemas de formas nunca antes observadas. As observações científicas já constataam aumento nas temperaturas globais médias do ar e dos oceanos, derretimento generalizado de neve e gelo e aumento global do nível do mar, evidenciando que o aquecimento do sistema climático global é inequívoco quando se comparado aos registros da era pré-industrial. O grande desafio global que vem nos sendo mostrado é achar um meio de estabilizar a concentração de GEE na atmosfera a um nível que previna ou ao menos minimize conseqüências mundiais desastrosas, delegando responsabilidades aos países e respeitando suas cotas de participação na formação desse cenário (UNFCCC, 2009).

Um dos fatores que torna a gestão dos impactos das mudanças climáticas um grande desafio é o fato desta ser essencialmente multiescalar e multinível, dado que os GEE se misturam globalmente e livremente na atmosfera. Para os poluidores, o benefício é pessoal, mas as externalidades negativas são socializadas para o mundo inteiro, o que torna difícil designar culpa e mirar infratores (BULLARD, 2004). Propõe-se que, para minimizar essas desigualdades, devem ser realizadas iniciativas e políticas que englobam a dimensão ética de direitos humanos das mudanças climáticas de modo a reduzir a vulnerabilidade dos grupos sociais desproporcionalmente afetados pelas variações climáticas.

O sucesso dos esforços para mitigar a mudança climática depende de ações coletivas dos países e não pode ser feito de forma unilateral. Mas devido à falta de direitos de propriedade claramente definidos sobre o clima global e à falta de uma autoridade efetiva em nível internacional para designar e fazer cumprir as responsabilidades de todas as entidades, existe um forte incentivo para a inação e aproveitamento de ações alheias (em inglês, conhecido como *free ride*) (NATH e BEHERA, 2011). Além disso, a definição de um compromisso equitativo ainda é uma questão em desenvolvimento no debate sobre as mudanças climáticas. Chegar a um



ponto em comum na luta contra o aquecimento global parece difícil, já que o mundo está fortemente dividido em várias questões socioeconômicas e políticas, gerando desconfiança e descrença entre nações e grupos. Uma melhor compreensão do provável impacto adverso da mudança climática nos países pode ajudar as nações a entrar em uma plataforma comum e agilizar as iniciativas de mitigação, abrindo caminho para esforços compartilhados (NATH e BEHERA, 2011).

As formas de avaliação dos riscos futuros variam. A avaliação de risco baseada em uma abordagem redutora do risco foi projetada para sistemas familiares e questões bem definidas; demonstrou ser menos apropriado sob condições de incerteza, ambiguidade e ignorância (ADGER, SURMINSKI e BROWN, 2018). Além disso, a avaliação de risco tradicional baseou-se em dados históricos - avaliando probabilidades de gravidade, frequência e impacto com base na experiência de eventos passados. Em tempos de mudança global, essa abordagem não é mais adequada para capturar riscos futuros (ADGER, SURMINSKI e BROWN, 2018). Perante esta profunda incerteza, existem várias estratégias potencialmente aplicáveis. Estas incluem a necessidade de retratar uma gama completa de cenários futuros extremos e ser explícito em relação aos possíveis objetivos das respostas de adaptação.

Projeções do clima futuro e seus impactos na sociedade e no meio ambiente têm sido cruciais para a materialização da mudança climática como questão relevante para dentro do âmbito das políticas públicas e tomada de decisões. Os modelos climáticos, que representam o sistema climático e suas interações com forçantes externas, buscam responder de que forma o clima se comportará em diversos cenários de emissões, e são baseados em uma variedade de cenários, modelos e simulações que contêm uma série de suposições incorporadas (MMA, 2016; DESSAI, LEMPERT, *et al.*, 2009). No Quinto Relatório de Avaliação do IPCC, foram propostos quatro novos cenários de níveis de emissão, denominados *Representative Concentration Pathways* ou Trajetórias Representativas de Concentração (RCP 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) (IPCC, 2014). Cada cenário considera diversos fatores, como emissão de gases de efeito estufa, diferentes tecnologias para geração de energia, e informações de tipo de uso do solo para as projeções.

O cenário RCP 2.6 representa uma redução gradativa das emissões de gases de efeito estufa atingindo emissão zero por volta de 2070. Os aumentos esperados da temperatura média terrestre seriam entre 0,3°C e 1,7°C de 2010 até 2100 e aumento do nível do mar, entre 26 e 55 centímetros (IPCC, 2014). Esse cenário é considerado “muito otimista” e tem sido preterido nas análises de projeção climáticas (MMA, 2016). O segundo cenário, RCP 4.5, representa uma estabilização das emissões de gases de efeito estufa antes de 2100. Nesse caso, a temperatura terrestre aumentaria entre 1,1°C e 2,6°C e o nível do mar subiria entre 32 e 63 centímetros (IPCC, 2014). Esse cenário tem sido um dos mais utilizados (MMA, 2016). Já o cenário RCP 8.5, considerado o mais “pessimista”, é caracterizado pelo aumento nas emissões sem sua estabilização, ou seja, as emissões continuam a crescer, bem como a concentração de gases de efeito estufa ao longo do tempo. Nesse cenário, a superfície da Terra poderia aquecer entre 2,6°C e 4,8°C ao longo deste século, fazendo com que o nível dos oceanos subisse entre 45 e 82 centímetros (IPCC, 2014). As projeções de mudanças de temperaturas globais podem ser observadas na Figura 1.

Mudanças na precipitação são altamente variáveis regionalmente, com diferentes áreas projetadas para experimentar mudanças positivas ou negativas. Até o final do século, no cenário mais pessimista desenhado pelo IPCC, as altas latitudes provavelmente experimentarão maiores quantidades de precipitação, algumas regiões de latitude média e semiáridas provavelmente sofrerão de ressecamento, enquanto algumas regiões de latitudes médias úmidas provavelmente sofrerão um aumento na precipitação (IPCC, 2014). Os riscos são distribuídos de forma desigual e geralmente são maiores para pessoas e comunidades desfavorecidas em países em todos os níveis de desenvolvimento. Mudanças nas projeções de precipitação podem ser checadas na Figura 1.

A América do Sul e o Brasil já apresentam registros de mudanças do clima previstos em modelos climáticos: aumento de temperatura de até 2,5°C na região costeira do Brasil entre 1901 e 2012; aumento do número de dias com chuvas acima de 30 mm na região sudeste; aumento da temperatura do mar no Atlântico Sul e mudanças na salinidade; aumento na ocorrência, intensidade e influência dos eventos de ENOS no clima continental do país (El Niño Pacífico Leste Equatorial, La

Niña e El Niño Pacífico Central) (MMA, 2016). Possíveis impactos para o Brasil e para toda a América do Sul consistem na extinção de habitats e de espécies; substituição de florestas tropicais por savanas e vegetação semiárida por árida; aumento de regiões em situação de estresse hídrico; aumento de pragas em culturas agrícolas e de doenças, como a dengue e malária; além do deslocamento e migração de populações (MMA, 2016; MAGRIN, 2014; PBMC, 2013).

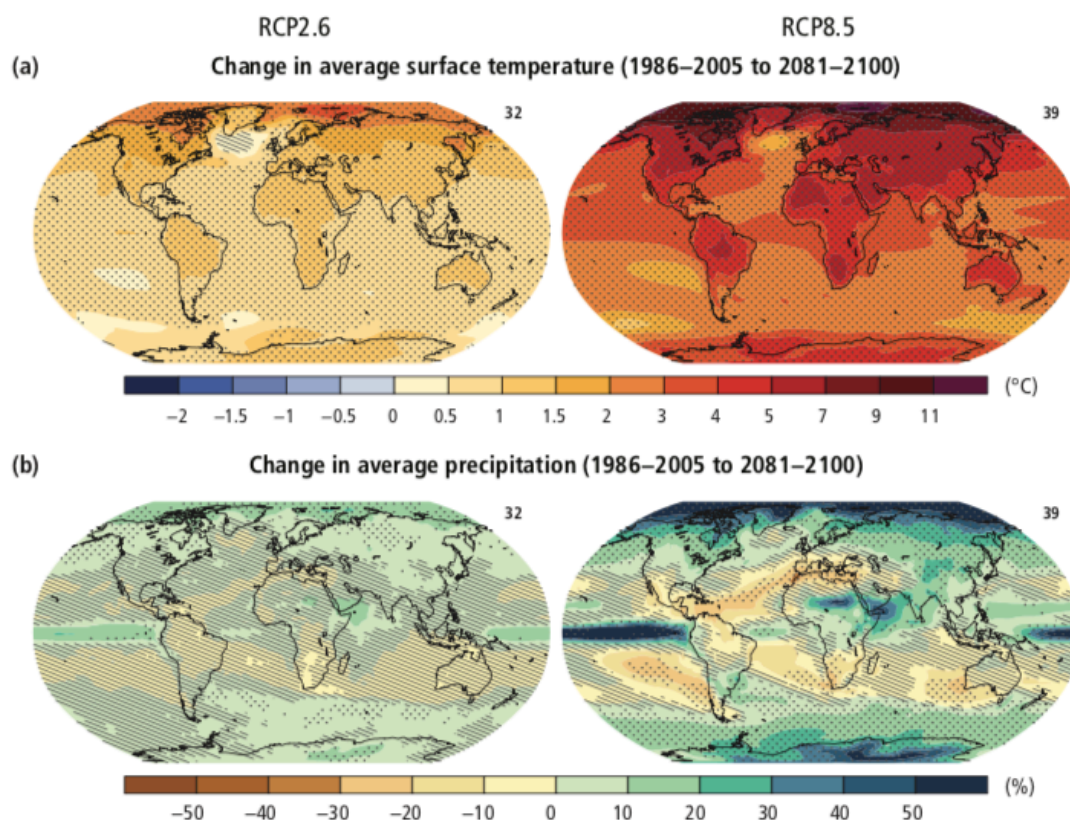


Figura 1. Projeções de alteração na temperatura média da superfície (a) e mudança na precipitação média (b) com base nas projeções médias multimodais para 2081–2100 em relação a 1986–2005 nos cenários RCP2.6 (esquerda) e RCP8.5 (direita). O número de modelos usados para calcular a média de vários modelos é indicado no canto superior direito de cada painel. Pontilhar (isto é, pontos) mostra regiões onde a mudança projetada é grande em comparação com a variabilidade interna natural e onde pelo menos 90% dos modelos concordam com o sinal de mudança. A eclosão (isto é, linhas diagonais) mostra regiões onde a alteração projetada é inferior a um desvio padrão da variabilidade interna natural (IPCC, 2014).

Na América Central e do Sul, 613 eventos extremos climatológicos e hidro meteorológicos ocorreram no período de 2000 a 2013, resultando em 13.883 mortes,

53,8 milhões de pessoas afetadas e perdas econômicas de US\$ 52,3 bilhões (MAGRIN, 2014). A terra está enfrentando crescente pressão de usos concorrentes, como pecuária, produção de alimentos e bioenergia.

Juntamente com o perigo de danos físicos associados ao seu poder destrutivo, os riscos climáticos podem resultar em maior exposição a patógenos de doenças e/ou vetores, exposição a alérgenos transportados pelo ar e liberação de substâncias químicas, deficiências nutricionais causadas pela escassez de alimentos e resultados psicossociais e de saúde mental associados com perda, interrupção e deslocamento (HALES, EDWARDS e KOVATS, 2003). Após grandes catástrofes, um grande número de pessoas é forçado a procurar abrigo temporário em condições de superlotação com saneamento inadequado e gestão de resíduos, fontes comprometidas de água, potencial escassez de alimentos, desnutrição e um baixo nível de imunidade, todos fatores que têm um papel importante na composição da devastação local (WARING e BROWN, 2005).

A mudança climática global alimenta incertezas sobre o futuro dos recursos hídricos, e a quantidade de água disponível está sendo colocada em questão, dado que há várias regiões com maior temperatura e menor precipitação. A elevada evaporação devido às maiores temperaturas resultará em menor disponibilidade de água. O derretimento acelerado das calotas polares e a menor quantidade de nevascas restringem severamente a disponibilidade de água em países que dependem de água do derretimento de geleiras, tais como no Himalaia e nos Andes (GTZ, 2010). Além disso, a mudança na temperatura oceânica resultou na mudança dos padrões de moradia e distribuição associada dos estoques de peixes (BARANGE, BAHRI, *et al.*, 2018). Também é provável que a pesca seja afetada pelas mudanças nos níveis de água e no fluxo dos córregos devido à mudança climática.

Os impactos do clima na saúde humana não serão distribuídos uniformemente em todo o mundo. É provável que varie de região para região em um padrão que ainda é difícil de prever, mas é certo que haverá uma crescente carga de saúde global devido aos impactos de inundações, tempestades de vento, secas e

incêndios florestais, e há previsões de que os mais afetados serão os países em desenvolvimento (FEW, 2007).

A competição pela água aumenta enquanto a demanda para os usos doméstico, industrial e agrário cresce. Interesses divergentes, escassez e degradação de recursos podem incitar o potencial para conflitos violentos ou agravar tensões sociopolíticas preexistentes onde as estruturas governamentais são incapazes de manejar a competição crescente, podendo chegar em último caso a guerras por recursos hídricos (GERLAK e MUKHTAROV, 2015; ADEEL, 2012; GTZ, 2010).

Diante de mudanças tão rápidas no ambiente, afetando negativamente a vida e a subsistência, as pessoas muitas vezes não têm outra opção senão migrar. É esperado que a migração de populações rurais aumente, especialmente em regiões com baixa segurança alimentar. O potencial migratório é ainda maior em áreas dominadas por agricultura baseada em irrigação de água da chuva, tais como na África subsaariana e na Índia peninsular (GTZ, 2010). A migração pode ser a maneira mais eficaz de permitir que as pessoas diversifiquem renda e criem resiliência onde a mudança ambiental ameaça os meios de subsistência (BLACK, BENNETT, *et al.*, 2011).

A migração forçada impede o desenvolvimento de pelo menos quatro maneiras: aumentando a pressão sobre a infraestrutura e serviços urbanos; minando o crescimento econômico; aumentando o risco de conflito; e levando a piores indicadores de saúde, educação e sociais entre os próprios migrantes (BROWN, 2018). Espera-se que, dependendo do cenário das mudanças climáticas, o número de emigrantes possa ultrapassar 200 milhões de pessoas deslocadas pelas mudanças climáticas até 2050 (BROWN, 2008).

O aumento da incidência de eventos extremos pode levar a danos significativos de infraestrutura ou à sua depreciação mais rápida, já que esta precisa ser substituída ou fortalecida antes do final de sua vida útil, trazendo aumento de gastos para países desenvolvidos, que no geral apresentam maior quantidade de ativos neste sentido (NATH e BEHERA, 2011; PELLING, 2011). No entanto, de forma geral os países desenvolvidos serão menos vulneráveis às mudanças

climáticas porque: os países desenvolvidos dependem menos de setores sensíveis ao clima, como a agricultura; e têm mais recursos para investir em adaptação, economias mais flexíveis e mercados financeiros mais líquidos para aumentar a resiliência às mudanças climáticas (TOL, DOWNING, *et al.*, 2004).

Os ativos ambientais e os serviços que as florestas fornecem são especialmente importantes para a população mais pobre, pois esta é a mais afetada pela degradação e destruição dos recursos florestais (STERN, 2006). Tais recursos variam desde a provisão de produtos de subsistência e receita de mercado até a segurança alimentar e serviços de saúde.

Usando os resultados de modelos econômicos formais, estima-se que, se não agirmos, os custos e riscos globais da mudança climática serão equivalentes a perder pelo menos 5% do Produto Interno Bruto (PIB) global a cada ano, agora e para sempre. Se uma gama mais ampla de riscos e impactos for levada em conta, as estimativas de danos podem subir para 20% do PIB ou mais. Em contraste, os custos da ação - reduzindo as emissões de gases de efeito estufa para evitar os piores impactos da mudança climática - podem ser limitados a cerca de 1% do PIB global a cada ano (STERN, 2006).

O centro de parte da discussão em torno da adaptação às mudanças climáticas é a alegação - explícita ou implícita - de que os tomadores de decisão precisam de avaliações cada vez mais precisas dos impactos futuros da mudança climática para se adaptarem com sucesso (DESSAI, LEMPERT, *et al.*, 2009). Entretanto, a precisão das previsões climáticas é limitada por incertezas fundamentais e irreduzíveis. Para a previsão do clima, as incertezas podem surgir de limitações no conhecimento (por exemplo, física de nuvens), aleatoriedade (por exemplo, devido à natureza caótica do sistema climático), com relação às respostas sociais e também da intencionalidade, pois as decisões tomadas por pessoas podem ter significância, além de outros fatores (DESSAI, LEMPERT, *et al.*, 2009; ADGER, HUQ, *et al.*, 2003; ADGER, SURMINSKI e BROWN, 2018). Devido à compreensão limitada dos ciclos de realimentação no complexo sistema terrestre e às limitações inerentes à previsibilidade do clima nas escalas espaciais locais e regionais, a incerteza nas projeções climáticas é parcialmente irreduzível.



Ademais, o entendimento dos ciclos de retroalimentação globais ainda é parcial. Em sistemas complexos como o terrestre, muitos dos parâmetros climáticos estão constantemente em fluxo, além de ter variáveis externas adicionadas regularmente, o que altera as condições naturais do sistema como um todo (DESSAI e SLUIJS, 2007). A mudança climática cria riscos em cascata em sistemas físicos, ecossistemas, econômicos e sociais, frequentemente inter-relacionados e que criam as circunstâncias para o cruzamento irreversível e indesejável de limiares em múltiplas escalas. Avaliar os riscos climáticos em todos os domínios e de maneira significativa para os tomadores de decisão é, portanto, um grande desafio.

Outro fator de adicional complexidade neste ramo científico é que grande parte das pesquisas pressupõem que os efeitos das mudanças climáticas se manifestam gradualmente, em um evento linear, com eventuais eventos singulares (como um surto de tempestade) (ADGER, HUQ, *et al.*, 2003). As mudanças graduais incluem o aumento da temperatura, a elevação do nível do mar, o derretimento das geleiras, o aumento na duração da estação de crescimento, o aumento da precipitação e o aumento de eventos climáticos extremos, como ondas de calor e ciclones tropicais (DESSAI e SLUIJS, 2007). Entretanto, há autores que elencam a hipótese de também se manifestarem abruptamente, como um evento singular, em um processo de mudança não-linear (ADGER, HUQ, *et al.*, 2003). Exemplos de efeitos não lineares são a possível redução ou até a paralisação da chamada circulação termohalina nos oceanos (que poderia levar a um esfriamento do norte e do noroeste da Europa), a desintegração dos hidratos de gás no *permafrost* de fusão e oceanos (o que leva a emissões maciças do gás metano do efeito estufa), desintegração do manto de gelo do oeste da Antártida ou derretimento fortemente aumentado do manto de gelo da Groenlândia que pode levar a vários metros de elevação do nível do mar a longo prazo (DESSAI e SLUIJS, 2007).

O impacto humano no sistema terrestre tem sido suficiente para alguns cientistas indicarem que já transgredimos limites operacionais seguros da humanidade ao longo de pelo menos duas dimensões, a saber, integridade da biosfera e mudança climática (ROCKSTRÖM, STEFFEN, *et al.*, 2009). Uma consequência dessas transgressões é que podemos estar prestes a entrar em um novo regime climático para o qual não reunimos nenhuma experiência prática,

embora os registros paleoclimáticos nos apresentem indicadores de mudanças profundas de temperatura e precipitação ocorridas ao longo de nossa pré-história (RODRIGUES-FILHO, VERBURGB, *et al.*, 2015).

A limitação das mudanças climáticas exige reduções substanciais e sustentadas das emissões de gases com efeito de estufa que, juntamente com a adaptação, podem limitar os riscos das alterações climáticas. Entretanto, muitos aspectos da mudança climática e seus impactos associados continuarão por séculos, mesmo se as emissões antrópicas de gases de efeito estufa forem interrompidas, dado que ainda há um estoque considerável na atmosfera e difundido pelas águas dos oceanos (IPCC, 2014). Todos os fatores elencados indicam que os esforços de adaptação não devem ser limitados pela falta de previsão confiável e precisa sobre as condições climáticas futuras, sendo uma conclusão inescapável (ADGER, HUQ, *et al.*, 2003).

#### **4.1.2. Mudanças Climáticas no Brasil**

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) sistematizou dados e informações científicas sobre os aspectos relevantes das mudanças climáticas no Brasil, indicando que as diferentes regiões já vêm experimentando alterações em seus climas característicos. A previsão é que essas mudanças afetem os sistemas naturais, humanos, produtivo e de infraestrutura do país, de maneira não uniforme. Um aumento da temperatura poderá conduzir a um incremento na frequência de eventos extremos nas diferentes regiões do Brasil, bem como uma alteração no regime de chuvas, com maior ocorrência de secas, inundações, alagamentos, deslizamentos de encostas e consequentes deslocamentos populacionais das regiões atingidas. Essas alterações terão consequências na sociedade, nos ecossistemas e nos diferentes setores da economia (MMA, 2016). Com relação a eventos extremos e seus impactos, o Brasil vivenciou o primeiro furacão já observado no Atlântico Sul, o furacão Catarina, ocorrido em março de 2004, o que evidencia a urgência das modificações climáticas.

Segundo o PBMC, dependendo do cenário futuro de aquecimento global, com baixa ou alta emissão de GEE, há expectativas de oscilação entre ~5% e ~20%



em precipitação e  $\sim 1^{\circ}\text{C}$  e  $\sim 5^{\circ}\text{C}$  na temperatura, conforme mostrado na Figura 2 (PBMC, 2013). Projeta-se aquecimento para todo o continente, em todos os cenários de emissão. Os máximos de aquecimento se localizam na região Centro-Oeste, em todas as estações do ano. Os biomas mais afetados são Amazônia, Cerrado e Caatinga, sendo que tais mudanças se acentuam a partir da metade e final do século XXI. Estes máximos de aquecimento médio no final do século podem variar entre 2 a  $8^{\circ}\text{C}$  em algumas áreas (MMA, 2016).

A gestão do risco associado à mudança do clima deve promover a coordenação e cooperação entre as três esferas de governo, setores econômicos e da sociedade civil, uma vez que os impactos da mudança do clima ocorrem em escala local, mas as medidas de enfrentamento dependem de ações coordenadas e implementadas em diferentes estratégias setoriais ou temáticas (MMA, 2016).

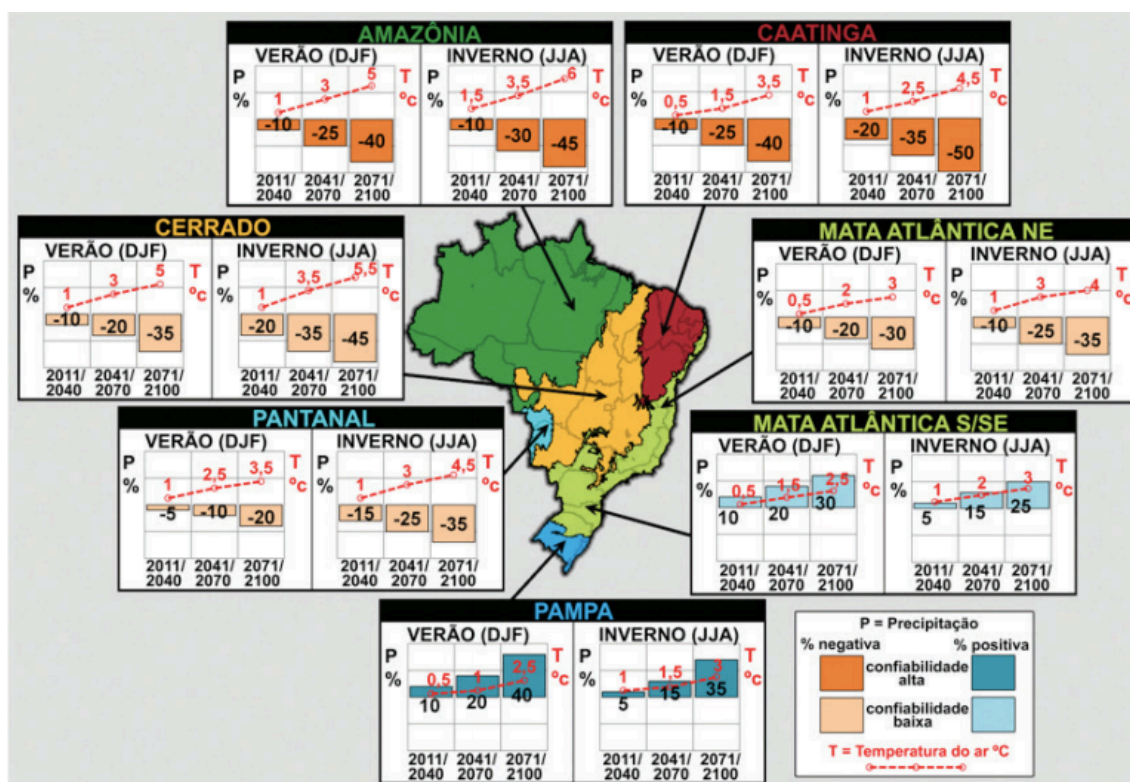


Figura 2. Projeções regionalizadas de clima nos biomas brasileiros da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica (setores Nordeste e Sul/Sudeste) e Pampa para os períodos de início (2011- 2040), meados (2041- 2070) e final (2071/2100) do século XXI, baseadas nos resultados científicos de modelagem climática global e regional. As regiões com diferentes cores no mapa indicam o domínio geográfico dos biomas. A legenda encontra-se no canto inferior direito (PBMC, 2013).

No setor agropecuário, espera-se que o aumento da temperatura promova um crescimento da evapotranspiração e, conseqüentemente, um aumento na deficiência hídrica. A dinâmica climática deverá causar uma migração das culturas adaptadas ao clima tropical para as áreas mais ao sul do País ou para zonas de altitudes maiores, para compensar a diferença climática. As plantas no futuro provavelmente deverão suportar temperaturas acima de 32°C nos períodos mais quentes do dia, cessando processos de fotossíntese e alterando suas fases normais de crescimento (PBMC, 2013).

Ao mesmo tempo, haverá uma diminuição nas áreas de cultivo de plantas de clima temperado do País. Isto poderá colocar em risco a produção de alimentos no Brasil. Com exceção da cana-de-açúcar, todas as culturas sofreriam redução das áreas com baixo risco de produção, em especial soja (34% a 30%), milho (15%) e café (17% a 18%), e caindo em particular nas agriculturas de subsistência nordestinas (MARGULIS e DUBEUX, 2010). As mudanças também são de suma importância para a região Centro-oeste, pois a alteração da fenologia das plantas (soja, arroz, milho, café) poderá acarretar perdas massivas na produção agrícola e na pecuária, afetando o mercado nacional e internacional (PBMC, 2013). As mudanças climáticas terão efeito diferenciado na oferta de alimentos nas regiões do Brasil, podendo o País perder cerca de 11 milhões de hectares de terras adequadas à agricultura por causa das alterações climáticas até 2030, gerando insegurança alimentar, com conseqüente falta de alimentos para as populações expostas diretamente às adversidades climáticas (PBMC, 2013).

Os impactos das mudanças no clima tornarão as desigualdades sociais mais acentuadas, pois as mudanças climáticas irão afetar de maneira mais incisiva determinados grupos populacionais que já vivem em situações de risco. Trinta milhões de pessoas que vivem em áreas relativamente isoladas ou remotas vão estar sujeitas aos efeitos dos eventos climáticos extremos, em uma situação que pode ser ainda de maior vulnerabilidade, tendo em vista as dificuldades de acesso em caso de desastre (PBMC, 2013).

Os setores industrial, energético e de transporte poderão ser afetados da mesma forma. Por exemplo, a diminuição de precipitação no Norte e Nordeste pode

gerar uma perda de confiabilidade no sistema de geração de energia hidrelétrica, com redução de 31,5% a 29,3% da energia firme (MARGULIS e DUBEUX, 2010).

Há estudos simulando o comportamento futuro da economia brasileira compatível com o comportamento futuro global, na medida do possível, com as mesmas hipóteses do IPCC para a economia global, adotando o ano de 2050 como horizonte das simulações econômicas e adotando comportamentos médios das variáveis devido às incertezas (MARGULIS e DUBEUX, 2010). Estima-se que, com o impacto da mudança do clima, o PIB brasileiro futuro reduza-se em 0,5% e 2,3%, dependendo do cenário – sendo que na trajetória mais limpa, a economia cresce mais, e não menos (MARGULIS e DUBEUX, 2010). Em ambos os cenários, a pobreza aumenta devido à mudança do clima, mas de forma quase desprezível (MARGULIS e DUBEUX, 2010). Sendo assim, torna-se cada vez mais patente a necessidade urgente de foco sobre as questões relacionadas ao clima, mudanças climáticas e sustentabilidade.

#### **4.1.3. Breve panorama sobre a política de clima no Brasil**

A construção das estratégias de adaptação e mitigação às mudanças climáticas no Brasil seguiu a evolução internacional das discussões sobre o tema, incluindo a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) e o Protocolo de Quioto. O Brasil divulgou sua primeira Comunicação Nacional à Convenção do Clima, inventariando as emissões nacionais de gases de efeito estufa, na Conferência das Partes de 2004 (COP10), realizada em Buenos Aires. Dois anos depois, durante a COP12, em Nairóbi, a diplomacia brasileira propôs a criação de um mecanismo para redução de emissões originadas a partir de desmatamento em países de desenvolvimento, o que mais tarde originou a proposta de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD) (MILHORANCE, SABOURIN e CHECHI, 2018).

Criou-se em 21 de novembro de 2007, por meio do Decreto nº 6.263, o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) e o seu grupo executivo, com a finalidade de orientar e elaborar o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, além de propor objetivos, princípios e diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do

Clima (PNMC). A PNMC foi instituída por meio da Lei nº 12.187 de 2009, e oficializou o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020 (MMA, 2019), de acordo com o que foi acordado em 2009, durante a 15ª Conferência das Partes (COP15) ocorrida em Copenhague. No mesmo ano, também foram criados o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC) e o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC).

A Lei 12.187/2009 foi regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010. De acordo com ele, a linha de base de emissões de gases de efeito estufa para 2020 foi estimada em 3,236 GtCO<sub>2</sub>-eq (Giga toneladas de equivalentes de CO<sub>2</sub>). Assim, a redução absoluta correspondente ficou estabelecida entre 1,168 GtCO<sub>2</sub>-eq e 1,259 GtCO<sub>2</sub>-eq, 36,1% e 38,9% de redução de emissões, respectivamente (MMA, 2019). Os Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima, formalizados pelo referido decreto, objetivam orientar ações que promovam a resiliência dos setores frente aos impactos adversos da mudança do clima, levando em conta as especificidades inerentes de cada plano (MMA, 2016). Nesse sentido, temos como exemplo a sinergia existente entre as iniciativas em adaptação à mudança do clima previstas neste Plano e o arcabouço nacional para gestão de riscos e alerta a desastres naturais, sobretudo a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, instituída pela Lei no 12.608, de 10 de abril de 2012. Essa relação fica mais evidente em um cenário de aumento de ocorrência de eventos extremos, conforme vem sendo indicado pelas projeções feitas por modelos climáticos. Portanto, é dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios adotarem as medidas necessárias para redução dos riscos de desastres, inclusive por meio do empoderamento do ente municipal, da colaboração com entidades públicas ou privadas e com a sociedade em geral (MMA, 2016).

Durante a COP16, realizada em 2010 em Cancun, o governo brasileiro lançou a Segunda Comunicação Nacional à Convenção do Clima, contendo o inventário de emissões do país entre 1994 e 2000, e também apresentou dados otimistas referentes ao combate ao desmatamento.

A 17ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (Conferência das Partes - COP-17), realizada em 2011, na cidade de Durban na África do Sul, reuniu representantes de 194 países para discutir a temática. Como um dos principais resultados da COP-17 tem-se a prorrogação até 2017 do Protocolo de Kyoto, único instrumento para a redução de emissões de gases do efeito estufa, cujo primeiro período de compromissos expiraria em 31 de dezembro de 2012, mas com a participação de menos países, com a saída da Rússia, do Japão e o Canadá, e começou a vigorar no início de 2013 (ANA, 2018). A COP-17 viabilizou ainda o Fundo Verde Climático - criado para financiar ações de combate às mudanças climáticas -, que ganhou promessas de fundos de países europeus como a Alemanha, a Dinamarca e a Grã-Bretanha. Aprovou-se também uma estrutura para viabilizar e estimular projetos de redução de emissões por desmatamento e degradação, o chamado REDD, permitindo que países possam captar verbas pelas emissões evitadas graças à preservação de florestas (ANA, 2018).

Em 2012, o Brasil sediou a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), que trouxe o debate para vários setores da sociedade brasileira e internacional (ANA, 2018). O acordo climático assinado em 2015 durante a COP21 foi ratificado em 2016 pelo governo brasileiro. Neste contexto, as Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDCs) comprometeram o país a reduzir até 2025 as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 – com uma contribuição indicativa de redução das emissões em 43% até 2030 (MMA, 2016). Foi também nesse ano que o Brasil lançou o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), com o objetivo de reduzir a vulnerabilidade nacional à mudança do clima e promover a gestão do risco associada a esse fenômeno (MILHORANCE, SABOURIN e CHECHI, 2018).

O PNA visa orientar iniciativas para a gestão e diminuição do risco climático no longo prazo. O PNA está em consonância com o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, com os planos setoriais de mitigação e adaptação e com as decisões sobre adaptação assumidas pelo Brasil no âmbito da Conferência das Partes sobre Mudança do Clima (MMA, 2016).

De uma maneira mais prática, o Brasil tem investido na diminuição do desmatamento, na melhoria do setor energético e troca por matrizes limpas há anos. Existe um extraordinário êxito do Brasil na expressiva redução do desmatamento na Amazônia no período 2005-2009, comparado com o período 2001-2004, que mantinha o ritmo alto de desmatamento da década anterior (VIOLA, 2010). Entretanto, existem estudos que demonstram que as taxas de desmatamento aumentam em períodos de eleição (RODRIGUES-FILHO, VERBURGB, *et al.*, 2015), que foi o caso no ano de 2018, sugerindo que os índices aumentem com relação aos anteriores nos anos de 2018 e 2019.

A redução do desmatamento brasileiro se deu principalmente por cinco fatores: o aumento da capacidade institucional e da implementação da lei pelo Estado nacional por meio da atividade coordenada de agências de monitoramento, de fiscalização e de repressão; a criação de extensas áreas protegidas; a atuação de grandes organizações não governamentais (ONGs) internacionais e nacionais; a cooperação de vários governos estaduais da Amazônia com o governo federal; e alguns períodos de declínio nos preços da soja e da carne, favorecendo a diminuição da produção (e, conseqüentemente, do desmatamento de novas terras) (VIOLA, 2010).

## **4.2.Contexto da água no Brasil e no DF**

O Brasil possui, em termos gerais, uma grande oferta hídrica. Por outro lado, também possui uma diferença marcante entre as regiões hidrográficas no que diz respeito à oferta e à demanda de água. No País, a precipitação média anual (histórico de 1961-2007) é de 1.761 mm, variando de valores na faixa de 500 mm, na região semiárida do Nordeste, a mais de 3.000 mm, na região Amazônia (ANA, 2013; CPRM, 2006). Além da grande variação espacial, é importante considerar a sazonalidade da precipitação. As chuvas são abundantes e regulares na região hidrográfica amazônica, por exemplo, mas concentra-se em determinados meses em locais como o Nordeste ou o Centro Oeste.

Desde o segundo semestre de 2012 foi observada uma redução gradativa e intensa dos índices pluviométricos em algumas regiões do Brasil, afetando de forma



substancial a oferta de água para o abastecimento público e desencadeando um cenário complexo de escassez hídrica (ANA, 2010; JACOBI, CIBIM e LEÃO, 2015). Conjuntamente, não se verificou políticas e/ou medidas para otimizar o uso da água, ou uma mudança profunda no sistema elétrico brasileiro, ainda extremamente concentrado na fonte de origem hídrica (CRUZ, CARMO, *et al.*, 2018).

Para o Sistema Elétrico Brasileiro, extremamente dependente da geração hidrelétrica, a redução dos níveis de precipitação ocorrida acarretou a necessidade de recorrer à geração termelétrica. Essa situação levou a uma crise na segurança energética do país, trazendo incertezas para as atividades econômicas – indústria, comércio e serviços – e para a população.

A oferta de água tratada no Brasil reflete contrastes e assimetrias associados ao processo de desenvolvimento nacional, assim como às desigualdades sociais e regionais dele resultantes. Nesse contexto, enquanto bacias localizadas em áreas com uma combinação de baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos podem enfrentar situações de escassez e estresse hídrico, outras se encontram em situação confortável, com o recurso em abundância. Os recursos estão distribuídos desigualmente tanto em âmbito espacial quanto temporal, e esses fatores, somados aos usos da água em diferentes atividades econômicas e os problemas com qualidade da água, geram áreas de conflito.

A seca que prevaleceu ao longo dos anos de 2014, 2015 e no primeiro semestre de 2016 no país é explicada pelo El Niño, fenômeno que traz alterações significativas de curta duração (15 a 18 meses) na distribuição da temperatura da superfície da água do Oceano Pacífico, com profundos efeitos no clima. Em 2015/2016, o fenômeno El Niño no Brasil foi considerado de intensidade forte no Brasil, intensificando ainda mais a seca no Nordeste e também provocando estiagem prolongada no Norte, centro-norte de Minas e de Goiás e no Distrito Federal (RUIZ, 2016). Além disso, houve muitas inundações no Sul do país e o impacto do fenômeno se estendeu por um longo período.

A situação de escassez de água ocorre em diversos lugares do país, sendo o Nordeste o caso mais proeminente de convivência com a seca. Entretanto, a crise

hídrica que ocorreu no estado de São Paulo chamou a atenção da mídia devido à forte revolta popular. Apesar de parecer que o problema de gestão de água e crise hídrica é pontual, surgindo apenas no final de 2013 com a diminuição das chuvas, documentos oficiais já consideravam a vulnerabilidade hídrica na Região Metropolitana de São Paulo e apontavam necessidade de mudanças no sistema de abastecimento (JACOBI, CIBIM e LEÃO, 2015). Diante do cenário de incertezas, desconfiança e incapacidade por parte dos gestores públicos em dar respostas concretas à sociedade sobre a crise hídrica, diversas iniciativas têm surgido a partir da organização da sociedade, protagonizadas por organizações não governamentais e movimentos sociais, que reclamam o direito à informação e transparência (JACOBI, CIBIM e LEÃO, 2015)

A crise da água, tanto no DF quanto em São Paulo ou em outros lugares do Brasil, pode ser uma oportunidade para repensarmos o modelo atual de gestão da água e os processos de governança e participação popular. É fundamental a adoção de uma estratégia de gestão integrada e participativa da água, que considere a sociedade como protagonista, abrindo espaço para a conscientização sobre o uso e compreensão de medidas de gestão (JACOBI, CIBIM e LEÃO, 2015). Precisamos de um modelo de gestão que permita a cooperação e a corresponsabilização para garantir o acesso a recursos comuns, tais como a água.

#### **4.2.1. Contexto ambiental e hídrico no DF**

O Distrito Federal é composto pelo bioma cerrado. O Cerrado abrange aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup> do Planalto Central Brasileiro, e abrange as cabeceiras das três principais bacias da América do Sul: Tocantins-Araguaia, Paraná-Prata e São Francisco (FELFILI e SILVA JUNIOR, 2005), contribuindo com 43% das águas superficiais do Brasil fora da Amazônia (STRASSBURG, BROOKS, *et al.*, 2017). É uma das savanas mais ricas e diversificadas do mundo e é considerada um dos *hotspots* globais de biodiversidade (MITTERMEIER, GIL, *et al.*, 2005; MYERS, MITTERMEIER, *et al.*, 2000) devido ao alto nível de endemismo e perda rápida de habitats, e funciona como corredor ecológico da fauna e flora entre os demais biomas brasileiros.



Apesar de sua enorme importância para a conservação de espécies e a provisão de serviços ecossistêmicos, o Cerrado perdeu 88 Mha (46%) de sua cobertura vegetal nativa, com taxas de desmatamento maiores que as da Amazônia nos últimos anos, e apenas 19,8% permanecem inalterados (MYERS, MITTERMEIER, *et al.*, 2000; MMA, 2011; STRASSBURG, BROOKS, *et al.*, 2017). A vegetação nativa remanescente no Distrito Federal, 42,36% em 2001, refere-se em grande parte àquela inserida em unidades de conservação, constituindo fragmentos isolados de difícil conectividade com outras áreas de cerrado, o que compromete o fluxo de material genético (GDF, 2009).

Com as mudanças climáticas, há a expectativa de ampliação das probabilidades de queimadas e a diminuição da precipitação na vegetação do Cerrado (CEPF, 2017). Caso o período seco se torne mais longo, a cobertura de nuvens menor faria subir ainda mais as temperaturas no verão, podendo levar a uma redução na vazão dos rios e no volume dos lagos, reduzindo potencialmente o abastecimento de água potável (CEPF, 2017). Os resultados de estudos apontam para a redução da vazão em todas as bacias que possuem importantes afluentes no Centro-Oeste para o período 2071-2100 em relação à média histórica (1961-1990), com a bacia do Paraná sendo a única exceção (PBMC, 2013). A mudança no ciclo hidrológico constituirá um enorme desafio à sua gestão.

Os principais componentes das transformações territoriais ocorridas no Centro-Oeste são o intenso processo de urbanização e o crescimento da ocupação agrícola, em particular com a expansão da cultura de soja e outras *commodities* para exportação. Atualmente, o Cerrado é uma das principais áreas do planeta para a produção agrícola e pecuária (CEPF, 2017), consolidando-se como o celeiro brasileiro da produção de grãos (PBMC, 2013). No período de 1954 a 2001, as áreas de ocupação agrícola no DF passam de 0,02% para 47,56%, colocando em risco a biodiversidade rica, única e útil, assim como todos os seus serviços ecossistêmicos (GDF, 2009). A perda de bioma causa profundas modificações no meio ambiente, inclusive na disponibilidade hídrica.

O cerrado é conhecido como “berço das águas”, uma vez que na região estão localizadas importantes nascentes que divergem para as principais bacias hidrográficas do país (LIMA, EMERICH e MALDANER, 2008). O DF, por estar

localizado em uma região de terras altas, possui característica peculiar de divisor de águas, é subdividida em 7 bacias: São Bartolomeu, Lago Paranoá, Descoberto, Maranhão, Preto, Corumbá e São Marcos. Também fazem parte do sistema hidrológico os lagos Paranoá, Descoberto e Santa Maria, todos concebidos por represamento, sendo que o primeiro, dentre outras funções, tem o aproveitamento hidroelétrico e os demais são utilizados para atender às necessidades de abastecimento de água (GDF, 2009).

A proximidade às nascentes e rios juvenis traz uma vulnerabilidade diferente ao Distrito Federal, ao causar uma particular dependência das águas da chuva. Sem a chuva, há poucas soluções de diversificação da demanda, pois os mananciais possuem baixa disponibilidade hídrica (ANA, 2015). Ademais, as terras elevadas do planalto são dispersoras de águas, constituindo uma drenagem natural de nascentes, pequenos riachos e alguns rios medianos (GDF, 2009). Por outro lado, as características climáticas, com um longo período de estiagem, afetam a disponibilidade hídrica, concorrendo para significativa redução de vazão dos rios nos períodos mais críticos. Isso torna o DF uma área particularmente vulnerável às oscilações climáticas, trazendo a necessidade de outras estratégias adaptativas.

Um indicador que pode causar preocupação é a disponibilidade hídrica por habitantes do DF que corresponde a 1.537 m<sup>3</sup>/habitante/ano, e segundo a classificação da ONU uma disponibilidade hídrica para consumo humano é considerada pobre quando for igual ou inferior a 1.500 m<sup>3</sup>/habitante/ano (ADASA, 2017). Em termos de disponibilidade hídrica por habitantes, o Distrito Federal tem a terceira pior situação do país, perdendo apenas para Pernambuco (1.270 m<sup>3</sup>/habitante/ano) e Paraíba (1.392 m<sup>3</sup>/habitante/ano) (LIMA, 2001). Dado que a disponibilidade de água nada mais é do que o balanço entre a oferta e a demanda, fica evidente que o crescimento populacional exacerbado teve um papel determinante no aumento da demanda de água (ADASA, 2017).

A curto prazo, diante de tal cenário, medidas de gestão da demanda são mais efetivas, rápidas e econômicas, quando comparadas com a implantação de um novo sistema produtor de água. Fomentar o consumo sustentável de água junto aos principais consumidores (abastecimento humano, dessedentação animal, industrial e

irrigação), propicia a redução do consumo e, conseqüentemente, o aumento da oferta.

O aumento da demanda por recursos hídricos em locais onde estes são escassos ou onde existe uma alta competição cria a necessidade de se usar as chamadas “fontes não convencionais” de água, como os poços e as nascentes de baixo rendimento, águas pluviais, escoamento urbano e reciclagem de águas residuais (UN WATER, 2016). Desde que os riscos para a saúde sejam gerenciados de forma adequada, as águas residuais (tratadas para níveis “adequados à sua finalidade”) oferecem oportunidades de diversificação das fontes hídricas, especialmente em áreas de escassez (UN WATER, 2016).

No DF, visando o atendimento de áreas urbanas descontínuas ou fora do alcance da infraestrutura de abastecimento implantada, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) se utiliza de águas subterrâneas através de poços tubulares profundos. Em 2003, esta concessionária já operava um total de 49 poços em área urbana, representando 5% da capacidade total do seu sistema produtor (GDF, 2009). Nos últimos anos vem-se intensificando a utilização de água subterrânea para abastecimento por parte de consumidores com dificuldades de acesso à rede ou aqueles à procura de uma fonte alternativa de água com custos mais baixos do que aqueles cobrados pelo serviço de água distribuída pela CAESB.

A outorga de uso das águas subterrâneas por meio de poços é concedida pela ADASA. Entretanto, em 2018 por meio de auditoria do Tribunal de Contas do Distrito Federal (TCDF), revelou-se que a ADASA não sabe quantos usuários captam água diretamente dos reservatórios (TCDF, 2019). É cabível ressaltar que esses usuários não pagam pelo recurso – só são tarifados aqueles cujo abastecimento é de responsabilidade da empresa concessionária, no caso, a Caesb. A auditoria também encontrou outra falha preocupante: a concessão de autorizações de captação de águas superficiais e subterrâneas não considera o saldo local de água disponível, nem conta com o mapeamento de todas as bacias que cortam o DF. Ademais, no Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos da ADASA, faltam dados relacionados ao tipo e à situação da outorga; à quantidade de vazão, o que impacta no cálculo de água disponível; e à finalidade de uso, o que prejudica a

gestão dos recursos hídricos em situação de crise (TCDF, 2019). A falta de dados e a falta de gestão dos recursos hídricos distritais é preocupante, especialmente levando-se em consideração todos os tópicos elencados neste estudo.

O saneamento ambiental compreende os serviços, o sistema e a infraestrutura relacionados com o abastecimento de água, com o esgotamento sanitário, com a drenagem urbana e com a gestão dos resíduos sólidos. No Distrito Federal, os principais órgãos responsáveis pelo controle e manutenção das atividades ligadas ao saneamento são a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (ADASA); a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB); a Companhia Urbanizadora da Nova Capital (NOVACAP); e a Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA). O planejamento da área de saneamento conta com o Plano Diretor de Água e Esgotos do DF (PLD), já elaborado, e o Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos - PGIRH (GDF, 2009). O DF apresenta elevados níveis de atendimento, com abastecimento de água atendendo a cerca de 98% da população total do DF (GDF, 2009)

O PLD (feito no ano de 2000) estabelece novas diretrizes para o serviço de abastecimento de água. Com horizonte de projeto até o ano de 2030, o PLD estuda diversas alternativas para a ampliação do abastecimento de água do Distrito Federal, tais como: a implantação de novos sistemas de produção de água tratada no futuro Lago da UHE Corumbá IV - Braço Areias e no rio São Bartolomeu; reforço da disponibilidade de água bruta no Sistema Descoberto a partir de nova captação no rio do Sal, e no Sistema Santa Maria/Torto a partir de nova captação no rio da Palma; e ampliações dos sistemas de distribuição de água potável, incluindo adutoras de água tratada, elevatórias de água tratada e reservatórios (GDF, 2009). O aumento na oferta é o principal foco nos planos governamentais sobre as águas.

O PGIRH é um instrumento de planejamento distrital, pactuado entre o Poder Público, os usuários e a sociedade civil, onde se define como conservar, recuperar e utilizar os recursos hídricos das bacias hidrográficas. Seu objetivo é subsidiar as ações do Conselho de Recursos Hídricos e da entidade gestora, a ADASA, a partir da definição de orientações técnicas, estratégicas e de cunho

institucional necessárias para a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, em seus aspectos quantitativos e qualitativos.

O PGIRH apresenta parâmetros a serem desenvolvidos quanto aos usos não antrópicos da água, assim como para outros serviços ecológicos. A definição, na maioria do marco legal brasileiro, da quantidade de água passível de ser retirada dos corpos hídricos superficiais reafirma uma visão antropocêntrica e por isto de “recursos hídricos”. Contudo, ainda não há aprofundamento do tema, com muitas políticas considerando o uso ambiental necessário e suficiente para a manutenção da vida aquática nestes corpos hídricos, ou o uso de outras comunidades/estados à jusante do curso d’água. O resultado prático é que não consideram nos “usos múltiplos” os ecossistemas como um setor usuário (GDF, 2017a).

A CAESB é a responsável pela operação dos cinco sistemas produtores do DF. Esses sistemas utilizam 25 pontos de captações superficiais, 16 unidades de tratamento de água e conjuntos de poços profundos. Os sistemas Descoberto e Torto/Santa Maria são responsáveis pelo atendimento de mais de 80% da população do DF (ANA, 2010).

#### **4.2.2. Crise hídrica no DF**

O Distrito Federal vem apresentando nos últimos anos crescimento substancial da população, superando as expectativas projetadas para o consumo do Plano Piloto e cidades satélites. Com esse crescimento, vem ocorrendo o aumento do consumo de água e de demais recursos naturais, de maneira exagerada e desordenada, provocando sérios problemas ambientais e sociais. A ocupação intensa das chapadas tem representado o aumento de áreas impermeabilizadas, limitando o aporte de água para o lençol freático e para aquíferos mais profundos (GDF, 2009). Com o crescimento desordenado da Capital Federal, percebe-se o empobrecimento da matriz hídrica, devido à ocupação desordenada do solo, junto à ineficiência das políticas públicas.

Há uma série de questões relevantes sobre a disponibilidade e a oferta de água e mesmo do alcance das medidas para a ampliação dos sistemas produtores. Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, o Distrito Federal

apresentou no ano de 2017 um consumo de 132,4 litros por habitante/dia, e vem apresentado uma redução consistente no consumo: entre os anos de 2014 e 2017, houve uma redução de 18,1% no consumo (MDR, 2017). É relevante lembrar que a média diária, por indivíduo, inclui os volumes utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial. O consumo de Brasília, mesmo tendo sido reduzido com o tempo, ainda assim está acima do indicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que é de 100 litros por habitante/dia. Olhando para 2030, um cenário ideal seria aquele em que houvesse uma radical alteração nos padrões de demanda doméstica e das atividades urbanas, com seus habitantes dispostos de forte consciência ambiental, as residências dispostas de tecnologias de reúso e as empresas fortemente engajadas na adoção de padrões de consumo eficiente, e com isso chegando próximo ao referencial da OMS (PAVIANI e BRANDÃO, 2015).

Em Brasília, a questão não está apenas na média de consumo elevada, mas sim nas disparidades de consumo entre as faixas de renda mais ricas e mais pobres. Brasília está entre os 10 municípios brasileiros com maior IDH, com um IDH de 0,824 (PNUD BRASIL, 2019), chegando a 0,839 em uma estimativa de 2015 (PNUD, 2019), acima do IDH do resto do país. No entanto, Brasília apresenta um alto Índice de Gini - índice que mede a desigualdade, medido de 0 (ideal de igualdade) a 1 (pior grau de desigualdade). Em 2017, chegou ao valor de 0,602, enquanto no país o índice foi de 0,549, e no Centro Oeste, 0,536 (COSTA, 2018). O consumo de água também reflete a mesma assimetria observada no índice de Gini. Um morador do Park Way pode consumir até 1.000 litros por pessoa por dia (ADASA, 2017), enquanto Paranoá e Itapoã apresentam um consumo de 96 litros/habitante/dia (PAVIANI e BRANDÃO, 2015).

As soluções para a diminuição do consumo devem ser construídas politicamente pela sociedade, incentivadas por políticas públicas. Estas podem incluir: campanhas de conscientização com públicos-alvo bem determinados para o consumo consciente de água tanto residencial como rural; diferenciações das taxas da concessionária mais estratificadas por nível de consumo, facilitando o acesso à água para a população com menor poder aquisitivo; restauração das estruturas existentes para menor perda de água durante a distribuição; maior acesso a tecnologias para as habitações que diminuam desperdício; e, para os agricultores,

tecnologias e práticas de gestão para elevar a produção e, ao mesmo tempo, otimizar o consumo de água se desejarem (PAVIANI e BRANDÃO, 2015).

Outro fator de pressão pelo uso da água é o uso para irrigação. No Distrito Federal, entre as bacias hidrográficas que já evidenciam estresse hídrico encontram-se, especialmente, aquelas ocupadas por atividade agrícola com uso intenso de água, como as bacias do rio Preto e do rio São Marcos (GDF, 2009). Segundo o Relatório Síntese do PGIRH/DF - 2012 (ADASA, 2012), das sete bacias abrangidas pela região do DF e entorno, em quatro a irrigação é o principal segmento consumidor de água, chegando a ser responsável por 95,8% (0,045 m<sup>3</sup>/s) na bacia do rio São Marcos. O consumo de água pelo abastecimento urbano predomina, sobretudo, nas bacias do rio Descoberto (90,3% do total consumido) e do rio Paranoá (96,2% do total consumido). No Brasil, segundo o Relatório “Conjuntura dos Recursos Hídricos: Informe 2018” da ANA, a irrigação é o setor responsável pela maior parcela de retirada de água (52%), seguido das retiradas para fins de abastecimento humano-urbano, industrial, e animal, nessa ordem (ANA, 2018).

Quanto à quantidade de recursos hídricos disponíveis, a questão está na sua distribuição espaço-temporal, devido aos extensos períodos de estiagem e à concentração da demanda em algumas bacias hidrográficas. No aspecto qualitativo, o processo de ocupação do solo urbano e rural tem causado poluição das águas superficiais e subterrâneas pela descarga de esgotos domésticos e industriais, efluentes de origem animal, utilização de agrotóxicos e lançamentos de drenagem pluvial, comprometendo alguns de seus usos, principalmente para o abastecimento da população e para as atividades de lazer e turismo (GDF, 2009).

A crise hídrica ocorreu por uma grande variedade de fatores, sendo os pontos mais a falta de previsão e de planejamento público que considerasse tal risco. A junção de todos esses elementos levou o Distrito Federal a vivenciar uma crise hídrica sem precedentes em sua história. Segundo o Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (GDF, 2012), a disponibilidade hídrica no geral atenderia às demandas atuais e projetadas para 2025. Entretanto, outros relatórios e estudos já ressaltavam o caráter estratégico dos recursos hídricos superficiais e indicavam que a região necessitaria de reforço de infraestrutura hídrica para a garantia da oferta de água ou de fontes hídricas



complementares (novos mananciais), em função da baixa garantia hídrica dos mananciais atualmente explorados em comparação com as demandas atuais e futuras, e sua capacidade limitada (ANA, 2010; GDF, 2009). O Relatório de Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal detectou à época também esta necessidade, observando que a capacidade de produção dos sistemas existentes à época encontrava-se muito próxima da demanda de água, tornando patente a necessidade de esforços para reduzir as perdas na distribuição e os desperdícios no consumo (GDF, 2017b).

É importante pontuar que o ciclo de planejamento e implantação de infraestrutura hídrica não é curto, mas que o crescimento populacional se deu de maneira acelerada no Distrito Federal. Com isso, a taxa de impermeabilização do solo aumentou (tanto considerando-se áreas regulares quanto irregulares de habitações), implicando em vazões elevadas no sistema de drenagem pluvial, e dificultando a percolação de água e consequente reabastecimento dos lençóis freáticos (GDF, 2017b). Ademais, os sistemas implementados não conseguem minimizar adequadamente os impactos ambientais negativos resultantes dos lançamentos dos emissários pluviais nos cursos d'água, com a falta de infraestrutura levando a descargas com alta velocidade, gerando erosão de base, destruição de matas de galeria e assoreamento de corpos hídricos (GDF, 2009).

Outros fatores que colaboraram para a crise e que são dignos de menção são: a contaminação das águas por lançamento de esgotos domésticos sem tratamento; a contaminação das águas por agrotóxicos usados de modo inadequado e por efluentes de origem animal (suinocultura); a erosão e o assoreamento, devido ao desmatamento descontrolado e especialmente em áreas de mananciais; falta de investimentos para a redução de perdas, e falta de coordenação institucional.

A seca de 2016 reduziu drasticamente os níveis dos principais reservatórios do Distrito Federal, fazendo com que a Barragem do Descoberto, que abastece cerca de 65% da região, chegasse a menos de 20% de sua capacidade (ADASA, 2018). Como uma medida emergencial, iniciou-se um regime de racionamento por rodízio de abastecimento em algumas regiões do Distrito Federal e de reestruturação tarifária por contingência fiscal até que se alcance um nível satisfatório de água nos reservatórios para garantir a segurança hídrica da região



(CAESB, 2018). O racionamento chegou ao fim em junho de 2018, após mais de um ano de racionamento. Desde então, os reservatórios ostentam boa capacidade, sendo que de dezembro a abril de 2019 o reservatório do Descoberto ficou sempre acima de 90% de sua capacidade (ADASA, 2019).

Nos últimos anos, a CAESB vem operando no limite de sua capacidade de produção, sem margem de segurança (SANTANA e MEDEIROS, 2017). Evidentemente, qualquer aumento drástico no consumo de água ou redução significativa no regime de chuva pode gerar um colapso em partes do sistema público de abastecimento. Para atender às necessidades da demanda urbana crescente, a concessionária local está promovendo a construção de novos sistemas produtores para captação de água no Ribeirão Bananal, Lago Paranoá e na Usina Hidroelétrica Corumbá IV, representando R\$ 745,7 milhões em investimentos (ANA, 2010). Além desses empreendimentos, importantes adequações estão previstas para os atuais sistemas de produção, tais como o reforço proveniente do ribeirão Bananal para o Sistema Torto/Santa Maria e a implementação da ETA Contagem na área do Sistema Sobradinho/Planaltina. Todas as intervenções previstas para o DF totalizam investimentos de R\$ 761,8 milhões (ANA, 2010; ANA, 2019).

Observa-se que a postura governamental é de aumento na oferta de água, explorando novas fontes hídricas para suprir o consumo humano. Entretanto, além de agredir o meio ambiente, a exploração de novas mananciais, cada vez mais distantes para atender às demandas crescentes geram custos adicionais à sociedade e às empresas de saneamento, elevando o volume de captação, tratamento e distribuição de água e pressionando o sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário. Torna-se imprescindível então nos voltarmos à reavaliação do consumo por água, assim como ao estímulo de medidas que auxiliem no controle da demanda de água.

A criação de comitês de bacias para enquadramento, outorga e usos é de extrema importância para identificar os principais problemas e minimizar os conflitos existentes, mantendo assim a sustentabilidade hídrica e ambiental. Portanto, é importante ressaltar que o cumprimento da legislação se faz necessário para todas as bacias do DF.

### 4.3. Segurança hídrica

#### 4.3.1. Definição de Segurança Hídrica

Em uma arena política como a governança da água nunca há um discurso único, especialmente em áreas complexas e multifatoriais como a de governança hídrica. As discussões sobre o assunto se estendem há anos, e um dos conceitos mais proeminentes nos últimos anos permeava o de Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que dominou o discurso de gestão de água pelas últimas duas décadas, inspirando políticas hídricas nos níveis nacional e internacional (GERLAK e MUKHTAROV, 2015). Entretanto, o conceito de segurança hídrica vem tomando espaço desde o início do século, com autores defendendo que este, ao invés de contradizer o conceito anterior de GIRH, incorpora e estende aspectos-chaves deste, especialmente nas ligações entre mudanças no uso da terra e sistemas hidrológicos, entre ecossistemas e saúde humana, e entre aspectos políticos e científicos da gestão da água (GERLAK e MUKHTAROV, 2015; BEEK e ARRIENS, 2014; BAKKER, 2012). GIRH é um conceito integrativo em termos de racionalidade científica e planejamento analítico; em contraste, a segurança hídrica enfatiza um conhecimento discursivo, exaltando contextos da ética, dos valores, das dimensões humanas da gestão de água e do senso de urgência sobre questões ligadas à água; assim como inclui um foco em vulnerabilidade, risco e resiliência; ênfase nas ameaças, choques e pontos de inflexão; e uma ênfase relativa em gestão adaptativa dada a previsibilidade limitada (GERLAK e MUKHTAROV, 2015; BAKKER, 2012).

O termo “segurança” pode ser definido como o estado, qualidade ou condição de quem ou do que está livre de perigos, incertezas, assegurado de danos e riscos eventuais. Os termos “segurança alimentar” e “segurança energética” normalmente remetem ao acesso confiável a suprimentos suficientes de comida ou energia, respectivamente, para atender às necessidades básicas dos indivíduos, sociedades, ou nações, portanto suportando diversos modos de vida e produção. A definição do termo “segurança hídrica” tentou seguir com uma definição semelhante. Uma diferença marcante, entretanto, é que ao contrário de comida ou energia, não é somente a falta que pode ser uma ameaça, mas também a presença em grande

quantidade, trazendo a qualidade destrutiva e única deste recurso (GREY e SADOFF, 2007).

O conceito surgiu em resposta à natureza multifacetada da crise global da água. O desafio é a falta de uma definição única de segurança da água, que tende a variar de acordo com o contexto, as perspectivas disciplinares sobre o uso da água, e os diferentes componentes e aspectos, tornando-se um conceito em constante evolução (SRINIVASAN, KONAR e SIVAPALAN, 2017; UN WATER, 2013; COOK e BAKKER, 2012; WWAP, 2012; BAKKER, 2012).

O termo “segurança hídrica”, em geral, se relaciona à habilidade de um país/organização/sociedade de funcionar propriamente em face da vulnerabilidade relacionada à água (WWAP, 2012). Entretanto, diversos conceitos e autores defendem diferentes componentes – atualmente, a ideia central que sustenta a segurança da água é a necessidade de equilibrar as necessidades hídricas humanas e ambientais, assim como lidar com a imprevisibilidade dos desastres relacionados à água, e à governança da água e infraestrutura hídrica (MELO e JOHNSSON, 2017). Outros também adicionam o aspecto internacional, adicionando aspectos como a dependência dos fluxos de água transfronteiriços (GTZ, 2010). O tópico vem crescendo em discussões internacionais dada a constatação de que a água é um recurso natural finito do qual as atividades econômicas e sociais dependem, e a influência das mudanças climáticas na disponibilidade e qualidade do recurso.

A preocupação com o tópico é patente, chegando a aparecer entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (SDG6) para 2030. O sexto objetivo é denominado “água potável e saneamento”, defendendo “assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos” (AGENDA 2030, 2018). A operacionalização dessas metas será muito desafiadora, pois a gestão sustentável da água está vinculada a outras metas de diversos objetivos além do SDG6. Garantir o acesso para os seres humanos inevitavelmente terá algum impacto sobre os ecossistemas relacionados à água, sobre a economia e sobre escolhas relacionadas à análise da aplicação de dinheiro, e, portanto, é necessária uma estrutura para que se possam avaliar esses *trade-offs*,

notavelmente entre agricultura, produção energética, e uso pela população (SRINIVASAN, KONAR e SIVAPALAN, 2017; BAKKER, 2012).

As metas ambientais não podem ser alcançadas sem desenvolvimento e eficiência. Cumprir os ODS requer conexões entre redução de pobreza, desenvolvimento econômico, e o foco em assistência de desenvolvimento (WWAP, 2012; ADEEL, 2012). Pessoas pobres sem comida, sustento e água e saneamento adequados degradarão seu meio ambiente se tiverem que fazê-lo para sobreviver - mesmo que arrisque sua sobrevivência a longo prazo. Há documentação atestando que o fornecimento de água potável e serviços de saneamento adequados podem formar a base para reduzir a pobreza - melhorando os meios de subsistência, criando empregos para comunidades locais em países em desenvolvimento engajados na iniciativa, removendo o ciclo de doenças que reduz a produtividade daqueles sem acesso a esses serviços, e redirecionando as economias no setor de saúde para outros imperativos (WWAP, 2012; UNDP, 2006). Portanto, os objetivos de desenvolvimento sustentável não podem ser alcançados e mantidos sem uma boa gestão ambiental.

A ONU define segurança hídrica como “a capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade aceitável, para sustentar meios de subsistência, bem-estar humano e desenvolvimento socioeconômico, para garantir proteção contra a poluição causada pela água e desastres relacionados a ela, e pela preservação dos ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política” (UN WATER, 2016).

O *World Water Assessment Programme* (WWAP, ou Programa Mundial de Avaliação da Água) defende que investimentos em recursos hídricos promovem o crescimento da renda nacional ao fornecer segurança contra flutuações na disponibilidade de água (mitigação de inundações e secas) e promoção de resiliência climática a longo prazo; um catalisador de crescimento, abrindo novos tipos de atividade econômica que antes não eram viáveis; e benefícios contínuos em termos de valor agregado e bem-estar para usuários em todo o ciclo hidrológico (WWAP, 2012). Pesquisas comprovam que investimentos em recursos hídricos ajudam a reduzir danos de eventos climáticos extremos do nível de 25-30% para

cerca de 5% do PIB (MELO e JOHNSON, 2017). Os dados trazem a importância da análise do custo-benefício dos investimentos em infraestrutura, podendo aumentar a segurança hídrica de uma sociedade.

Os gestores e pesquisadores vêm pesquisando formas de balancear entre o fato de que muitas pessoas ainda não têm acesso à água para atender às necessidades básicas de higiene e subsistência; e uma crescente competição por recursos hídricos escassos entre humanos, meio ambiente, e os diferentes setores da economia e da sociedade (MELO e JOHNSON, 2017). Na maior parte de governos democráticos e em todos os governos ditatoriais há um grande número de interesses políticos contraditórios, e muitas vezes não se investe em planos de gerenciamento de águas pois estes levariam de 5 a 20 anos para serem feitos, possivelmente em governos diversos ao do representante atual (ADEEL, 2012). Outro desafio é o escasso capital para investimento em iniciativas em desenvolvimento humano.

As dificuldades em relação à gestão da água também têm um aspecto de governança. As decisões de gestão dos recursos hídricos são tomadas em níveis que vão desde a formulação de políticas pelo Congresso até as escolhas de indivíduos no uso da água. Tomadores de decisão em níveis mais baixos são frequentemente mal informados, perseguem objetivos conflitantes e são influenciados por organizações com metas ambientais, comerciais e sociais que podem não corresponder a situações locais (JAMES e SHAFIIEE-JOOD, 2017). Idealmente, os gestores deveriam consultar diversos especialistas para conseguir tomar decisões, levando em consideração as diversas dimensões da tomada de decisão quanto à água: hidrológica, de suprimento, de demanda, econômica, ambiental, social, política e legal (JAMES e SHAFIIEE-JOOD, 2017), que quase nunca são feitas.

A segurança da água engloba desafios complexos e interconectados e destaca a centralidade da água para alcançar um senso de segurança, sustentabilidade, desenvolvimento e bem-estar humano, do nível local ao internacional. Muitos fatores contribuem para a segurança da água e vão do biofísico ao infra estrutural, institucional, político, social e financeiro - muitos dos quais estão

fora do reino da água. A abordagem da segurança hídrica, portanto, requer colaboração interdisciplinar entre setores, comunidades e fronteiras políticas, para que o potencial de competição ou conflitos sobre recursos hídricos, entre setores e entre usuários ou estados de água, seja adequadamente gerenciado (UN WATER, 2013).

O alcance da segurança hídrica é dificultado devido às demandas crescentes por água, mudanças constantes nos sistemas, e mudanças nas condições climatológicas (BEEK e ARRIENS, 2014). Além disso, não há soluções do tipo "tamanho único" para aumentar a segurança da água, e as medidas apropriadas dependem das condições locais e da capacidade de enfrentamento disponível no momento (BEEK e ARRIENS, 2014). O desafio da política de segurança hídrica do século XXI para a próxima geração é garantir riscos toleráveis à sociedade, em todas as escalas e em todos os lugares. Esse desafio abrangente requer: garantir serviços eficientes relacionados à água para 9 bilhões de pessoas e gerenciar ameaças relacionadas à água para a sociedade.

#### **4.3.2. Histórico de definições**

O conceito de segurança hídrica emergiu na década de 1990 e evoluiu significativamente desde então. Segundo Witter e Whiteford, corresponderia a uma condição em que haja uma quantidade suficiente de água e uma qualidade necessária, a um preço acessível, para atender às necessidades humanas de curto e longo prazo, de comunidades ou nações (WITTER e WHITEFORD, 1999). Pode-se perceber que inicialmente, para os organismos internacionais, todos os conceitos abordavam apenas a necessidade de atender às demandas humanas essenciais para a subsistência e a manutenção de forças produtivas.

A partir dos anos 2000, o termo passou a figurar recorrentemente na pesquisa científica (COOK e BAKKER, 2012), e o conceito passou a incluir o bom funcionamento da biosfera como base para existência e bem-estar humanos, além de relocalizar o conceito para uso local, e ligar a fatores econômicos e sociais.

Em 2000, no Segundo Fórum Mundial da Água, a Parceria Mundial pela Água introduziu uma definição integradora de segurança da água que considerava o

acesso e a acessibilidade da água, bem como as necessidades humanas e a saúde ecológica, e a necessidade de envolvimento do governo (BEEK e ARRIENS, 2014; COOK e BAKKER, 2012; WWC, 2000). O assunto também foi tratado, no mesmo ano, na *Global Water Partnership (GWP)*, que definiu segurança hídrica da seguinte forma: “em qualquer nível, do lar ao global, significa que toda pessoa tem acesso a água suficiente a um custo acessível para levar uma vida limpa, saudável e produtiva, assegurando ao mesmo tempo que o ambiente natural é protegido e melhorado” (SAITO, 2018; SRINIVASAN, KONAR e SIVAPALAN, 2017; GWP, 2000). Para a GWP, o conceito requereria cooperação entre diferentes tipos de usuários de água em uma estrutura que permita a proteção aos ecossistemas aquáticos da poluição e de outras ameaças, considerando aspectos quantitativos e qualitativos da água (MELO e JOHNSON, 2017). Adicionalmente, o conceito da GWP inclui combater os efeitos destrutivos da água, ou seja, os danos causados por inundações, secas, deslizamentos de terra, erosão, poluição e doenças transmitidas pela água.

Segundo Grey e Sadoff, há uma necessidade de todas as sociedades de investimentos em estruturas hídricas para alcançar um nível básico de segurança hídrica (GREY e SADOFF, 2007). Abaixo disso, sociedades são vulneráveis demais ao suprimento inadequado de água e os desastres hídricos para qualidade de vida humana – o tecido social é prejudicado, assim como o crescimento econômico. Uma vez que esse mínimo é alcançado, maiores desenvolvimentos hídricos podem estimular o crescimento econômico. O autor começa a trazer para discussão a importância da água para economia, e sobre a necessidade de investimentos em países com menores condições para assegurar a qualidade de vida destas populações, dado que estes enfrentam um desafio muito maior do que aqueles enfrentados por aqueles que alcançaram a segurança hídrica no último século e são hoje países ricos. Os países hoje com insegurança de água enfrentam hidrologias mais difíceis, populações muito maiores com demandas de água mais variadas e uma maior compreensão e, portanto, maior responsabilidade pelas compensações sociais e ambientais inerentes à gestão da água (GREY e SADOFF, 2007). Esta mesma ideia já havia sido defendida no 4º Fórum Mundial da Água, em 2006 (GREY e SADOFF, 2006).



Em continuidade a esse raciocínio, em 2009, o Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum*, ou WEF) priorizou a segurança hídrica como um risco global, afirmando que “a segurança da água é o tecido que liga a rede de alimentos, energia, clima, crescimento econômico e desafios de segurança humana que a economia mundial enfrentará nas próximas décadas” (WEF, 2009).

Para a WaterAid, 2012, a segurança hídrica é definida como: “o acesso confiável à água em quantidade suficiente e de qualidade para as necessidades básicas humanas em pequena escala, garantia dos meios de subsistência e os serviços dos ecossistemas locais, juntamente uma adequada gestão dos riscos inerentes aos desastres relacionados com a água” (WATERAID, 2012). A WaterAid segue na linha da definição da GWP, porém traz uma abordagem mais humanitária, abordando a questão da segurança hídrica em menor escala (das comunidades), e conceitualmente simplificando a abordagem para um modelo que garanta meios de subsistência destas comunidades.

Lautze e Manthrilake (2012) defendem que o conceito de segurança hídrica continua sem definição apesar das várias tentativas, e continuaria sem quantificação. Os autores criaram um índice que quantifica a segurança da água em nível nacional, a fim de encorajar uma compreensão mais concreta do termo. Começa a surgir outra linha de definição, focada em aspectos práticos e numéricos, que incentivam a clareza e a compreensão comum de um conceito em torno do qual existe atualmente substancial ambiguidade, além de trazer comparabilidade (LAUTZE e MANTHRITHILAKE, 2012). Assim, os autores propõem que o conceito de segurança hídrica contenha cinco componentes: necessidades humanas básicas, produção agrícola, ambiente, gestão de risco, e segurança nacional (este último um elemento novo com relação às definições anteriores). Estes cinco componentes permitem que muitos dos resultados ligados à segurança hídrica sejam alcançados, tais como o consumo adequado de alimentos, as pessoas saudáveis, o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental (LAUTZE e MANTHRITHILAKE, 2012).

A busca por um índice numérico continua com Mason e Calow (2012), alegando que segurança hídrica emerge como uma possibilidade de unificar os



diversos aspectos que a gestão de recursos hídricos tenta alcançar (MASON e CALOW, 2012). Assim, os autores buscam métricas para quantificar o conceito e de que forma a segurança hídrica pode ser medida. Segurança hídrica significa ter água suficiente, em quantidade e qualidade, para as necessidades humanas (saúde, subsistência e atividades econômicas produtivas) e ecossistemas, combinado com a capacidade de acessá-la e usá-la, resolvendo os *tradeoffs* e gerindo risco relacionados à água, incluindo enchente, seca e poluição (MASON e CALOW, 2012). No entanto, os autores admitem que não há meios de medição em termos simples e confiáveis para acompanhar o progresso, equilibrar compensações e direcionar recursos para os mais necessitados, tornando-se improvável que a segurança hídrica se torne um objetivo significativo na prática e na política.

Bakke (2012) também apresenta conceito parecido com o da GWP, justificando que um tema central da segurança hídrica é o desafio de equilibrar as necessidades hídricas do homem e do ambiente, salvaguardando os serviços ecossistêmicos essenciais e a biodiversidade (BAKKE, 2012). Aborda ainda que os aspectos inovadores da agenda de segurança hídrica incluem um enfoque conceitual sobre a vulnerabilidade, risco e resiliência; ênfase em ameaças, choques e pontos de ruptura; e enfoque em gestão adaptativa dada a previsibilidade limitada dos sistemas hidrológicos. Isto sugere um grau de avaliação e gestão de risco e a importância dos limiares e da resiliência socioecológica.

Em mais uma avaliação de cunho econômico, Whittington et al (2013) buscaram avaliar o valor econômico da segurança hídrica em ambas perspectivas, do estado e do cidadão (WHITTINGTON, SADOFF e ALLAIRE, 2013). E, para tanto, realiza uma avaliação do potencial dos benefícios de investir em segurança hídrica e os custos de não investir ou da inação. Uma primeira constatação é que os retornos do investimento em segurança hídrica são sensivelmente afetados pela localização e contexto. Os autores defendem a comparação do valor da segurança hídrica e da redução de risco, analisando o custo benefício de tais investimentos.

No dia mundial da água em 2013, a ONU reforçou o tema da água na agenda de debates do Conselho de Segurança ao anunciar o seu conceito de segurança hídrica (UN WATER, 2013): “A capacidade de uma população de

salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade para garantir meios de sobrevivência, o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico; para assegurar proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política”. Tal definição implica que a água seja gerenciada de maneira sustentável em todo o ciclo hidrológico e por meio de um enfoque multidisciplinar para que contribua para o desenvolvimento socioeconômico, reforce a resiliência da sociedade com relação aos impactos ambientais e às doenças hídricas, e não comprometa a saúde atual e futura das populações e ecossistemas (UN WATER, 2013). Alcançar a segurança da água requer: que a alocação entre os usuários seja justa, eficiente e transparente; que a água para satisfazer as necessidades humanas básicas seja acessível a todos a um custo acessível para o usuário; que a água ao longo do ciclo da água seja coletada e tratada para evitar a poluição e a doença; e que mecanismos justos, acessíveis e eficazes existam para gerenciar ou tratar de disputas ou conflitos que possam surgir (UN WATER, 2013). O conceito opera em todos os níveis, desde o indivíduo, lar e comunidade, até locais, subnacionais, nacionais, regionais e internacionais, e leva em conta a variabilidade da disponibilidade de água ao longo do tempo.

Para a OCDE (2013), o conceito também gira em torno da gerência dos riscos associados à água incluindo riscos de armazenamento de água, do seu excesso e poluição, assim como os riscos de enfraquecer ou debilitar a resiliência dos sistemas de água doce (OECD, 2013). Traz uma visão da análise e gerência dos riscos ligados à água, trazendo também comparabilidade ao conceito e estabelecimento de metas. Assim o ponto de ruptura é estabelecido como o risco aceitável em relação aos componentes do conceito, quais sejam: riscos de armazenamento de água, excesso, poluição e riscos enfraquecer ou debilitar a resiliência dos sistemas de água doce (Melo, et al., 2017).

Em publicação posterior do GWP, 2014, afirma-se que a operacionalização do conceito de segurança hídrica requer identificar suas várias dimensões, fixar metas e buscar medidas para atingir estes objetivos (BEEK e ARRIENS, 2014), continuando com a tendência de trazer formas para medir tal conceito. Assim o cerne do aumento da segurança hídrica encontra-se em: assegurar a disponibilidade

adequada e confiável de recursos hídricos, a qualidade aceitável para fornecer serviços provenientes da água para toda a atividade social e econômica de uma maneira ambientalmente sustentável; mitigar riscos relacionados à água, tais como inundações, secas e poluição; e abordar os conflitos que possam surgir a partir de disputas em relação a águas compartilhadas.

Atualmente, alguns autores defendem que segurança hídrica não é simplesmente um estado de água adequado a ser alcançado, mas sim um relacionamento que descreve como indivíduos, famílias e comunidades convivem e transformam as relações hidro sociais para acessar a água que eles precisam, e as maneiras que apoiam o desenvolvimento das capacidades humanas e do bem-estar em sua amplitude e abrangência (JEPSON, BUDDS, *et al.*, 2017). Os autores focam no bem-estar humano, deixando de lado algumas questões concernentes à sustentabilidade, função do ecossistema ou outras considerações biofísicas, porém promovem o debate que vai além do fornecimento de água. O caminho escolhido com relação à segurança hídrica, é fortemente influenciado pelo contexto socioeconômico e político, pelo tipo e a quantidade de riscos enfrentados, e as oportunidades criadas.

O tema continua em alta nas discussões ao redor do mundo, e será o tema do próximo Fórum Mundial da Água, em 2021, no Senegal.

#### **4.3.3. Segurança hídrica no Brasil**

Trazendo para a escala nacional, constata-se que a gestão de recursos hídricos no Brasil vem se consolidando após a aprovação da Lei das Águas (9.433/1997) e a instituição da Agência Nacional de Águas (ANA) em 2000, órgão regulador e gestor de recursos hídricos no Brasil (MELO e JOHNSON, 2017). Entretanto, foi somente a partir de 2014 o conceito de segurança hídrica ganhou espaço no país em função da crise hídrica vivenciada pelas principais capitais do Sudeste brasileiro (MELO e JOHNSON, 2017).

Nos últimos anos, tem-se observado, no Brasil, uma preocupação crescente com a identificação de riscos e prevenção de desastres naturais, em substituição ao

tratamento tradicionalmente dado ao tema, voltado predominantemente à resposta a catástrofes. Certamente, não será possível eliminar os impactos decorrentes de eventos climáticos extremos, mas, por meio de ações de prevenção, previsão e alerta, é possível reduzir os danos ao patrimônio, à infraestrutura e à perda de vidas humanas. Em agosto de 2012, foi lançado o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, cujo objetivo é proteger vidas, garantir a segurança das pessoas, minimizar os danos decorrentes de desastres e preservar o meio ambiente (ANA, 2013). Em 2012, foram publicados 283 decretos de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública devido à ocorrência de cheias, em 278 municípios brasileiros (5% do total de municípios do País). O número de decretos relacionados a esses tipos de eventos em 2012 foi o menor dos últimos cinco anos. Entretanto, no mesmo ano, 1.985 municípios (36% do total de municípios do País) publicaram 2.291 decretos de SE devido à ocorrência de estiagem ou seca (não houve decretos de Estado de Calamidade Pública). Esse valor foi o maior registrado entre 2003 e 2012 (ANA, 2013).

Faz-se necessária uma análise integrada sobre quais alternativas devem ser priorizadas para a implementação de uma política de oferta de água. Fundamentalmente, caso nada seja feito, o cenário futuro é de aumento da desproporção entre a demanda e a oferta de água, gerado pelas crescentes taxas de crescimento econômico do País. É importante a adoção de ações integradas de gestão dos recursos hídricos e de expansão da disponibilidade de água, seja para suprir necessidades de abastecimento humano nas regiões com déficit hídrico, ou para contemplar os usos múltiplos de modo a atender às crescentes demandas da indústria, do turismo e da agricultura, importantes para o crescimento do País. Também devem ser analisadas as medidas relacionadas ao enfrentamento de eventos críticos de cheias e ao controle necessário para a redução dos riscos associados a inundações (ANA, 2013).

Em abril de 2019, a ANA e o Ministério da Integração lançaram o Plano Nacional de Segurança Hídrica – PNSH, com o intuito de identificar as intervenções cruciais para a solução de problemas relacionados à garantia de oferta de água, ao controle de inundações e ao estabelecimento de um programa de ações em torno de suas concretizações, além de assegurar à população segurança hídrica através da

garantia de oferta de água e da proteção contra eventos extremos (ANA, 2019). A partir de diretrizes e critérios advindos do conceito de Segurança Hídrica, o PNSH assegura ao Brasil um planejamento integrado e consistente de infraestrutura hídrica com natureza estratégica e relevância regional, até o horizonte de 2035, para redução dos impactos de secas e cheias. Além das obras, também são identificados os estudos adicionais e projetos necessários para viabilizá-las, bem como as lacunas de conhecimento em áreas de baixa segurança hídrica, para as quais foram propostas ações específicas. As análises realizadas privilegiaram um olhar amplo e integrado, de forma a selecionar um conjunto de intervenções estruturantes que garantam resultados duradouros.

O PNSH partiu de uma análise criteriosa dos graus de segurança hídrica em todo o território nacional, definidos mediante um Índice de Segurança Hídrica (ISH), cuja metodologia inovadora foi desenvolvida com dados advindos de diversos estudos preexistentes da ANA e órgãos afins e aplicada em escala com alto grau de detalhamento. O ISH considera as quatro dimensões do conceito de segurança hídrica (humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência), agregadas para compor um índice global para o Brasil, representativo da diversidade do território nacional. Cada dimensão é composta de um ou mais indicadores, capazes de quantificar aspectos pertinentes a ela. Cada indicador é formado por uma combinação de variáveis ou atributos mensuráveis. Os indicadores têm seus valores classificados em cinco faixas de gradação, normalizadas com a atribuição dos números naturais de 1 a 5, em ordem decrescente do nível de segurança hídrica (ANA, 2019). A composição de um único e padronizado ISH detém a vantagem de facilitar a comunicação e de permitir tanto a realização de leituras em diferentes recortes (por bacia hidrográfica, por região, estado, município, etc.), quanto comparações diretas entre esses recortes, além da comparabilidade histórica.

O roteiro do caminho da segurança hídrica se inicia por estudos, passa pelos projetos, até se materializar em obras. Com essa lógica, o Programa de Segurança Hídrica assume o caráter de ferramenta fundamental para a tomada de decisões e adequada programação de investimentos e alocação de recursos para a implantação da infraestrutura hídrica estratégica no País. Como ferramenta, possibilita a priorização de esforços no estágio adequado de cada uma das

intervenções que foram objeto de análise criteriosa, quanto à garantia de oferta de água e controle de cheias, e quanto aos seus benefícios para a população e as atividades econômicas (ANA, 2019).

No DF, o PNSH recomenda investimentos de R\$ 150 milhões no Sistema Adutor Corumbá IV até 2020, e R\$ 523 milhões no Sistema do Lago Paranoá até 2021, além de estudos de aproveitamento de longo prazo nas regiões de bacias, sendo estes de longo prazo e sem previsão de recursos ao longo dos anos (ANA, 2019).

O PNSH totaliza o valor de R\$ 27,58 bilhões em intervenções recomendadas (obras, projetos e estudos) e em média R\$ 1,2 bilhão/ano em operação e manutenção (O&M) (ANA, 2019). No agregado do PSH, considerando-se apenas as intervenções com obras recomendadas, cada real (R\$ 1,00) investido para aumento na segurança hídrica gera aproximadamente vinte e um reais (R\$ 20,78) em benefícios (ANA, 2019).

Em síntese, os resultados apresentados no PNSH buscam traçar o caminho para a segurança hídrica do Brasil priorizando a resolução dos problemas mais latentes, os passos necessários e indispensáveis para a efetividade das intervenções recomendadas e o acesso à água como condição essencial à manutenção da vida e das atividades produtivas. Não há como planejar os recursos hídricos e a infraestrutura hídrica associada como vetores do desenvolvimento, enquanto ainda persistirem déficits ou problemas estratégicos no território, que impõem riscos de desabastecimento ou de perdas humanas e econômicas derivadas de eventos de secas e cheias. Nesse sentido, a premissa básica do PNSH está coerente com a meta global do acesso à água da Agenda 2030 de que “ninguém seja deixado para trás”, ao priorizar o atendimento a demandas efetivas como condição essencial ao desenvolvimento sustentável (ANA, 2019).

#### **4.3.4. O conceito utilizado neste estudo**

Este estudo escolheu seguir as definições mais contemporâneas de segurança hídrica mundiais e do PNSH, levando-se em consideração aspectos humanos, ambientais, econômicos, e de análise de risco.

Segundo Beek e Arriens, existem duas abordagens para aumentar a segurança da água: a desenvolvimentista e de gestão de risco (BEEK e ARRIENS, 2014). A abordagem desenvolvimentista busca aumentar a segurança hídrica ao longo do tempo, identificando os resultados alcançados ao longo do tempo por meio de uma combinação de políticas e projetos. A abordagem baseada em risco procura aumentar a segurança hídrica, gerenciando riscos e reduzindo vulnerabilidades resultantes da variabilidade climática e desastres relacionados à água, analisando como as sociedades lidam com a variabilidade hídrica. O principal desafio é definir quais são os riscos aceitáveis, toleráveis ou intoleráveis.

Dois desafios merecem atenção especial na abordagem baseada no risco. O primeiro é a gestão hídrica em países de baixa renda e altamente vulneráveis a desastres relacionados à água, os quais enfrentam riscos intoleráveis relacionada à segurança hídrica, e devem escolher em quais setores vulneráveis investir primeiro (BEEK e ARRIENS, 2014; GREY, GARRICK, *et al.*, 2013).

A abordagem utilizada neste estudo é a de gestão de risco, devido ao enfoque da presente tese na análise de vulnerabilidade e a busca de soluções para a população local.

#### **4.4.Vulnerabilidade e adaptação**

Ao longo dos anos, muita atenção foi dada à avaliação do impacto físico, químico ou biológico derivado do aquecimento global. Porém, uma avaliação completa das consequências para o bem-estar humano também requer uma avaliação da maneira pela qual a sociedade provavelmente responderá aos impactos ou à percepção dos impactos futuros.

O efeito da compreensão científica limitada e a miríade de problemas que confrontam qualquer tentativa de estimar cenários futuros de parâmetros sociais e econômicos são minimizados pelo enraizamento da análise no estudo das condições



atuais, e não no futuro incerto (ADGER e KELLY, 1999). O surgimento de riscos cada vez mais imprevisíveis, incertos e não quantificáveis, mas possivelmente catastróficos, confrontou as sociedades com a necessidade de desenvolver um modelo antecipatório para proteger os seres humanos e o meio ambiente contra os riscos incertos da ação humana: o princípio da precaução (DESSAI e SLUIJS, 2007). Precaução significa tomar medidas para proteger a saúde humana e o meio ambiente contra possíveis perigos de danos graves, mesmo quando a evidência científica de perigo é incerta e inconclusiva. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima declara explicitamente que "a falta de certeza científica completa não deve ser usada como uma razão para adiar medidas [para mitigar os impactos da mudança climática]" (ONU, 1992). A humanidade não pode se abster de buscar e implementar soluções, e por isso estudos na área de vulnerabilidade e adaptação são essenciais, por se constituírem como ações de zero ou baixo arrependimento (ADGER e KELLY, 1999). Não faz sentido estudar as consequências das mudanças climáticas sem considerar o leque de respostas adaptativas que alterarão substancialmente quaisquer impactos iniciais em uma determinada sociedade.

Durante os primeiros debates internacionais nos anos 90, a mitigação foi considerada a principal resposta e dominou a agenda climática internacional, enquanto a adaptação foi deixada para um papel secundário (SCHIPPER, 2006; PIELKE JR, PRINS, *et al.*, 2007). No entanto, mesmo os cenários de mitigação mais otimistas indicaram que algum grau de mudança climática é inevitável e que os sistemas humanos terão que lidar com impactos climáticos significativos (IPCC, 2014; PARRY, LOWE e HANSON, 2009; PIELKE JR, PRINS, *et al.*, 2007). Portanto, as ações voltadas para a adaptação gradualmente ganharam importância e estão agora no centro da agenda internacional, juntamente com a mitigação (LINDOSO, ROCHA, *et al.*, 2014). Muitos argumentavam que investir na adaptação aos impactos desviaria a grande tarefa de mitigar as causas da mudança climática antropogênica, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009). Outros estão convencidos de que a adaptação acontecerá inevitavelmente, uma vez que as mudanças ambientais se tornem visíveis.



Adger defende que ciência da adaptação às mudanças climáticas não pode determinar um caminho ideal entre diminuir a causa da mudança climática (mitigar as emissões de gases do efeito estufa) e se adaptar aos riscos da mudança climática, pelo menos na escala global (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009). Adaptação não é um substituto simples e direto para a ação para prevenir a mudança climática em primeiro lugar. Grande parte das mudanças climáticas severas e potencialmente catastróficas é evitável em grande parte por meio de ações precoces e sustentadas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Tais reduções podem ocorrer através de muitos canais - comportamento individual, desenvolvimento de novas tecnologias, regulamentações governamentais e novas arquiteturas para ações coordenadas internacionais (STERN, 2006). Embora os mecanismos e meios para tais medidas de mitigação sejam bem conhecidos, se as ações de mitigação necessárias são tomadas, depende, no entanto, da capacidade e disposição das sociedades e dos ecossistemas de enfrentar e adaptar-se às mudanças climáticas. (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009)

O desafio crítico e abrangente da mudança climática é como e quando agir diante de evidências científicas, o que é mais multifacetado e complexo do que os modelos simples sugerem. Adger, Lorenzoni e O'Brien (2009) defendem alguns pontos com relação ao desafio de implementação. Primeiro, ecossistemas e sistemas sócio ecológicos podem absorver perturbações significativas se forem resilientes. Mas quando os limiares são violados, eles frequentemente passam por mudanças significativas de regime em estados alternativos que podem ser igualmente resilientes, mas muitas vezes são indesejáveis do ponto de vista humano. Em segundo lugar, os impactos e as consequências das mudanças climáticas podem ser avaliados de acordo com diferentes métricas, que incluem, mas certamente não se limitam a medidas econômicas. Quando se trata de decisões sobre se deve ou não agir em face de evidências científicas sobre a mudança climática, surge inevitavelmente a questão de cujos valores contam. Em terceiro lugar, a implementação da adaptação é essencialmente uma questão de governança. Na realidade, a governança da adaptação provavelmente será complexa e um pouco confusa - um legado de modos passados de operação combinados com a persistência de paradigmas ultrapassados que dificultam a

implementação de adaptações efetivas a uma questão tão complexa e multifacetada quanto a mudança climática (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009).

Os impactos da mudança do clima serão sentidos diretamente (eventos relacionados ao clima e à elevação do nível do mar), indiretamente (através das consequências da redução do acesso às necessidades básicas, uma vez que infraestrutura crítica é danificada ou por meio da perda de empregos) e como perturbações de sistemas (implicações dos impactos nos preços globais das *commodities* ou na migração internacional). A adaptação, portanto, precisa se inserir para melhorar a vulnerabilidade causada por cada nível de impacto. No entanto, à medida que nos movemos das perturbações diretas e indiretas para as perturbações dos sistemas, os impactos das mudanças climáticas interagem com outros recursos do sistema, como política de desenvolvimento, demografia e normas culturais. Isso torna cada vez mais difícil identificar e comunicar as consequências da mudança climática de maneira isolada, de modo que a adaptação se torne um processo humano de desenvolvimento específico e mais genérico para a mudança climática (PELLING, 2011).

#### **4.4.1. Vulnerabilidade**

Os conceitos de impactos, vulnerabilidade e adaptação passaram a ter um grupo de trabalho específico após o 3º relatório do IPCC, publicado em 2001 (MCCARTHY, 2001). A ideia central da definição do IPCC, frequentemente citada, 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” (IPCC, 2014), trazendo uma visão ligeiramente negativa à definição. O conceito de vulnerabilidade é uma ferramenta poderosa para descrever suscetibilidade a danos, impotência e marginalidade em sistemas ecológicos e sociais, e também serve como guia para análises de redução de risco (ADGER, 2006).

O conceito de vulnerabilidade ainda não é único para especialistas, e é especialmente complicado para quem trabalha com mudanças climáticas, dado que é um campo de estudo de diversas especialidades e setores, e consequentemente com definições diversas de vulnerabilidade (FÜSSEL, 2007).

A abordagem da vulnerabilidade decorreu dos conceitos da escola risco-perigo (*risk-hazard*), desenvolvida na década de 1930 nos Estados Unidos (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016). Estas bases trazem algumas definições pertinentes até para os dias de hoje: o termo “perigo” se refere ao distúrbio natural de forma hipotética ou abstrata, uma ameaça em potencial à população; o termo “risco” indica a probabilidade deste distúrbio ocorrer; e o termo “desastre natural” indica quando o perigo se manifesta, resultando em impactos para os sistemas humanos (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016). É interessante notar que o conceito de desastre natural é sobretudo um conceito antropocêntrico, pois um distúrbio só será caracterizado como tal se representar um problema para sistemas humanos. O conceito começa a mudar na década de 70, quando cresce entre os cientistas a percepção que a ocorrência de desastres naturais era determinada por processos e condições socioeconômicas e político-institucionais internos aos seres humanos, levando à abordagem da vulnerabilidade (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016).

A linha de pesquisa da vulnerabilidade segue três linhas teóricas que transitam entre abordagens mais sociais e abordagens mais biofísicas. Para as abordagens sociais, a vulnerabilidade pode ser estudada independentemente do distúrbio ambiental, pois esta decorre das características socioeconômicas e político-institucionais intrínsecas à população no momento estudado (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ADGER, 2006). No outro extremo, as linhas da vulnerabilidade biofísica defendem que o distúrbio natural ou biofísico é essencial para o conceito, pois é resultado da interação de um lugar/população com um fator de exposição específico, tais como secas, enchentes, avalanches (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ADGER, 2006). Por fim, há também abordagens híbridas, nas quais as vulnerabilidades social e biofísica são integradas, e é a que será doravante utilizada neste estudo.

A vulnerabilidade é mais frequentemente conceituada como sendo constituída por componentes que incluem exposição, sensibilidade a perturbações ou tensões externas, e capacidade de adaptação em uma determinada unidade de exposição ou unidade adaptativa, que podem variar desde países até lugares ou regiões político administrativas (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ADGER,

2006). Exposição é a natureza e o grau em que um sistema experimenta estresse ambiental ou sócio-político, incluindo sua magnitude, frequência, duração e extensão do risco – ou seja, o conceito representa fatores externos ao sistema, dizendo respeito à fonte de perturbação (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; LINDOSO, 2013; ADGER, 2006). A sensibilidade é o grau em que um sistema é modificado ou afetado por perturbações, direta ou indiretamente – ou seja, nos dá características internas da unidade de exposição, o quanto ela é mais ou menos suscetível a um determinado estímulo (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ADGER, 2006). A sensibilidade também muda entre os subgrupos dentro da unidade adaptativa, como por exemplo a maior sensibilidade de um grupo de idosos ao calor quando comparado a um grupo de jovens (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016). A capacidade adaptativa é a capacidade pré-existente a um distúrbio de um sistema evoluir para acomodar os riscos ambientais ou a mudança de política e para expandir a faixa de variabilidade com a qual ele pode lidar, moderando danos ou reduzindo impactos das mudanças climáticas (ADGER, 2006). Os conceitos utilizados neste estudo são os exemplificados na *Tabela 1*. Exemplos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa em subsistemas ecológicos e sociais. Retirado de Lindoso, 2013. em um determinado sistema socioecológico.

*Tabela 1.* Exemplos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa em subsistemas ecológicos e sociais. Retirado de Lindoso, 2013.

	<b>Sistema Socioecológico</b>	
	<b>Subsistema Ecológico</b>	<b>Subsistema Social</b>
<b>Exposição</b> Vetores externos à unidade expositiva provocam estresse ou impactos	<i>Climáticos</i> (e.g. secas, ondas de calor), <i>Tectônicos</i> (e.g. terremotos, tsunamis), <i>Biológicos</i> (doenças)	Econômicos (e.g. globalização); Social (e.g. guerras); Tecnológico (e.g. energia nuclear)
<b>Sensibilidade</b> Características internas à unidade de exposição que determinam a propensão a ser afetada pelo vetor de exposição	Topografia, tipo de solo	Idade, gênero
<b>Capacidade Adaptativa</b> Conjunto de opções adaptativas e meios para transitar entre as opções	Recursos naturais (e.g. fonte de água, fonte de alimento silvestres)	Institucional (e.g. organização social), Informacional (e.g. educação, meios de comunicação); Tecnológica

A vulnerabilidade é determinada não apenas pelas respostas prováveis dos recursos dos quais os indivíduos dependem, mas também pela disponibilidade de recursos, pelo status social de indivíduos ou famílias dentro de uma comunidade e, crucialmente, pelo direito de indivíduos e grupos de invocar esses recursos (ADGER e KELLY, 1999). A adaptação à vulnerabilidade também é amplamente afetada por fatores sociais, econômicos e institucionais, como sistema de posse da terra, nível de irrigação, disponibilidade de crédito barato, entre outros (NATH e BEHERA, 2011). Mesmo dentro de um setor como a agricultura, o grau de vulnerabilidade varia porque sua adaptação a múltiplos estresses difere, e depende de fatores como propriedade de bens, como terra, gado, conjuntos de bombas e implementos agrícolas, juntamente com o nível de educação, rede social, o que explica essas diferenças intra-setoriais na adaptação à vulnerabilidade em uma região específica (ACOSTA-MICHLIK, KELKAR e SHARMA, 2008). Para alguns autores, a análise de vulnerabilidade também é associada ao conceito de direitos (*entitlements*), refletindo a disponibilidade de recursos e condições de acesso a arranjos institucionais e/ou recursos individuais (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ADGER, 2006; ADGER e KELLY, 1999).

Aumentar a desigualdade ao longo do tempo dentro de uma população, ou entre diferentes partes da população, aumenta a vulnerabilidade coletiva à mudança climática. A desigualdade afeta diretamente a vulnerabilidade ao restringir as opções de domicílios e indivíduos diante de um choque externo; e indiretamente através de suas ligações com a pobreza e outros fatores (ADGER e KELLY, 1999).

A compreensão interdisciplinar entre a vulnerabilidade e a resiliência evidencia a natureza coevolutiva dos sistemas sociais e naturais - os ecossistemas e as sociedades resilientes podem lidar melhor com os estresses externos físicos e sociopolíticos (ADGER, 2006). A redução da vulnerabilidade das famílias e comunidades às mudanças climáticas foi identificada como uma resposta chave tanto pela mudança climática quanto pelas comunidades de redução do risco de desastres (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009; SCHIPPER e PELLING, 2006). As abordagens de vulnerabilidade podem abordar diretamente os riscos físicos das mudanças climáticas por meio de intervenções tecnológicas, como ajustes na infraestrutura ou novas variedades de sementes. Eles também podem abordar os

fatores subjacentes e sistêmicos que contribuem para a vulnerabilidade em primeiro lugar, como as leis de posse da terra, o acesso desigual a mercados ou crédito, ou a falta de redes de segurança social. Finalmente, as abordagens de vulnerabilidade geralmente se concentram em melhorar a capacidade de adaptação, melhorando o acesso à educação, recursos financeiros, informações como previsões climáticas sazonais ou diversificando os meios de subsistência. Juntas, todas essas estratégias podem ajudar a aumentar os limites em que as mudanças climáticas criam resultados negativos. A própria redução da vulnerabilidade pode ser considerada uma resposta adaptativa às mudanças climáticas, dado que a capacidade adaptativa é inversamente proporcional à vulnerabilidade (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009).

Há na comunidade científica várias tentativas de medição da vulnerabilidade e capacidade adaptativa, assim como a criação de indicadores diversos (LINDOSO, ROCHA, *et al.*, 2014; VINCENT, 2007; PINTER, HARDI e BARTELMUS, 2005; LIGON e SCHECHTER, 2003). A melhoria dos indicadores utilizados para avaliar a vulnerabilidade dos sistemas humanos e sua capacidade de responder às mudanças climáticas é uma resposta às demandas crescentes dos tomadores de decisão por informações regulares com alta resolução espacial e temporal. A aplicação esperada é identificar áreas com maior exposição ou menor capacidade adaptativa, a fim de abordar os esforços de adaptação (LINDOSO, ROCHA, *et al.*, 2014; SMIT e WANDEL, 2006)

Medidas que buscam abordar apenas a mudança climática sem abordar questões como emigração, falta de emprego e mudanças demográficas são muito improváveis de ter resultados bem-sucedidos. As políticas de adaptação às mudanças climáticas precisam ser formuladas para abordar os múltiplos problemas enfrentados pelas comunidades e se baseiem no entendimento das condições e vulnerabilidades socioeconômicas locais (NATH e BEHERA, 2011). Dessa forma, as medidas de adaptação podem se alinhar às condições, recursos e necessidades locais (BARRETT e BOSAK, 2018).

Vários autores ligam o desenvolvimento e redução da pobreza com melhoria dos níveis de vulnerabilidade da população, porque a pobreza pode estar

diretamente relacionada à marginalização e falta de acesso a recursos que são críticos quando confrontados com o risco de perigos e a resultante pressão sobre os meios de subsistência (LEMOS, LO, *et al.*, 2016; AGRAWAL e LEMOS, 2015; LEMOS, BOYD, *et al.*, 2007; IPCC, 2014; ADGER e KELLY, 1999). Entretanto, pobreza não necessariamente leva a uma maior vulnerabilidade – o que dá o fator de vulnerabilidade é a inter-relação de todos os fatores sociais, econômicos, políticos da unidade analisada (ADGER, HUQ, *et al.*, 2003; AGRAWAL e LEMOS, 2015). A pobreza afeta a vulnerabilidade através das expectativas dos indivíduos sobre os impactos dos perigos e sua capacidade de investir para aliviar os riscos. Também afeta o enfrentamento e a recuperação de eventos extremos, limitando diretamente as oportunidades de enfrentamento e reduzindo a resiliência aos impactos (ADGER e KELLY, 1999).

Os efeitos das mudanças climáticas são tão abrangentes que exigem um esforço integrado de indivíduos e organizações governamentais, não governamentais e privadas para ter estrutura para lidar com isso. A necessidade de uma abordagem coesa e íntima das partes interessadas é muito importante nos países subdesenvolvidos, onde a falta de recursos é um grande obstáculo no caminho da adaptação. Na prática, especialmente em regiões menos desenvolvidas, desenvolver e construir esta capacidade requer uma combinação de intervenções que aborde não apenas os riscos relacionados ao clima, mas também os déficits estruturais (por exemplo, falta de renda, educação, saúde, poder político) que moldam a vulnerabilidade (LEMOS, LO, *et al.*, 2016; AGRAWAL e LEMOS, 2015; LEMOS, BOYD, *et al.*, 2007). Nesse cenário, a sociedade civil tem um papel especial a desempenhar: o papel de força motriz para levar os governos a implementar políticas ambientais, pode criar conscientização, organizar protestos e pressionar o governo local (NATH e BEHERA, 2011).

A autossuficiência, as conexões ao local de vivência, a coesão social e o senso de comunidade são temas valiosos na formação de estruturas sociais sobre a resposta às mudanças climáticas e devem ser incorporados a entendimentos ampliados de vulnerabilidade e esforços de adaptação relacionados. A compreensão de fatores em escala local, como capital social, vinculação de lugares e acesso a recursos que melhorem a capacidade adaptativa reduzirá a probabilidade de



intervenções governamentais ou de organizações não governamentais que levam à má adaptação (BARRETT e BOSAK, 2018).

#### 4.4.2. Resiliência

Resiliência é definida no IPCC como “a capacidade dos sistemas sociais, econômicos e ambientais de lidar com um evento perigoso ou tendência ou perturbação, respondendo ou se reorganizando de maneiras que mantenham sua função, identidade e estrutura essenciais, mantendo ao mesmo tempo a capacidade de adaptação, aprendizado e transformação” (IPCC, 2014). No contexto de sistemas sócio ecológicos, a resiliência refere-se à magnitude da perturbação que pode ser absorvida antes de um sistema mudar para um estado radicalmente diferente, bem como à capacidade de se auto organizar e a capacidade de adaptação a circunstâncias emergentes.

Um sistema social-ecológico vulnerável perdeu a sua resiliência. Perder a resiliência implica em perda de adaptabilidade. A adaptabilidade não implica apenas capacidade adaptativa para responder dentro do domínio social, mas também para responder e moldar a dinâmica do ecossistema e mudar de uma maneira informada (FOLKE, 2006). A perda de resiliência em comunidades as torna cada vez mais vulneráveis aos impactos climáticos.

Apreciando a interação entre mudanças abruptas e fontes de resiliência, nota-se que a resiliência de sistemas adaptativos complexos não é simplesmente a resistência à mudança e a conservação de estruturas existentes (FOLKE, 2006). A resiliência também é sobre as oportunidades relacionadas à recombinação de estruturas e à evolução de processos, à renovação do sistema e ao surgimento de novas trajetórias. Nesse sentido, a resiliência fornece capacidade adaptativa (SMIT e WANDEL, 2006) que permite o desenvolvimento contínuo, como uma interação adaptativa dinâmica entre sustentar e se desenvolver com as mudanças (FOLKE, 2006).

Seis princípios gerais de resiliência foram formulados: homeostase (múltiplos ciclos de retroalimentação estabilizam o sistema); onivoria (o choque



externo é mitigado pela diversificação de recursos e meios); alto fluxo (uma rápida taxa de movimentação de recursos através do sistema garante a rápida mobilização desses recursos para lidar com a perturbação); planicidade (o nível hierárquico relativo à base não deve ser sobrecarregado, os sistemas excessivamente hierárquicos são menos flexíveis e, portanto, menos capazes de lidar com a surpresa e ajustar o comportamento); amortecimento (sistemas com capacidade acima de sua necessidade são mais resilientes); e redundância (funções sobrepostas, se uma falhar, outras podem assumir) (DESSAI e SLUIJS, 2007).

Trabalhar com a ideia de resiliência e, especialmente, os esforços que buscam medi-la são dificultados devido ao seu caráter multifacetado. Os processos e pressões que determinam a resiliência para uma unidade de avaliação mudam com escala espacial, temporal e social - uma comunidade pode ser resiliente ao risco de furacões associado às mudanças climáticas (por meio de alerta precoce e evacuação, por exemplo) mas menos resiliente às inflexões de longo prazo das mudanças climáticas com a economia local e global (PELLING, 2011).

#### **4.4.3. Adaptação**

Na agenda climática, a adaptação é um tema historicamente secundário em relação à mitigação, ganhando expressão significativa apenas a partir de meados da década de 2000. Como noção, entrou na pauta científica no século XIX e seguiu uma longa trajetória até ganhar espaço na pauta política climática no século XXI.

A noção de adaptação vem do campo das ciências biológicas, após a teoria da evolução pela seleção natural, apresentada por Charles Darwin (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ENGLE, 2011). O conceito foi apropriado em diversos campos e pesquisas ao longo do tempo, mas foi na antropologia que a noção de adaptação recebeu uma abordagem amoral, na qual foi empregada como um conceito explicativo para descrever a evolução cultura-ambiente de uma população, trazendo a adaptação como um ajuste cultural. Foi pela apropriação do conceito de adaptação antropológica que a noção entrou em contato com a abordagem da vulnerabilidade, resultando em um desenvolvimento conjunto e em uma

incorporação dos conceitos no campo de pesquisa das mudanças climáticas (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ENGLE, 2011).

O conceito de adaptação vem da tradição antropológica, mas segue como uma linha teórica distinta. A noção de adaptação da ecologia política soma-se às abordagens da geografia (vulnerabilidade) e da ecologia (resiliência) para configurar nas últimas décadas do século XX um campo de pesquisa interdisciplinar referido como pesquisa sobre impactos, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016; ENGLE, 2011). Ademais, o conceito também se liga ao campo da política, pois a produção de conhecimento se guia não somente pelo seu valor científico, mas também pela relevância da informação como subsídio à tomada de decisão adaptativa (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016).

Adaptação pode ser definida como “o processo de ajuste ao clima real ou esperado e seus efeitos. Nos sistemas humanos, a adaptação procura moderar ou evitar danos ou explorar oportunidades benéficas” (IPCC, 2014). Adaptação normalmente se refere, no contexto de mudanças climáticas, a um processo, ação, condição ou resultado em um sistema (casas, comunidades, grupos, setores, regiões, países), antecipatória ou reativa, que reduz sensibilidades ou auxilia o sistema a estar melhor preparado para lidar, administrar ou se ajustar a alguma transformação (LINDOSO, 2013; SMIT e WANDEL, 2006).

Para muitas regiões e setores, as capacidades aprimoradas de adaptação fazem parte da base essencial para o gerenciamento dos riscos das mudanças climáticas (IPCC, 2014). Desenvolver capacidade adaptativa, ou seja, melhorar a capacidade de indivíduos, empresas e estados de responder e reduzir sua vulnerabilidade às mudanças climáticas, emergiu como um elemento central na adaptação às mudanças climáticas (LEMOS, BOYD, *et al.*, 2007).

De forma semelhante à abordagem da vulnerabilidade, há uma diversidade de definições para adaptação e não há consenso sobre a definição (assim como não há consenso sobre a definição de desenvolvimento sustentável), porém todas compartilham a mesma noção de ajuste ao clima em modificação (LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016). O cerne das tentativas de definição se foca em quatro

questões *ao que* se adaptar, *quem* ou *o que* se adapta, *como* ocorre a adaptação, e quais seriam os *limites* desta adaptação (PELLING, 2011).

Do ponto de vista analítico, várias tipologias têm sido propostas para classificar o processo adaptativo e as estratégias de adaptação, tomando por referência sua natureza, duração, intencionalidade, agência, momento em que ocorre em relação ao estímulo, forma, entre outras (LINDOSO, 2015; LINDOSO, 2013; SMIT e WANDEL, 2006; SMIT, BURTON, *et al.*, 2000). Nem sempre é óbvio ou fácil incluir uma estratégia adaptativa em uma única tipologia ou distinguir a quantas tipologias ela pertence. As categorias apresentadas acima são artificiais, mas úteis na organização das ideias e como norteador da análise, especialmente quando é necessário ponderar o potencial de cada estratégia em reduzir vulnerabilidades (LINDOSO, 2015).

Quanto ao momento (*timing*) em que ocorre *em relação ao estímulo climático*, a adaptação pode ser classificada como antecipatória (proativa ou *ex-ante*), coetânea (concorrente ou simultânea) ou responsiva (reativa ou *ex-post*). Contudo, em algumas situações, essa distinção não é tão clara, como no caso do produtor que faz ajustes em seu sistema agrícola após vivenciar anos consecutivos de seca (adaptação responsiva), tendo por objetivo estar mais bem preparado para condições semelhantes no futuro (adaptação antecipatória) (LINDOSO, 2015; ENGLE, 2011; SMIT, BURTON, *et al.*, 2000).

As adaptações também podem ser classificadas quanto à *duração* ou *escopo temporal*. Neste contexto, são classificadas como de *curto prazo* (*táticas*) ou de *longo prazo* (*estratégicas*). A primeira consiste em acomodar os impactos de um determinado estímulo climático, enquanto a segunda refere-se a ajustes estruturais nos sistemas, buscando torná-los menos vulneráveis a distúrbios futuros (LINDOSO, 2015; SMIT e SKINNER, 2002).

A adaptação também pode ser classificada segundo sua *intencionalidade*: se planejada (*intencional* ou *ativa*) ou se espontânea (*autônoma* ou *passiva*). Adaptações planejadas são ações empreendidas com o intuito explícito de tornar os sistemas menos vulneráveis ao clima. São geralmente associadas à ação governamental por meio de políticas públicas específicas. Já adaptações

espontâneas ou autônomas são aquelas nas quais a adaptação é um subproduto colateral de uma ação visando outro objetivo. Alguns autores diferenciam a adaptação segundo a esfera à qual o agente da adaptação pertence (pública ou privada) e segundo a escala espacial da adaptação (i.e. localizada ou ampla) (LINDOSO, 2015; SMIT e SKINNER, 2002).

A adaptação também tem sido caracterizada de acordo com a *natureza* ou *forma* de ação (tecnológica, comportamental, financeira, institucional ou informacional), o ator de interesse (individual, coleção), a escala do ator (local, nacional, internacional) e setor social (governo, sociedade civil, setor privado); e os custos e a facilidade de implementação (LINDOSO, 2015; SMIT, BURTON, *et al.*, 2000; ENGLE, 2011).

As respostas de adaptação são sustentadas por fatores capacitantes comuns, que incluem instituições e governança eficazes, inovação e investimentos em tecnologias e infraestrutura ambientalmente saudáveis, meios de subsistência sustentáveis e escolhas comportamentais e de estilo de vida (IPCC, 2014; DI GIULIO, MARTINS e LEMOS, 2016). Geralmente são classificadas como políticas de baixo ou de não arrependimento (“*no regret policies*”), pois são soluções muitas vezes baratas, flexíveis, integradoras e rentáveis para aumentar a resiliência de populações e ambientes, e/ou que não representam perdas mesmo em casos de não cumprimento das expectativas com relação ao clima. Geralmente essas políticas estão ligadas a questões sociais de igualdade.

Cinner *et al* (2018) propuseram uma abordagem para construir capacidade adaptativa em cinco domínios: os ativos em que as pessoas podem recorrer em momentos de necessidade; a flexibilidade para mudar estratégias; a capacidade de organizar e agir coletivamente; aprender a reconhecer e responder a mudanças; e a agência para determinar se deve mudar ou não.

Ativos são os recursos financeiros, tecnológicos e de serviços (por exemplo, assistência médica) aos quais as pessoas têm acesso, pois as pessoas geralmente são mais capazes de se adaptar quando têm recursos para usar durante os períodos de mudança. Entretanto, os investimentos em bens públicos podem não alcançar os mais vulneráveis se certos mecanismos sociais (como sistemas de castas,

desigualdade de gênero etc.) impedem que algumas pessoas acessem os benefícios (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018).

O domínio da flexibilidade da capacidade adaptativa reflete as oportunidades de alternar entre as estratégias de adaptação e capta a diversidade das possíveis opções de adaptação disponíveis. Organizações e indivíduos com mais flexibilidade são mais capazes de se adaptar aos impactos climáticos. A flexibilidade também implica a capacidade de mudar para diferentes setores ocupacionais, temporária ou permanentemente, em resposta aos impactos das mudanças climáticas. Em uma escala maior, a flexibilidade de organizações e instituições para ajustar regras, limites, parceiros e membros ajuda a administrar choques e perturbações associadas à mudança climática. Na escala individual, remover as barreiras sociais e legais que podem restringir as principais ações de adaptação, como a mudança para novas artes de pesca, poderia promover a flexibilidade (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018)

A organização social é o domínio da capacidade adaptativa que capta os modos pelos quais a sociedade é organizada para permitir (ou inibir) a cooperação, a ação coletiva e o compartilhamento de conhecimento. Relações formais e informais entre indivíduos, comunidades e organizações podem ajudar as pessoas a lidar com mudanças, fornecendo apoio social e acesso a conhecimento e recursos. A confiança e a coesão social dentro das comunidades (chamadas de capital social vinculado) podem desempenhar um papel fundamental no fato de as pessoas apoiarem-se mutuamente em tempos de crise ou concordarem com uma ação coordenada para enfrentar as ameaças induzidas pelo clima. Construir conexões entre comunidades (unindo capital social) pode ajudar a garantir acesso a recursos, informações científicas e inovações tecnológicas que facilitam a adaptação (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018).

A aprendizagem reflete a capacidade das pessoas de gerar, absorver e processar novas informações sobre mudança climática, opções de adaptação e formas de conviver e administrar a incerteza. A aprendizagem ocorre dentro e através de múltiplas escalas organizacionais, espaciais e temporais, podendo

envolver o apoio à educação formal, bem como fóruns informais de aprendizagem ou reuniões comunitárias (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018).

A adaptação efetiva às mudanças ambientais não apenas exige que as pessoas tenham ativos, flexibilidade, aprendizado e organização social, mas também que tenham o poder e a liberdade de mobilizar esses componentes de capacidade adaptativa para moldar ativamente seu futuro. Agência, o quinto domínio de capacidade adaptativa, geralmente se refere à capacidade das pessoas - individual ou coletivamente - de ter livre escolha para responder às mudanças ambientais. Depende da crença das pessoas em sua própria capacidade de realizar e gerenciar situações prospectivas e controlar os eventos que as afetam, abrangendo aspectos de empoderamento, motivação e cognição. A agência desempenha um papel fundamental na ativação dos outros domínios da capacidade adaptativa, pois as pessoas têm pouco incentivo para se adaptar, a menos que acreditem que suas ações podem produzir resultados desejados ou evitar resultados indesejados. Como tal, a agência é a base para criar visões de futuros alternativos quando mudanças em larga escala são necessárias (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018).

Embora haja reconhecimento de que as adaptações podem ocorrer espontânea e individualmente como atores econômicos particulares percebem e respondem aos estresses climáticos (SMIT e SKINNER, 2002), o discurso internacional sobre mudança climática global também traz uma expectativa lógica de ação específica planejada do Estado. Espera-se que os Estados não apenas reduzam sua contribuição aos gases de efeito estufa, mas também melhorem sua capacidade e a de seus cidadãos para se adaptarem às mudanças climáticas. Este apelo por intervenções políticas nacionais direcionadas para abordar a vulnerabilidade climática dentro das fronteiras nacionais está inserido em um discurso maior que enfatiza a necessidade de melhores instituições, incentivos de mercado e mecanismos regulatórios em nível global para enfrentar o desafio das mudanças climáticas, trabalhando uma sinergia entre as iniciativas de mudança do clima com outras metas e políticas socioeconômicas (NATH e BEHERA, 2011; EAKIN e LEMOS, 2006). O governo nos países em desenvolvimento, no entanto, muitas vezes está preocupado com outras questões socioeconômicas e está relutante em questões de mudança climática.

Embora as exposições, as sensibilidades e as capacidades de adaptação sejam evidentes em nível comunitário ou local, elas refletem forças ou determinantes mais amplos que moldam ou influenciam vulnerabilidades em nível local (SMIT e WANDEL, 2006). Uma característica fundamental deste campo é a demonstração de como a capacidade adaptativa de indivíduos ou famílias é moldada e restringida por processos sociais, políticos e econômicos em escalas mais altas (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009). Os governos têm um papel essencial na condução da sociedade em direção a resultados de longo prazo. Os principais objetivos da política pública de adaptação às mudanças climáticas, portanto, parecem ser (1) proteger as populações vulneráveis, reduzindo sua vulnerabilidade e exposição ao risco; (2) fornecer informações para planejar e estimular a adaptação e (3) proteger bens públicos importantes (como a conservação da natureza), bem como fornecer bens públicos, como segurança e proteção humana (como defesa costeira e alertas precoces de extrema importância) (ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009).

No nível local, os impactos podem ser modulados por intervenções estatais, bem como por meio de ações de comunidades, indivíduos, ONGs e do setor privado (LEMOS, BOYD, *et al.*, 2007; ADGER e KELLY, 1999). As sociedades civis e as ONGs podem desempenhar um papel fundamental não só na criação de consciência social sobre a mudança climática, mas exercendo pressão sobre o governo para agir de forma construtiva (NATH e BEHERA, 2011).

A adaptação às mudanças climáticas implica a interação de tomadores de decisão, atores e instituições em diferentes escalas de governo, do local ao nacional, trazendo grande complexidade para o campo de estudo (ADGER, HUQ, *et al.*, 2003). Especular sobre o que as responsabilidades de atores específicos podem ser se torna mais complexo pelo fato de que a capacidade de adaptação de qualquer sistema em particular é um produto das interações e negociações de poder dentro e entre estados-nações, sociedade civil, empresas, instituições internacionais, entre diferentes grupos da mesma sociedade, além de ter influência de aspectos sociais, culturais, de percepção de risco, entre outros (EAKIN e LEMOS, 2006).



No contexto do debate sobre as mudanças climáticas, o propósito da adaptação é frequentemente visto como reduzir a vulnerabilidade ou aumentar a resiliência às mudanças climáticas e à variabilidade climática (IPCC, 2014; ADGER, DESSAI, *et al.*, 2009). Entretanto, algumas respostas de curto prazo às mudanças climáticas também podem limitar as escolhas futuras, trazendo a necessidade de integração de estratégias adaptativas ao planejamento, incluindo a formulação de políticas e a tomada de decisões. Há ainda grande necessidade de estudos que analisem benefícios significativos, sinergias e *trade-offs*, ainda mais levando-se em conta que as opções de adaptação diferem entre setores e regiões, e os complexos feedbacks entre os seus componentes (IPCC, 2014).

Uma questão para a análise de trade-off é se a construção de domínios específicos de capacidade adaptativa pode, na verdade, expulsar ou minar outros domínios (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018). A “má adaptação” (*maladaptation*) é resultado de uma política ou de uma medida adaptativa intencional que, ao ser implementada, aumenta a vulnerabilidade de determinados grupos sociais (que podem ser o próprio público alvo de tais medidas, ou atores externos). Idealmente, busca-se reduzir riscos assegurando o bem-estar dos indivíduos, fortalecendo a capacidade adaptativa dos mais pobres e focando nas causas de suas vulnerabilidades (DI GIULIO, MARTINS e LEMOS, 2016). Outra fronteira envolve uma melhor compreensão dos principais vínculos e feedbacks, pois ocorrem entre escalas, entre domínios de capacidade adaptativa e entre dinâmicas sociais e ecológicas, tornando a predição de resultados algo complicado (CINNER, ADGER, *et al.*, 2018; ADGER, LORENZONI e O'BRIEN, 2009).

Embora a capacidade total de um sistema para se adaptar possa não ser aparente até que o sistema enfrente desafios diretos à sua existência, indicadores para capacidade adaptativa foram propostos para facilitar uma avaliação do grau em que diferentes sistemas se ajustarão a mudanças futuras. Em resumo, a capacidade adaptativa foi descrita em termos de resiliência, robustez, flexibilidade, estabilidade, limiares de tolerância e amplitude de enfrentamento de um sistema. Em termos mais concretos, uma série de características do sistema relativas a elementos físicos (infraestrutura, riqueza material, acesso a informação e tecnologia) e elementos sociais/institucionais (capital humano, legitimidade política, força institucional,



organização e capital social) foram propostas como contribuintes críticos para a capacidade adaptativa, além da consideração de que é um conceito dinâmico, influenciado por decisões tomadas no passado com relação a riscos futuros e incertezas (EAKIN e LEMOS, 2006; SMIT, BURTON, *et al.*, 2000). Mas o alto nível de generalidade desses determinantes traz dificuldades para auxiliar na definição de políticas específicas para aumentar a capacidade adaptativa aos impactos climáticos (LEMOS, LO, *et al.*, 2016).

A complexidade da intersecção de fatores e determinantes e as limitações nos estudos sobre capacidade adaptativa têm motivado a proposição de novas abordagens teórico-analíticas que buscam, a partir de uma releitura sobre resiliência e desenvolvimento sustentável, contribuir para o entendimento sobre o potencial de mudar para um estado mais desejável frente aos impactos e riscos às mudanças climáticas, como os conceitos de “capacidade de adaptação”, “adaptação sustentável”, e “barreiras adaptativas” (DI GIULIO, MARTINS e LEMOS, 2016). Essas novas abordagens trazem novas luzes sobre como implementar e operacionalizar os conceitos trazidos por esse estudo.

A capacidade de adaptação é definida por um conceito dinâmico, influenciado por decisões feitas no passado com relação a um risco futuro e incerto. Existem duas formas de capacidade de adaptação à mudança global: aquelas associadas a metas fundamentais de desenvolvimento humano (capacidade genérica) e aquelas necessárias para gerenciar e reduzir ameaças climáticas específicas para responder e gerir um risco climático identificado (capacidade específica) (EAKIN, LEMOS e NELSON, 2014; LEMOS, LO, *et al.*, 2016; DI GIULIO, MARTINS e LEMOS, 2016). Por um lado, um mínimo de capacidade genérica é necessário para apoiar a gestão de risco (capacidade específica) e, por outro, se os níveis de capacidade genérica fossem muito baixos, os sistemas poderiam ficar presos em um ciclo vicioso de exposição e sensibilidade (LEMOS, LO, *et al.*, 2016). Nessa perspectiva teórico-analítica, o desafio é compreender as sinergias entre capacidades genéricas e específicas e como elas tendem a facilitar tanto a capacidade adaptativa de um sistema, como o próprio processo de gerenciamento dos riscos associados às mudanças climáticas (DI GIULIO, MARTINS e LEMOS, 2016).

Adaptação sustentável pode ser definida como uma possibilidade que envolve medidas que contribuem tanto para a equidade social como para a integridade ambiental – dois pilares do desenvolvimento sustentável (DI GIULIO, MARTINS e LEMOS, 2016). Indo além do modelo de adaptação sustentável, Agrawal e Lemos (2015) propõem um novo paradigma – Desenvolvimento Adaptativo – que coloca a gestão do risco climático como foco prioritário das ações governamentais (AGRAWAL e LEMOS, 2015). No novo paradigma proposto, Desenvolvimento Adaptativo mitiga riscos associados às mudanças climáticas sem influenciar negativamente o bem-estar de indivíduos e ecossistemas, buscando focar na adaptação enquanto reforça a importância de crescimento, equidade e sustentabilidade e enfatiza a necessidade de mitigação dos riscos (DI GIULIO, MARTINS e LEMOS, 2016; AGRAWAL e LEMOS, 2015).

Arnell *et al* falam em barreiras para a implementação de estratégias adaptativas, ao invés de capacidades (ARNELL e CHARLTON, 2009). As barreiras podem ser divididas entre barreiras genéricas (se aplicam ao desafio adaptativo) ou específicas (se aplicam às opções individuais).

Existem cinco barreiras genéricas. A primeira diz respeito à identificação e reconhecimento da necessidade de adaptação. O segundo influencia até que ponto a necessidade de adaptação pode ser especificada em termos que informam as decisões de adaptação (“a necessidade por ações adaptativas pode ser definida?”). Uma terceira barreira genérica potencial é a identificação e identificação de opções de adaptação viáveis. As duas barreiras genéricas finais limitam a capacidade de uma organização de adaptação em primeiro lugar avaliar as opções potenciais e, em segundo lugar, selecionar e monitorar uma estratégia. A avaliação e a seleção exigem que as organizações tenham procedimentos para articular conhecimento e codificar práticas e para monitorar o feedback (ARNELL e CHARLTON, 2009).

Existem quatro tipos de barreiras específicas relacionadas às opções individuais de adaptação: físicas, financeiras, restrições sociopolíticas, e fatores institucionais que limitam a adoção da opção adaptativa. Barreiras físicas são restrições no desempenho de uma opção de adaptação. Pode haver restrições técnicas, por exemplo, à quantidade de mudanças climáticas que uma medida

específica pode suportar. As barreiras financeiras referem-se não apenas ao custo absoluto de uma opção, mas também à capacidade da organização de levantar fundos para cobrir os custos; isso será uma função da riqueza da organização e seu acesso a recursos. As barreiras sócio-políticas incluem as atitudes e reações das partes interessadas, partes afetadas e grupos de pressão às opções individuais de adaptação. Finalmente, as características da organização individual podem afetar sua capacidade de implementar uma opção específica, e o contexto regulatório ou de mercado pode restringir escolhas específicas (ARNELL e CHARLTON, 2009).

O discurso em torno dos limites da adaptação é frequentemente construído em torno de três dimensões absolutas e objetivas - limites ecológicos e físicos, limites econômicos e limites tecnológicos (ADGER, DESSAI, *et al.*, 2009). Nesse tipo de discurso, os limites de adaptação tornam-se sinônimos de limiares, em que um limiar se refere a um estado sensível em sistemas ecológicos ou físicos, além do qual a mudança se torna irreversível. Além disso, os limites de adaptação também podem emergir das análises dos custos econômicos da adaptação ou das perspectivas de inovação tecnológica para adaptação (ADGER, DESSAI, *et al.*, 2009). Entretanto, mais frequentemente, a adaptação às mudanças climáticas é limitada pelos valores, percepções, processos e estruturas de poder dentro da sociedade (um limitante endógeno e específico do sistema socioecológico. O que pode ser um limite em uma sociedade pode não ser em outra, dependendo do ponto de vista ético, da ênfase colocada nas projeções científicas, das percepções de risco da sociedade e do quanto os lugares e culturas são valorizados (ADGER, DESSAI, *et al.*, 2009).

As decisões de adaptação dependem das percepções de risco mantidas pela sociedade, que podem atuar como fatores limitantes se a sociedade não acreditar que o risco é grande o suficiente para justificar a ação. Dada a desigual distribuição social e geográfica dos custos que provavelmente advêm da mitigação ou adaptação (e impactos aceitáveis ou "inevitáveis"), esta é também uma questão política. As noções de "risco aceitável" em relação à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos aparentemente variam dependendo das percepções individuais de perdas e ganhos, destacando os desafios normativos e éticos subjacentes para a definição de metas políticas de longo prazo (BROWN, 2018). Os limites para a

adaptação às mudanças climáticas quando enquadrados dessa forma são culturais, sociais e políticos (PELLING, 2011).

#### 4.5. Sistemas de coleta da água da chuva

A escassez de água e a necessidade de aumento do fornecimento de água não são as únicas razões que motivam municípios a impulsionar a instalação de sistemas de coleta de água da chuva (chamados de *Rainwater Harvesting System*, ou RWH). De fato, muitas vezes é adotada como uma medida complementar para reduzir a frequência dos picos de alto volume de escoamento urbano, diminuindo o risco de enchentes (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017). As demandas de uso múltiplo garantem um uso relativamente contínuo da água, maximizando assim a captura de chuva, criando espaço no tanque de armazenamento para os próximos eventos de chuva.

Nas áreas urbanas, a RWH consiste na concentração, coleta, armazenamento e tratamento de águas pluviais de telhados, terraços, pátios e outras superfícies de construção impermeáveis para uso no local. A água é normalmente usada para irrigação ou para usos não potáveis em ambientes internos, como vasos sanitários com descarga. Os componentes geralmente incluem uma bacia, um filtro para remover a fração inicial do escoamento do telhado, um tanque de armazenamento (também conhecido como cisterna) e uma bomba para suprir a demanda do sistema, como pode ser visto na Figura 3. Em alguns casos, a bomba pode ser omitida.

Quando o RWH é usado em conjunto com soluções baseadas em infiltração, o excesso de água dos sistemas (que gerariam escoamento de rua ou entrar na rede de esgoto) pode ser infiltrado para recarga de água subterrânea (DILLON, 2005), restaurando em parte a capacidade local de retenção de águas (BURNS, FLETCHER, *et al.*, 2012). Estudos recentes mostraram que as técnicas de infiltração acopladas com o RWH também podem ajudar a modificar o microclima urbano, aumentando o conteúdo de umidade e a evapotranspiração, mitigando o fenômeno da ilha de calor (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017).

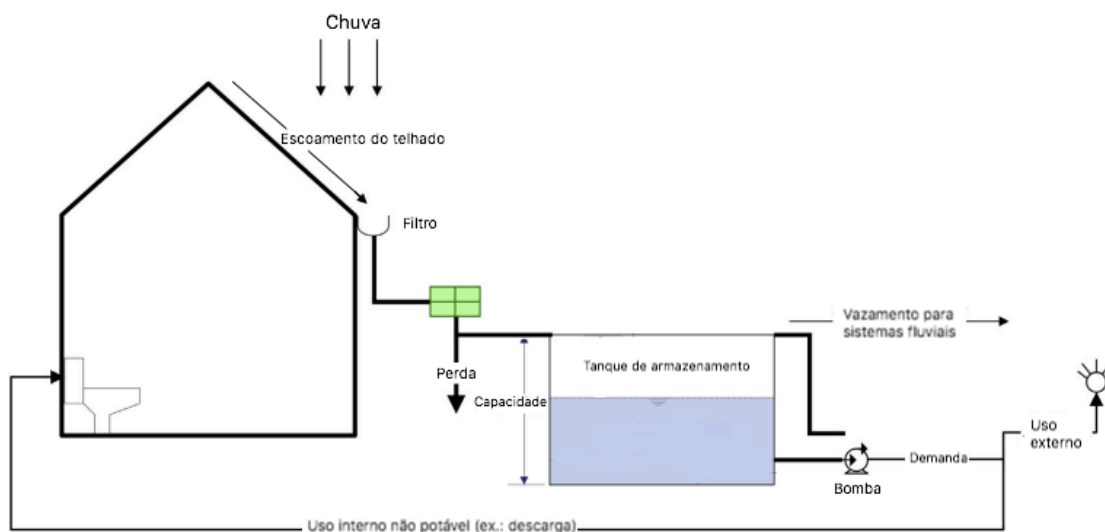


Figura 3. Esquema básico de um sistema de coleta de água da chuva (RWHS).

O uso disseminado de RWHS em áreas urbanas ainda é limitado, devido a razões econômicas, incluindo longos períodos de retorno de investimento. Os tempos de retorno dependem de diversas variáveis, que estão relacionadas a fatores locais, como o padrão de precipitação, os custos de instalação e manutenção do RWHS e os custos de água, energia e mão de obra. Além disso, como recurso comum, a água é frequentemente precificada abaixo do seu valor, o que inclui o custo de oportunidade de usos alternativos, custos de operação e manutenção, e externalidades ambientais e econômicas (LOUCKS e VAN BEEK, 2005). No entanto, áreas urbanas densamente povoadas em todo o mundo já enfrentam sérios problemas de escassez de água, e a aplicação de instrumentos econômicos de gerenciamento de água (isto é, tarifas de água) poderia mudar a viabilidade de alternativas como RWHS quando a água se torna mais cara (LOPES, MARQUES, *et al.*, 2017).

Apesar de se posicionar como uma solução viável para garantia de segurança hídrica para muitos, Kumar (2004) defende que os sistemas RWHS oferecem um grande potencial para casas independentes com grande área de cobertura, mas baixa viabilidade física para os estoques urbanos de grupos de baixa e média renda. As baixas taxas cobradas pelo abastecimento doméstico urbano

pelas empresas de água e os subsídios do governo para o RWHS apenas levariam a elite urbana a aumentar o seu acesso ao abastecimento de água, levando a maiores desigualdades sociais. Ao mesmo tempo, em áreas rurais com populações dispersas e áreas montanhosas, a RWHS pode ser economicamente viável como uma fonte suplementar para os esquemas já existentes de abastecimento público de água (KUMAR, 2004).

Há muitos estudos que avaliaram a viabilidade financeira dos sistemas RWH. Uma parcela significativa dos pesquisadores descobriu que os sistemas RWH não são financeiramente viáveis, dependendo da escala (ROEBUCK, OLTEAN-DUMBRAVA e TAIT, 2011; KUMAR, 2004). No entanto, em muitos casos, as diferenças na forma como os custos operacionais e de manutenção foram levados em consideração (por exemplo, substituição de bombas, fatura de eletricidade e limpeza do sistema de captação do telhado) levaram a conclusões controversas (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017; VIALLE, BUSSET, *et al.*, 2015). Além disso, a maioria das abordagens utilizadas são simplistas, pois não avaliam de forma holística todos os possíveis benefícios alcançáveis com os sistemas de RWH (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017). No Brasil, verificou-se que a RWH doméstica no estado de Santa Catarina seria economicamente viável para a maioria dos casos e que normalmente quanto maior a demanda de água da chuva, maior o retorno financeiro (GHISI e SCHONDERMARK, 2013).

As implicações do RWH para o consumo de energia são atualmente controversas. Alguns autores defendem que a água fornecida requereria maior utilização de energia para sua disponibilização (VIALLE, BUSSET, *et al.*, 2015; PARKES, KERSHAW, *et al.*, 2010). Outros indicam que isso é muito dependente do contexto e da tecnologia utilizada, ou até mesmo podem levar a uma diminuição do uso de energia (JIANG, LI e MA, 2013; ANGRILL, FARRENY, *et al.*, 2011). Isso depende de diversos fatores, como a posição do tanque de armazenamento, a necessidade de bombas para condução da água para utilização, eficiência e tecnologia empregada na bomba, entre outros.

O volume de água pluvial que pode ser aproveitado é, na maioria das vezes, menor que o volume precipitado em uma determinada área de captação. Isso ocorre

devido a perdas por absorção e evaporação, quando a água atinge a superfície de captação, e também pelo descarte inicial de cada precipitação (ROCHA, 2009; PALLA, GNECCO e LANZA, 2011). Este coeficiente de aproveitamento de águas nunca é, portanto, completamente eficiente (100%). Na literatura, considera-se que este coeficiente varia de acordo com o material da superfície de captação, mas é costumeiro que se utilizem valores entre 0,8 e 0,9 (ROCHA, 2009; GHISI, CORDOVA e ROCHA, 2009; KHASTAGIR e JAYASURIYA, 2010; ABDULLA e AL-SHAREEF, 2009; PALLA, GNECCO e LANZA, 2011).

Existe um número significativo de modelos e softwares especializados para analisar alternativas de abastecimento de água para usos urbanos e outros usos, conforme descrito por Morales-Pinzón *et al* (2015) e Campisano *et al* (2017). Os modelos levam em consideração estes diversos fatores (precipitação, tamanho do tanque, bomba, entre outros), e podem levar em consideração também futuras mudanças climáticas para definição das melhores alternativas para o cenário em questão.

Os desempenhos de um sistema de captação de águas pluviais serão impactados negativamente devido às condições de mudanças climáticas no futuro. Estima-se que a economia de água será reduzida de um sistema de captação de água da chuva no futuro (por exemplo, redução de 2% a 14% para o tanque de 3 kL para demanda interna de água) (HAQUE, RAHMAN e SAMALI, 2016). Além disso, é provável que o número de dias num ano para satisfazer a demanda de água por um sistema de recolha de água da chuva (isto é, fiabilidade) seja reduzido, e que a porcentagem de dias que um tanque de água pluvial permaneceria completamente vazio deverá aumentar no futuro (por exemplo, 12% nas condições climáticas futuras, em comparação com 8% nas condições históricas para a demanda interna de água) (HAQUE, RAHMAN e SAMALI, 2016).

As abordagens de design de tanques incluem métodos baseados no uso de relações empíricas, análise estocástica e simulação contínua de balanço de massa do entrada e saída de tanques (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017; SAMPLE e LIU, 2014; PALLA, GNECCO e LANZA, 2011; GHISI, 2010). O dimensionamento do tanque de água pluvial para casas deve ser realizado para cada situação específica,



ou seja, considerando chuvas locais, área de cobertura, demanda de água potável, demanda de água da chuva e número de moradores. Portanto, o dimensionamento de tanques de águas pluviais de acordo com a tradição local não é recomendado, pois pode incorrer em baixa eficiência (GHISI, 2010). Sistemas mais complexos podem incorporar o uso combinado do módulo RWH com outras instalações do sistema (por exemplo, sistemas de infiltração, jardins de chuva, células de bioretenção, etc.). Tais instalações podem permitir o gerenciamento de transbordamentos de tanques, primeiro desvio de descarga ou liberação de armazenamento duplo (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017).

Historicamente, um os desafios para a aceitação social da RWH (e o reaproveitamento mais amplo da água) concentraram-se na qualidade da água e percepção de risco à saúde. Apesar de diversas ressalvas e resistências no passado, atualmente se reconhece que a água da chuva é uma fonte aceitável de água não potável (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017). Na maioria dos casos estudados recentemente, os potenciais impactos ambientais dos sistemas RWH são menores do que aqueles produzidos pela água da torneira (MORALES-PINZÓN, RIERADEVALL, *et al.*, 2015; VIALLE, BUSSET, *et al.*, 2015).

A qualidade da água da chuva coletada depende em grande parte dos materiais usados para construir o sistema RWH e o ambiente em que está localizado. Fontes de poluentes no escoamento no telhado incluem precipitação (isto é, deposição úmida), deposição atmosférica (isto é, deposição a seco) e materiais utilizados na construção do telhado (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017). As opções potenciais de tratamento para sistemas de RWH incluem medidas de pré-armazenamento (telas de detritos e filtros e desvio de primeiro fluxo) e pós-armazenamento (filtração pós-armazenamento, clarificação e desinfecção). A maioria dos estudos sobre a qualidade da água da chuva colhida reconhece que o desvio do primeiro fluxo pode retardar o acúmulo de partículas e sedimentos dentro dos tanques de armazenamento, evitar problemas de odor e estética (por exemplo, coloração, matéria orgânica visível) e melhorar a qualidade geral da água (ABDULLA e AL-SHAREEF, 2009). Aponta-se que subtrair os primeiros 0,33 mm de precipitação da precipitação diária total melhoraria significativamente a qualidade da



água do telhado, recomendação que foi adotada para este estudo (KHASTAGIR e JAYASURIYA, 2010).

A manutenção frequente desses sistemas é extremamente importante para a saúde da população, pois melhoram a qualidade da água (ABDULLA e AL-SHAREEF, 2009). As tarefas que devem ser executadas regularmente incluem a limpeza da superfície de captação, calhas e tanque de armazenamento, filtros de limpeza, primeiros esvaziadores e telas de detritos e inspecionar o sistema quanto a possíveis pontos de entrada de mosquitos e vermes (CAMPISANO, BUTLER, *et al.*, 2017).

Sistemas descentralizados de abastecimento de água e saneamento, como os sistemas de captação de água da chuva, exigem um maior envolvimento dos cidadãos e, em contrapartida, reduzem o controle que as autoridades centrais e as empresas de abastecimento de água têm sobre os fluxos de água. Os residentes desempenham um papel central na implementação das políticas de coleta de águas pluviais, à medida que se tornam proprietários e gerentes dos sistemas (DOMÈNECH e SAURÍ, 2011). Esta descentralização é importante para o empoderamento de populações sobre sua própria água e sua situação de segurança hídrica.

#### **4.5.1. Programa de Cisternas no Nordeste brasileiro**

O processo histórico de desenvolvimento do Semiárido brasileiro é marcado por uma ação estatal autoritária, conhecida pela ênfase na construção de açudes, conjugada com ações emergenciais assistencialistas, como a distribuição de alimentos; pelo autoritarismo estatal na definição de alternativas a serem utilizadas para o combate à seca; e pela apropriação privada dos investimentos públicos por parte de oligarquias, gerando a concentração de poder econômico e político pelo controle do acesso à água e à terra (ASSIS, 2012). Entretanto, apesar das críticas às políticas de açudagem realizada em todo século XX, durante muito tempo essa foi a única forma de sustentar a vida nesta região, apesar de sujeitarem a população a manipulação política e eleitoral, e não promover a democratização da água (OLIVEIRA, 2013).

As primeiras cisternas de placas no Semiárido brasileiro começaram a serem construídas em pequena quantidade já no início da década de 1970, com apoio financeiro, quase sempre, de agências de cooperação internacional ou campanhas paroquiais (ASA, 2019b). A ação de construção de cisterna se somou à de outras tecnologias adaptadas à região, a exemplo dos barreiros trincheiras e das barragens subterrâneas, consolidando-se como alternativa concreta de acesso à água de beber e produzir alimentos. Entretanto, configurava-se como alternativa não difundida pela região.

Paralelo à atuação autoritária que levou a um desenvolvimento conservador do Semiárido, foram sendo desenvolvidas diversas experiências buscando novas formas de atuação da sociedade a partir dos anos 90. Os movimentos regionais, tais como de organizações de agricultores e trabalhadores rurais, ganham força nessa época, com base na efervescência de movimentos ligados ao meio ambiente, além do processo de redemocratização, aproximação do Estado com instâncias da sociedade civil, e disseminação de processos participativos (ASSIS, 2012).

Cresce nesse contexto a consciência de que a seca no Nordeste não demanda “soluções para combater”, mas, sim, iniciativas para “aprender a conviver”. A seca passa, portanto, a ser compreendida pela população do Semiárido como um problema manejável, cuja mitigação não mais depende necessariamente da ação estatal, mas da articulação de grupos locais e do desenvolvimento de tecnologias e conhecimentos específicos para esse fim (IRPAA, 2018; COSTA e DIAS, 2013)

O caráter de canalização das demandas para a esfera pública, realizado pelas organizações da sociedade civil do Semiárido, foi ressaltado pela realização da 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Seca (COP-3), realizada em 1999, em Recife-PE, em um contexto de seca na região (ASSIS, 2012). As organizações de sociedade civil que ali estavam presentes formaram a Articulação do Semiárido (ASA), a fim de fortalecer o Programa de Convivência com o Semiárido. A ASA é uma rede que defende, propaga e põe em prática, inclusive através de políticas públicas, o projeto político da convivência com o Semiárido, sendo formada por mais de três mil organizações da sociedade civil de distintas naturezas (ASA, 2018). Como fruto dos debates, foi

publicada a “Declaração do Semiárido”, na qual a construção de cisternas de placa para o armazenamento de água da chuva para consumo humano aparecia como uma proposta para convivência da população com a seca (ASSIS, 2012).

Lançado oficialmente por organizações da sociedade civil no ano de 1999, o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) iniciou-se como tal no governo de Fernando Henrique, e desde o ano de 2000 tem recebido aporte de recursos da União, mesmo que de forma periférica (ASA, 2019b; COSTA e DIAS, 2013). No ano de 2003, o MDS apoiou a construção de cisternas por meio da Ação Combate à Fome com Ações Voltadas para a Educação Alimentar e Melhoria das Condições Socioeconômicas das Famílias, que integravam o Programa Comunidade Ativa (TCU, 2006). Já no ano de 2004, o projeto construção de cisternas estava integrado à Ação Apoio a Projetos de Melhoria das Condições Socioeconômicas das Famílias, inserida no Programa Acesso à Alimentação (TCU, 2006). O Programa Cisternas posteriormente fez parte do programa governamental “Água Para Todos”, grande projeto governamental para democratização do acesso à água, com o nome de “Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais – Programa Cisternas”. Este programa guarda-chuva congrega projetos tais como o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), além de diversas outras iniciativas. Em 2005 a construção de cisternas passou a ter dotação orçamentária dentro do Orçamento Geral da União (OGU) (ASA, 2019b). Em 2007 a ação foi ampliada, e muitas famílias que já haviam acessado a cisterna de beber, chamada de “Primeira Água”, passaram a também acessar uma segunda tecnologia para produção de alimentos, ação denominada “Segunda Água”. Posteriormente, ampliou-se a ação de construção de cisternas para garantir água nas escolas rurais, ação denominada “Cisternas nas Escolas” (ASA, 2019b). Segundo dados oficiais de maio de 2017, são mais de 1 milhão de tecnologias de acesso à água, sendo 861,1 mil tecnologias de 1ª água, 141,2 mil tecnologias de 2ª água e 3.999 cisternas escolares (MDS, 2017)

O P1MC constitui hoje a principal política de investimentos públicos na implementação de tecnologia social (COSTA e DIAS, 2013). É uma política pública que objetiva implantar programa de convivência com o semiárido baseado em

processos e dinâmicas da cultura de estoque, atuar na perspectiva da educação contextualizada, promover a cidadania e o fortalecimento das entidades da sociedade civil, e atender a região semiárida nordestina, a partir de uma proposta de educação processual, que se operacionaliza em participação, mobilizações, reuniões, capacitações, engajamento, formação de agentes multiplicadores, das ações e habilidades propostas (ASA, 2018; SOARES JÚNIOR e LEITÃO, 2017). Além da construção de cisternas, o P1MC propõe elementos como a capacitação das famílias envolvidas, e é tido como um gatilho para a mobilização social quanto ao tema da convivência, prevendo espaços de articulação nacional, estaduais e microrregionais (NOGUEIRA, 2017; ASSIS, 2012).

A cisterna constitui uma tecnologia simples e de fácil reaplicação, sendo estas algumas das características que explicam sua rápida disseminação pelo Semiárido. A cisterna padrão é uma construção circular com raio de cerca de 2 m construída sobre um buraco de 1,2 m de profundidade (podendo variar em função do terreno), com capacidade para armazenar até 16 mil litros de água captada das chuvas, por meio de calhas instaladas nos telhados, e sua construção demora cerca de duas semanas, conforme pode ser visto na Figura 4. Sistema de captação de água da chuva do P1MC. Fonte: Nogueira, 2017. (COSTA e DIAS, 2013; ALBUQUERQUE, 2010). Consiste em uma tecnologia para armazenamento de água da chuva que, após cair no telhado das casas, é captada por calhas e direcionada para cisternas de placas de cimento (no nível do chão) por canos de PVC. A cisterna é construída por pedreiros capacitados pelo P1MC e pelas próprias famílias (ALBUQUERQUE, 2010).

O custo de implantação de uma cisterna é de cerca de 2,1 mil reais a 3,1 mil reais, sendo que cerca de 1,1 mil reais são para a compra dos materiais e os demais para o pagamento de deslocamentos e da mão de obra dos pedreiros e dos educadores que participam do processo, bem como para a cobertura de custos administrativos (COSTA e DIAS, 2013; ASA, 2019b). De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Social, uma única cisterna com capacidade para 16 mil litros de água pode suprir as necessidades de consumo de uma família de até cinco pessoas por oito meses, correspondentes ao período de estiagem no Semiárido nordestino (ALBUQUERQUE, 2010).

O público-alvo do Programa Acesso à Alimentação é definido como “Famílias com renda familiar per capita menor ou igual a 1/2 salário mínimo” e o público-alvo da Ação foi estabelecido pelo MDS nos seguintes termos:

*“São famílias de baixa renda, residentes na área rural de municípios do Semiárido, que não disponham de fonte de água ou meio de armazená-la, suficientemente adequado, para o suprimento de suas necessidades básicas, e que sejam enquadradas nos critérios de elegibilidade do Bolsa Família, ainda que não tenham sido beneficiadas até o momento. É prioritário o atendimento a família: cuja mulher seja a chefe da família; que tenha portador de necessidades especiais; com crianças de 0 a 6 anos; com maior número de crianças em idade escolar; e idosos” (TCU, 2006).*

Entre as principais vantagens dessa infraestrutura destacam-se a qualidade da água, a proximidade da residência e o baixo custo. Entre os aspectos negativos, estão a possibilidade de contaminação da água e o surgimento de rachaduras, caso a cisterna não seja construída e mantida corretamente, e, principalmente, a insustentabilidade dessas cisternas diante de secas mais prolongadas (o que pode ser lidado, entretanto, através de seu abastecimento por caminhões pipa) (NOGUEIRA, 2017).

O fato de o P1MC ter como critério de seleção para conquista da cisterna famílias chefiadas por mulheres, somado à exigência da participação do responsável nas reuniões comunitárias, assim como nos cursos de capacitação, permite que a metodologia de organização social que norteia o programa atue como um possível catalisador da participação das mulheres nos assuntos da comunidade (NOGUEIRA, 2017). Além disso, de forma geral, o ganho de tempo representou um progressivo envolvimento dessas mulheres com atividades de outras naturezas ou mesmo uma maior autonomia delas na gestão do tempo, trazendo impactos na questão de igualdade de gênero nos locais agraciados com cisternas.

O Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) tem como objetivo fomentar a construção de processos participativos de desenvolvimento rural no Semiárido brasileiro e promover a soberania, a segurança alimentar e nutricional e a geração

de emprego e renda entre as famílias agricultoras através do acesso e do manejo sustentáveis da terra e da água para a produção de alimentos (ASA, 2019b). O 1 significa terra para produção. O 2 corresponde a dois tipos de água — a potável, para consumo humano, e água para produção de alimentos. Pelo fato de ter como critério atender famílias que já tiveram acesso à primeira água (geralmente pelo projeto P1MC), o P1+2 é conhecido também como projeto de segunda água, ou água para produção (ASA, 2019b). O intuito é potencializar os diversos espaços e práticas de produção de alimentos, contribuindo para o fortalecimento das estratégias de geração de renda. Essa renda, além de propiciar maior bem-estar às famílias, é em parte reinvestida nos próprios sistemas, gerando um ciclo virtuoso.

O Projeto Cisternas nas Escolas tem como objetivo levar água para as escolas rurais do Semiárido, utilizando a cisterna de 52 mil litros como tecnologia social para armazenamento da água de chuva. Em centenas de escolas rurais do País, a falta de água de qualidade, assim como de outros serviços básicos como energia e saneamento básico, são fatores que contribuem para o fechamento das escolas, para a baixa taxa de aprovação e o abandono dos estudos. A chegada da água nas escolas a partir da cisterna, portanto, é fundamental para garantir às crianças o direito à água de qualidade e, conseqüentemente, aumentar a frequência escolar e o desempenho dos/as alunos/as.

Gomes et al. (2012) avaliou tal programa pesquisando 623 beneficiários. A pesquisa destacou os principais problemas que impediram o funcionamento adequado das unidades de RWH são, por exemplo, a baixa qualidade do telhado, a pequena capacidade de armazenamento de cisternas e a ausência de dispositivos automáticos para o primeiro desvio de descarga (GOMES, HELLER e PENA, 2012). No Brasil, Marcynuk et al. (2013) destacam que os domicílios com acesso à água da chuva das cisternas estavam associados a um menor risco de infecções em comparação com os domicílios fornecidos por outras fontes de água e tipicamente fontes sem proteção sanitária, incluindo rios, nascentes e represas (MARCYNUK, FLINT, *et al.*, 2013).

As ações de acesso descentralizado à água no Semiárido brasileiro já receberam prêmios como o Future Policy Awards (2017), promovido pelo World



Future Council, juntamente com a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (UNCCD), sendo reconhecida como uma das mais eficazes medidas mundiais para acesso a água potável (ASA, 2019b).



Figura 4. Sistema de captação de água da chuva do P1MC. Fonte: Nogueira, 2017.



## 5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 5.1. Caracterização da região do estudo

O estudo ocorreu na área do Distrito Federal (DF). A região está localizada a 15°47' de latitude sul e a 47°56' de longitude oeste e ocupa uma área de 5.779 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). Com uma área de 5.783 km<sup>2</sup>, representa 0,06% da área do território nacional (CODEPLAN, 2017). A topografia apresenta altitudes que variam entre 950m a 1400m aproximadamente, predominando formas de relevo evoluídas por processo de erosão, caracterizadas pelas chapadas e chapadões (CODEPLAN, 2017).

O Distrito Federal é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Situado na Região Centro-Oeste, é a menor unidade federativa brasileira e a única que não tem municípios, sendo dividida em 31 regiões administrativas. Em 21 de abril de 1960, Brasília tornou-se Capital Federal da República Federativa do Brasil que até então era na cidade do Rio de Janeiro.

O DF apresenta uma rede de cursos de água, perenes na sua maioria, que fazem parte de 3 (três) regiões hidrográficas nacionais (São Francisco, Tocantins/Araguaia, e Paraná), com 7 (sete) bacias hidrográficas e 41 (quarenta e uma) unidades hidrográficas (GDF, 2017a). Estas sete bacias hidrográficas contribuem para abastecer as três principais regiões hidrográficas do Brasil: Tocantins e Araguaia para a qual contribui a bacia do rio Maranhão, a do São Francisco cujo contribuinte é a bacia do rio Preto e as demais bacias do DF contribuem com a bacia do rio Paraná (CODEPLAN, 2017). A bacia do rio São Bartolomeu se destaca por apresentar uma área significativa, onde ocorre a proteção de mananciais.

O DF se encontra inserido no bioma Cerrado, que ocupa toda sua área. Sua pluviometria média é de 1542 mm/ano (CLIMATEMPO, 2018). É terra de clima tropical, com temperatura média de 22 °C e variações que vão de 13 °C a 28 °C ao longo do ano, se considerada a média dos últimos 30 anos (CLIMATEMPO, 2018). O clima predominante da região é caracterizado pela ocorrência bem definida de verões chuvosos e invernos secos. A estação chuvosa se inicia em outubro e

termina em abril, representando cerca de 90% do total precipitado no ano. O trimestre mais chuvoso é o de novembro a janeiro. A estação seca vai de maio a setembro, sendo o trimestre de junho a agosto o mais seco, responsável por somente cerca de 2% do total anual precipitado (INMET, 2019; BRASIL, 1992). A umidade relativa do ar acompanha o padrão sazonal das precipitações. Apresenta pequena variação de janeiro a abril, com média de 77%, seguindo-se queda acentuada dos valores até setembro, com mínima em agosto, com média de 48%, para voltar a recuperar a umidade a partir de outubro, com a chegada das chuvas (INMET, 2019; BRASIL, 1992). A insolação tem comportamento inverso ao da umidade, sendo máxima nos meses de julho e agosto. Com relação à temperatura média do ar, os meses de setembro e outubro são os mais quentes, sendo o mês de julho o mais frio. A evaporação é maior no trimestre julho/setembro, atingindo seu máximo em agosto (INMET, 2019). A média pluviométrica anual é de cerca de 1.500 mm, sendo os meses de dezembro janeiro historicamente os de maiores índices pluviométricos médios (cerca de 250 mm/mês) e os meses de junho, junho e agosto, os de menor índice (10 mm/mês) (INMET, 2019).

O DF também conta com elevados índices de crescimento urbano e populacional, sendo atualmente a quarta cidade mais populosa do país, com cerca de 3 milhões de habitantes em 2017 (IBGE, 2018). A expectativa de vida por aqui está cada vez maior – hoje já é de 77,6 anos, a segunda maior do país. A densidade demográfica atual é de 444,66 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). O DF também conta com diversas áreas administrativas com estrutura básica muito precária, apresentando em seu território uma das maiores favelas do mundo, chamada de “Sol Nascente”.

## **5.2. Metodologia aplicada**

A análise da aplicabilidade do Programa de Cisternas no DF permeia diversos âmbitos, como o econômico, de economicidade pública, de impacto social, entre outros.

Esta pesquisa utilizará metodologia quantitativa, utilizando o software Netuno para auxiliar no teste da hipótese (GHISI, CORDOVA e ROCHA, 2009), o qual auxilia na avaliação do potencial de economia de água potável e no

dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial em edificações. O software foi desenvolvido em 2009 por pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina, e se demonstra adequado para estudos sobre utilização de águas pluviais (ROCHA, 2009; GHISI, CORDOVA e ROCHA, 2009; GHISI, 2010).

O próximo passo da análise se volta para as condicionantes favoráveis e desfavoráveis com relação à legislação, abertura social e incentivos diversos para que o programa ocorra. A revisão da literatura sobre as diversas leis relacionadas ao assunto ocorrerá no próximo capítulo, além de discussões sobre o que precisaria ser modificado ou implementado para o sucesso da presente iniciativa, e sobre a existência de conflitos de interesse locais que impediriam ou dificultariam a implementação.

### 5.2.1. Software Netuno

A metodologia seguiu critérios semelhantes aos estabelecidos em Ghisi *et al* (2009) e Ghisi (2010). Em relação à sua validação, informações podem ser encontradas em Rocha (2009). O software Netuno é um software livre, gratuito, e se encontra disponível para download no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações<sup>5</sup> da Universidade Federal de Santa Catarina.

O Netuno faz uma análise sobre o potencial de coleta de água da chuva em determinado local, levando em consideração aspectos como a pluviometria diária local, quantidade de residentes, demanda por água, área total da superfície de coleta, tamanho e características do tanque de coleta, entre outros fatores que influenciam no cálculo da quantidade final de água coletada. Fatores como o número de moradores, a porcentagem de água potável substituída pela água da chuva e o consumo per capita influenciam diretamente a demanda de água da chuva, enquanto a área de captação e as chuvas locais influenciam a disponibilidade de água da chuva. Os resultados do software são dados relacionados ao “Potencial de

---

<sup>5</sup> <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/netuno>

economia de água potável por meio do uso de água pluvial”, dado em percentual (%) do total da demanda de água potável da moradia. O software também nos dá dados econômicos, tais como o valor presente líquido, a taxa interna de retorno, e o tempo de retorno do investimento, em meses.

O software realiza uma análise comportamental, ou seja, utiliza somente dados já conhecidos e passados, ao contrário de análises estocásticas. O modelo é executado em uma resolução de tempo diário com observações históricas de precipitação como entrada. O desempenho do sistema é examinado sob vários cenários, incluindo diferentes condições ambientais e características do sistema. Os resultados da simulação contínua são sintetizados através de índices volumétricos de confiabilidade baseados no volume de água da chuva e no volume de transbordamento.

O software também traz uma proposta de análise econômica da coleta, analisando quais são os custos de instalação, custos fixos e variáveis, custos de operação e manutenção, custos relacionados à energia e eficiência da bomba elétrica (caso exista), entre outros, e criando com isso um fluxo de caixa. Com o fluxo de caixa, o Netuno estima o valor presente líquido, o tempo de retorno do investimento e a taxa interna de retorno.

Tendo em mãos os dados de retorno do investimento e de potencial de utilização da cisterna, pode-se analisar a pertinência de aplicação do programa no DF. Essa análise será feita com base na comparação de diversos cenários dentro do DF, modificando-se diversos parâmetros com relação à aplicação do programa (demanda, área de coleta, número de residentes, entre outros).

#### **5.2.1.1. Análise do Potencial de Economia de Água Potável**

Os dados relacionados a pluviometria diária foram retirados do site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, com dados de janeiro de 1970 até dezembro de 2018 (INMET, 2019).

Para levar em consideração diferentes áreas de cobertura, foram consideradas quatro áreas de telhado, ou seja, 50, 100, 200 e 400 m<sup>2</sup>. O objetivo

dessas áreas é analisar a possibilidade de aplicação em diversas áreas residenciais, refletindo a realidade local.

Demandas de água potável de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 L per capita por dia foram consideradas na pesquisa. A variação da demanda de água ao longo do ano é uma questão importante em relação ao desempenho do sistema. Assim, tal variação de demanda de água pretende abranger o consumo de água diferente em relação à estação, e também com relação a diferentes localidades dentro da área de estudo escolhida.

Os cenários foram realizados considerando três, quatro e cinco residentes. Análises anteriores mostraram que, com menos de três moradores, a economia financeira resultante do sistema era quase zero, devido à tarifa básica aplicada pelas empresas de água para um consumo de até 10 m<sup>3</sup> por mês, tornando sua aplicação antieconômica (GHISI e SCHONDERMARK, 2013).

Com base em uma revisão de publicações (GHISI e FERREIRA, 2007; GHISI e OLIVEIRA, 2007), considerou-se que a demanda por água não potável em uma residência como 30 e 40% a fim de construção de cenários.

Uma vez que se assume que o tanque está coberto, perdas de evaporação do sistema são negligenciadas. O software leva em consideração em seus cálculos a ocorrência de transbordamento do tanque, sendo que o volume excessivo é desprezado.

O coeficiente de aproveitamento de água pluvial adotado foi de 0,8, conforme literatura sobre o assunto (discutido no capítulo 4.5). Também foi adotado o descarte de 0,33mm inicial das chuvas, a fim de assegurar a qualidade da água coletada.

No total, foram feitos 144 cenários para todos os parâmetros elencados.

As cisternas utilizadas para tal projeção são do mesmo modelo das utilizadas no Programa 1 Milhão de Cisternas: cisternas de placas de cimento de 16 mil litros. Não se adicionou à simulação um tanque superior, ou uma bomba para levar esta água àquele tanque.

O dado final obtido nos traz qual o limite de utilização da água pluvial em uma residência com aqueles parâmetros. Estudos indicam que nem toda água demandada pela residência pode ser substituída por fontes pluviais, pois utilizações que envolvam consumo humano ou possível consumo (tais como tomar banho ou cozinhar) não são passíveis de substituição (GHISI e FERREIRA, 2007; GHISI e OLIVEIRA, 2007), sendo que este gira entre 30 e 40% da demanda.

### **5.2.1.2. Análise Econômica Familiar da Implementação**

O gasto de implementação da cisterna será fixado em 3,1 mil reais, de acordo com estimativas da ASA (ASA, 2019a), incluindo-se nesse valor o valor de instalação, tubos, reservatório, etc. Foi adicionado também à análise uma margem de gastos com manutenção, estabelecendo-se um gasto de 400 reais por semestre. Este valor foi alcançado após pesquisa sobre o método de limpeza utilizando-se hipoclorito de sódio, e serviria para cobrir o custo do material e da mão de obra.

Para a taxa de água, utilizar-se-á a política tarifária disponibilizada no site da CAESB para “residencial normal”, relativa ao período de 01/06/2019 a 31/05/2020, de acordo com a Tabela 2. Tabela de Tarifas cobradas pela CAESB para o período de 01/06/2019 a 31/05/2020. O valor de inflação foi definido como 0,3% ao mês (3,6% ao ano), se aproximando dos valores atuais. Considerou-se que a revisão das tarifas será feita de 12 em 12 meses. O prazo para a análise econômica foi definido para 25 anos, estabelecendo-se um marco relativamente longo para comparação da análise de custo benefício, seguindo o valor que comumente aparece em análises do tipo. A taxa mínima de atratividade foi estabelecida com valor próximo ao da taxa do CDI (Certificados de Depósito Interbancário), de 0,6% ao mês (7,2% ao ano).

Após a inserção dos dados, temos como resultado a Taxa Interna de Retorno da implantação no cenário designado. A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de desconto hipotética que, quando aplicada a um fluxo de caixa, faz com que os valores das despesas, trazidos ao valor presente, seja igual aos valores dos retornos dos investimentos, também trazidos ao valor presente. Ou seja, é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros. Sendo usada em análise de investimentos, significa a

taxa de retorno de um projeto. Se a TIR é maior do que a taxa mínima de atratividade, significa que o investimento é economicamente atrativo.

*Tabela 2. Tabela de Tarifas cobradas pela CAESB para o período de 01/06/2019 a 31/05/2020.*

<b>Residencial normal</b>	
<b>Faixa m<sup>3</sup></b>	<b>Alíquota (R\$) - Preço por m<sup>3</sup></b>
<b>0 a 10</b>	3,14
<b>11 a 15</b>	5,83
<b>16 a 25</b>	7,45
<b>26 a 35</b>	12,04
<b>36 a 50</b>	13,28
<b>Acima de 50</b>	14,55



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Levantamento de legislação pertinente

#### 6.1.1. Legislação federal

A legislação sobre águas no Brasil é um conjunto de normas jurídicas que, segundo o art. 21 da Constituição Federal, compete privativamente à União (BRASIL, 2016). A Lei nº 9.433/1997, de 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). O sistema nacional é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), os Conselhos Regionais dos Estados, a Agência Nacional das Águas (ANA), os Comitês de Bacia hidrográfica e as entidades civis de pesquisa no campo hídrico.

O PNRH, norma balizadora da gestão dos recursos hídricos no Brasil, prevê que a gestão da água não deve dissociar aspectos de quantidade e qualidade e deve considerar a diversidade geográfica e socioeconômica das diferentes regiões do País, o planejamento dos setores usuários e os planejamentos regionais, estaduais e nacional, além da integração com a gestão ambiental, do uso do solo, sistemas estuarinos e zonas costeiras (ANA, 2018). Sendo assim, o governo federal estabelece normas gerais acerca do gerenciamento das bacias hidrográficas, de forma que cabe aos Estados e Municípios criar leis específicas para o reuso e aproveitamento de águas pluviais de sua região.

A PNRH baseia-se em alguns fundamentos: a água é um bem de domínio público; é um recurso limitado, dotado de valor econômico; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; e em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é para o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997). Este último demonstra ser condizente com a utilização de cisternas pela população.

A unidade espacial de gestão de recursos hídricos definida pela PNRH é a bacia hidrográfica. Por isso, para fins de aplicação dos instrumentos de gestão e da atuação de comitês de bacias hidrográficas e agências de água, é esse território que transpassa os limites políticos estaduais e federais que deve ser considerado. O

Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) constitui fórum de debates para a tomada de decisões sobre questões relacionadas à gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica específica (ANA, 2018).

O poder legislativo e os órgãos públicos (federais, estaduais e municipais) vêm apresentando uma série de leis e resoluções que estimulam o aproveitamento e reuso de águas pluviais, direta ou indiretamente. Um exemplo federal é a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que oferece um respaldo legal para a prática do reuso de água em ambientes urbanos, para fins agrícolas ou florestais, industriais, ambientais, entre outros. Em geral, as modalidades de reuso de água são, dentro do ambiente urbano, voltados para fins não potáveis em irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio. Os comitês de bacia são os responsáveis pelos estudos dos possíveis impactos sobre os corpos hídricos, assim como a criação de incentivos para a prática de reuso.

A lei 13.501/2017, do governo federal, inclui nos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos: o incentivo e a promoção da captação, preservação e aproveitamento de águas das chuvas. A inclusão entre esses objetivos do incentivo à captação, preservação e aproveitamento de águas das chuvas segue tendência mundial de utilização de água não tratada para manutenção de jardins, limpeza de calçadas e em atividades agrícolas e industriais.

A lei 12.873 de 2013 criou o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água da Chuva (conhecido popularmente como “Programa Cisternas”). Criou-se então um marco legal que regulamentou os critérios para acessar o programa; os processos de capacitação; as técnicas de construção; descrevendo inclusive o passo a passo de como fazer cada tecnologia, os custos e as formas de prestar contas (BRASIL, 2013). Atualmente é executado a partir de parcerias com Estados, consórcios públicos de municípios e entidades privadas sem fins lucrativos.

A lei 12.873 é atualmente regulamentada pelo Decreto 9.606, de 2018, e por disposições complementares estabelecidas em atos do Ministério do Desenvolvimento Social. O Decreto auxilia no estabelecimento de normas para a execução do programa Cisternas, instituindo: as formas de execução, de liberação

de recursos e de credenciamento; critérios para a contratação das entidades privadas sem fins lucrativos; da execução dos contratos; e as formas de fiscalização e transparência com relação ao programa (BRASIL, 2018).

### **6.1.2. Legislação distrital**

A questão do gerenciamento dos recursos hídricos do Distrito Federal é tratada pela Lei distrital nº 2.725, de 13 de junho de 2001, a qual institui a Política de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal, com o objetivo de: assegurar que a água possa ter seu uso controlado e de acordo com padrões de qualidade satisfatórios para seus usuários atuais e gerações futuras; assegurar a utilização racional dos recursos; implementar a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais; e aumentar as disponibilidades em recursos hídricos (DISTRITO FEDERAL, 2001).

O princípio básico dessa política é o gerenciamento integrado, descentralizado e participativo dos recursos hídricos. A mencionada Lei estabelece que as ações relacionadas com a utilização e proteção dos recursos hídricos devem ser implementadas a partir da integração das áreas das diversas instituições e dos diversos atores envolvidos, tanto nos processos decisórios quanto na abordagem participativa das comunidades.

A lógica do colegiado dos comitês de bacia hidrográfica permite que os atores envolvidos atuem no intuito de neutralizar práticas predatórias orientadas pelo interesse econômico ou político. A dinâmica do comitê deveria facilitar a interação mais transparente e permeável no relacionamento entre os diferentes atores envolvidos – governamentais, empresariais e usuários. Isso limitaria as chances de abuso do poder. Entretanto, isso não acontece, pois se observa uma frágil capacidade de organização e mobilização da sociedade civil nesse colegiado (JACOBI, CIBIM e LEÃO, 2015).

A fim de regulamentar os artigos da Seção III da Lei Distrital 2.725/2001, instituiu-se o Decreto distrital 22359, de 31 de agosto de 2001, dispondo sobre a

outorga de direito de uso de recursos hídricos no território do Distrito Federal. Este declara que a outorga de direito de uso de recursos hídricos não implica na alienação das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso, dado que a água constitui direito de todos para suprir as necessidades básicas da vida. Ademais, institui que o órgão responsável pela outorga dos recursos hídricos é a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (GDF, 2001). Atualmente, quem está responsável por isso é uma autarquia ligada à Secretaria, a ADASA, conforme artigo 3º da Lei 4.285, de 26 de dezembro de 2008 (GDF, 2008).

No Distrito Federal, há duas Leis Distritais muito relevantes com relação ao aproveitamento de águas pluviais em edificações. A Lei Distrital nº 4.181/2008 cria o 'Programa de Captação de Água de Chuva', cujos objetivos são a captação, o armazenamento e a utilização das águas pluviais pelas edificações urbanas. A Lei Distrital nº 4.671/2011, dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação de reservatórios de captação de águas pluviais para as unidades habitacionais e comerciais do Distrito Federal.

A Lei 4181 de 2008 no DF estabelece que a concessão de Habite-se para as construções iniciadas após a vigência desta Lei ficaria condicionada à comprovação do cumprimento de determinadas disposições, tais como instalação, nas casas e prédios com mais de 200m<sup>2</sup> de área construída, de caixas ou reservatórios de água, coletores e armazenadores da precipitação atmosférica; instalação de calhas adaptadas e outros condutores, convergentes às caixas coletoras a que se refere o inciso anterior; e adaptação, às caixas coletoras, de sistema que libere o excesso de água acumulada para as galerias de águas pluviais. Também dispõe que a água coletada será utilizada em atividades que dispensem o uso de água tratada.

Com o intuito de estabelecer os procedimentos de avaliação para emissão de Habite-se de novas construções que apresentam, em suas instalações prediais, sistemas de aproveitamento de águas pluviais ou de reuso de água, assim como para evitar a contaminação da água tratada distribuída pela CAESB, bem como fixar critérios para o lançamento dos efluentes desses sistemas na rede pública de esgoto, a CAESB publicou, em dezembro de 2012, a Norma ND.SCO-013. Com o

intuito de preservar a saúde e bem-estar de usuários, a fiscalização da CAESB deverá exigir:

- 1) a impossibilidade de ocorrer conexão cruzada com o sistema público de abastecimento de água;
- 2) a existência de reservatórios e sistemas hidráulicos independentes e identificados;
- 3) a existência de registros e torneiras de acesso restrito e devidamente identificadas (CAESB, 2012).

Para contextualizar as demandas da CAESB, cabe mencionar que, para a Lei do Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445/2007), a prestadora de abastecimento público deve garantir a qualidade da água potável até as ligações prediais. Uma conexão cruzada no sistema predial de água potável poderá afetar os padrões de potabilidade da água exigidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde nas instalações hidráulicas da edificação, ou até mesmo na rede de abastecimento público (SANTANA e MEDEIROS, 2017).

A Norma ND.SCO-013 busca também, identificar e quantificar o lançamento de efluentes adicionais na rede pública de coleta de esgoto, como por exemplo, águas pluviais utilizadas em descarga sanitária ou na lavagem de roupas. O efluente oriundo de sistemas de aproveitamento de águas pluviais ou de reuso de água devem atender aos padrões de lançamento de efluentes líquidos na rede pública de esgotos, conforme Decreto nº 18.328/1997. Caso este efluente apresentar uma concentração acima dos limites máximos previstos, a Norma estabelece que deverá ser aplicada uma Tarifa Especial na conta de água e esgoto (CAESB, 2012). A Tarifa Especial baseia-se na elevação dos custos para tratamento dos efluentes cujas características extrapolam os limites legais, sobrecarregando os sistemas públicos de tratamento ao demandarem maior consumo de energia elétrica, produtos químicos e recursos humanos (SANTANA e MEDEIROS, 2017).

Esta norma também especifica que o consumidor/usuário que implementar sistemas de aproveitamento de águas pluviais ou de reuso de água, passa à condição de produtor de água e, conseqüentemente, torna-se responsável pela sua gestão qualitativa. Com isso, o consumidor/usuário deverá: solicitar à CAESB a

avaliação do projeto e do sistema de reuso de água e/ou de aproveitamento de água pluvial; apresentar o projeto do sistema incluindo detalhes executivos, especificações das tecnologias selecionadas, esquemas verticais e outros necessários para subsidiar a adequada verificação do sistema pela CAESB; apresentar Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do responsável pelo projeto e pela operação do sistema, registrada no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Distrito Federal (CREA-DF); e apresentar Licença Ambiental emitida pelo órgão ambiental competente referente ao sistema, nos casos em que for obrigatório (SANTANA e MEDEIROS, 2017; CAESB, 2012). Estas regras também figuram na Resolução ADASA nº 3 de 2019, que estabelece em seu art. 33 algumas recomendações para análise do projeto e vistoria de instalações do sistema de água não potável para fins de aprovação e emissão de Carta de Aceite para edificações novas e existentes, considerando: a inexistência de conexão cruzada com o sistema público de abastecimento de água; a existência de reservatórios e instalações hidráulicas independentes e identificadas; a existência de registros e torneiras de acesso restrito e devidamente identificados (ADASA, 2019).

Outra Lei Distrital que torna obrigatórias a captação, armazenamento e utilização das águas pluviais em novas construções urbanas para a concessão de habite-se é a Lei Complementar nº 929, de 28 de julho de 2017, chamada de “lei de permeabilidade do DF”. Esta lei complementar estabelece a obrigatoriedade no DF de propriedades acima de 600m<sup>2</sup> de instalarem dispositivos de captação de águas pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos. A água coletada pode ser utilizada para fins como lavagem de pisos e veículos, irrigação de jardins, e outras utilizações, mas sua utilização para consumo é proibida.

A lei 6.065/2018, de 09 de janeiro de 2018, institui a política de incentivo a reaproveitamento à água da chuva no DF, abrindo a possibilidade de realização pelo poder público de campanhas educativas sobre o reaproveitamento da água, e também de possíveis incentivos fiscais. A lei também determina que “a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal disponibilizará, em sua página oficial, as normas técnicas e orientações gerais, de forma clara e transparente, para construção ou reforma de instalação visando atender ao objeto desta Lei”. A

Companhia já contém em seu site uma página específica com instruções para novas instalações (disponível no link <https://www.caesb.df.gov.br/agua/aproveitamento-reuso-de-agua.html>).

O uso racional de água entrou em pauta mais comumente a partir de 2017. Em 2018, o Decreto Distrital 39.514 veio para instituir o Programa de Otimização do Uso Prioritário da Água, denominado “Poupa DF”, no âmbito dos órgãos da administração pública direta e indireta, das autarquias, das fundações instituídas ou mantidas pelo Poder Público e das empresas cujo capital o Distrito Federal tenha participação majoritária, bem como das demais entidades por ele direta ou indiretamente controladas. O Poupa DF tem por objetivos: promover a redução progressiva do consumo de água por meio de ações planejadas; consolidar uma cultura do uso eficiente da água no âmbito das edificações públicas; e fomentar a conservação da água nas edificações públicas por meio do aproveitamento de águas pluviais e do reuso de águas cinzas.

A gestão das águas em melhores bases é essencial, no Distrito Federal, tanto para o atendimento das necessidades humanas quanto das necessidades dos ecossistemas naturais (aquáticos e ripários). O Distrito Federal já deu os primeiros passos neste sentido. Não por outra razão, o Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal (CRHDF) instituiu o Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais do DF em 2014, o qual define, em sua resolução, a construção de indicadores da vida aquática, a serem submetidos ao Conselho, em 2017. Estes indicadores biológicos, uma vez aprovados no âmbito do CRHDF demandarão uma revisão das autorizações pelo uso da água (outorgas) de sorte a assegurar a qualidade ambiental “na ponta”, ou seja, nos corpos hídricos. A Resolução nº 2/2014 do CRHDF vem, portanto, reposicionar o tema e abrir o debate sobre a quantidade de água que precisa se manter no rio, em qualidade tal que assegure a vida naquele ambiente. Assegurar o aporte adequado, contínuo, a baixo custo e de forma sustentável de água de boa qualidade implica em considerar os hidrossistemas superficiais e subterrâneos, as necessidades humanas e dos ecossistemas aquáticos e ripários, e endereçar de maneira objetiva os fatores socioeconômicos (GDF, 2017a).



## 6.2. Resultados do software Netuno

Os dados angariados pelo software com relação ao potencial de substituição de água foram exemplificados por meio das Figuras 5 e 6, os quais mostram diferentes graus de substituição conforme o tamanho da área de captação é modificado. Nota-se que conforme a demanda aumenta, o potencial de substituição de água vai caindo, pois há um limite de quantidade de água disponível para esta substituição. O menor valor para o potencial de substituição ocorreu nos cenários de alta demanda por água e baixa área de captação (10,92%).

Analisando os gráficos, pode-se notar também que em áreas de captação menores, há uma maior tendência a um menor atendimento da demanda conforme esta aumenta, contrastando com casas com grandes áreas de captação. Isso ocorre porque uma área de captação maior enche o tanque em um tempo menor, já que o volume de água da chuva capturado é maior. Assim, chuvas fora da época de maior captação já podem reabastecer a cisterna de maneira significativa, levando a um maior potencial de utilização desta água coletada.

Pode-se notar também que em casos de pequenas demandas (50 ou 100 L por pessoa por dia), sempre há substituição pelo uso de águas pluviais até o limite estabelecido (30 ou 40%). Em casos de maiores demandas, há um menor potencial de substituição.

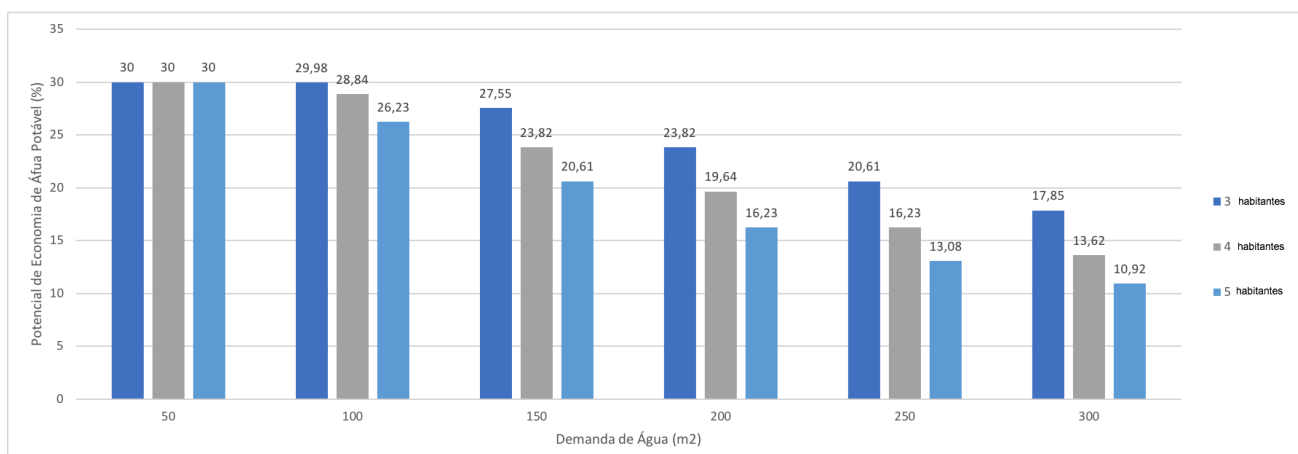


Figura 5. Percentual de economia projetada de água potável por demanda de água (m2) e número de moradores nas residências em um cenário de área de captação de 50m<sup>2</sup> e percentual de substituição de 30.

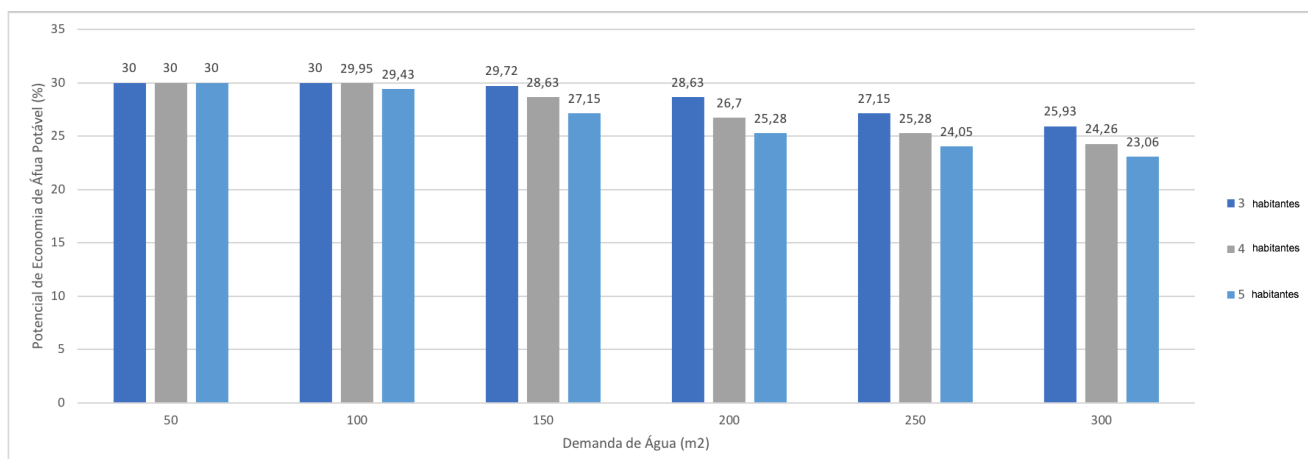


Figura 6. Percentual de economia projetada de água potável por demanda de água (m<sup>2</sup>) e número de moradores nas residências em um cenário de área de captação de 400m<sup>2</sup> e percentual de substituição de 30.

A viabilidade econômica é demonstrada por meio do cálculo da taxa interna de retorno para os diferentes cenários, conforme Figuras 7 e 8, as quais trazem a TIR em percentual (%). A TIR só vale a pena quando está acima da taxa mínima de atratividade estabelecida de 0,6% ao mês. Dos 144 cenários, 70 demonstraram-se economicamente viáveis como um investimento com base nos parâmetros apresentados.

Em casos de baixa área de captação, o investimento só é viável quando há alta demanda de água. Dos 12 casos viáveis para cenários com captação de água de 50m<sup>2</sup>, 6 são para demandas de água de 300L per capita/dia. Os outros 6 casos são para demandas de 250 (4 casos) e 200 (2 casos). Há 18 casos viáveis para captação de 100m<sup>2</sup>, e 20 para cada um dos cenários de 200 e 400m<sup>2</sup>. Nestes casos, são viáveis todos os casos de demanda de 250 ou 300, e começa a demonstrar-se viável a partir de 150.

É pertinente notar que quando o consumo é alto, a vantagem financeira é quase sempre certa: todos os casos de demanda de 300L per capita/dia são viáveis economicamente. Quando a demanda é de 250L, há somente dois casos sem viabilidade financeira. Estes dados são reforçados quando se compara os dados de viabilidade econômica com os de potencial de utilização de água pluvial. Quanto

maior a demanda, menor o potencial de utilização – porém, são os únicos casos em que há viabilidade econômica.

### 6.3. Discussão dos dados

De acordo com os resultados da rodagem do software Netuno, há benefícios econômicos para implementação de cisternas no contexto do DF. As cisternas se mostram como solução economicamente viável para diminuição da pressão dos reservatórios em casos de grande demanda, e é especialmente favorável em casas com grande área de captação. Considerando-se que a média de demanda de água no DF é de 161,6 L/hab.dia (MDR, 2017), casas com consumo acima da média já podem considerar a aplicação do programa com sucesso. Estes resultados são condizentes com estudos realizados no sudeste do Brasil (GHISI, 2010). A conclusão de que mesmo sob condições “desfavoráveis” para aplicação (alta demanda e pequena área coletora de chuva), uma parcela significativa da demanda de água não potável ainda pode ser atendida, o que provavelmente traz outros benefícios ambientais e econômicos em todo o sistema, além do usuário individual, é condizente com o encontrado por Lopes *et al* (2017).

Além de casas, outros setores também podem se aproveitar deste potencial para implementação do programa, tais como em prédios públicos, escolas, casas rurais ou indústrias, dado que normalmente têm estruturas grandes e com grande área de captação. A utilização em áreas públicas é condizente com o contido no Decreto Distrital 39.514, que instituiu o Programa de Otimização do Uso Prioritário da Água, denominado “Poupa DF”, promovendo o uso racional de água e aproveitamento de águas pluviais.

Cabe a discussão se tal medida auxiliaria no aumento da segurança hídrica da população. A ONU define segurança hídrica como “a capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade aceitável, para sustentar meios de subsistência, bem-estar humano e desenvolvimento socioeconômico, para garantir proteção contra a poluição causada pela água e desastres relacionados a ela, e pela preservação dos ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política” (UN WATER, 2016). Considerando-se que a

população passa a não mais depender de fatores governamentais para suprir parte de sua demanda de água, e que muitos estudos indicam que não há impactos ambientais significativos, pode-se dizer que a implementação de cisternas ou de sistemas de coleta de água pluvial podem sim auxiliar no aumento da segurança hídrica.

Além disso, sua implementação é uma medida que aumenta a capacidade adaptativa da população. A capacidade adaptativa é aumentada por trazer à população um ativo que traz flexibilidade sobre a disponibilidade e utilização da água, aumentando sua autonomia sobre o gerenciamento de seus próprios recursos. Trazendo a gestão de água para mais perto da população, traz mais autonomia para que esta lide com todos os efeitos das mudanças climáticas. É uma medida de baixo custo e que traz diversos impactos positivos à população, como comprovado pela sua implementação no Nordeste brasileiro, sendo, portanto, indicada para lidar com os prováveis riscos futuros de diminuição de precipitação local.

Além de aumentar a segurança hídrica local, a implementação de sistemas de coleta de água da chuva é condizente com o Plano Nacional de Segurança Hídrica, ao regularizar a oferta de água para abastecimento humano ou usos múltiplos, auxiliar no controle de cheias e regularizar o acesso à água em épocas de seca. Também está alinhado com o objetivo de estimular a diminuição da demanda por água local. A implementação também é condizente com todos os aspectos da definição de segurança hídrica: dimensões humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência.

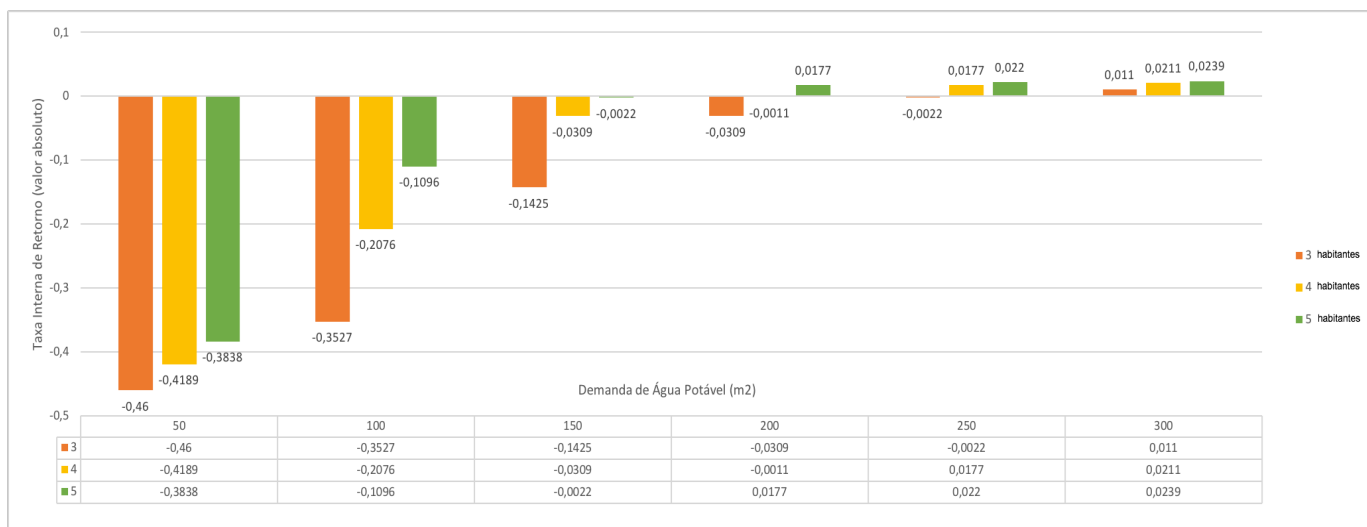


Figura 7. Taxa Interna de Retorno, em valores absolutos, por área de captação (m<sup>2</sup>) e número de habitantes, em um cenário de área de captação de 50m<sup>2</sup> e percentual de substituição de 30.

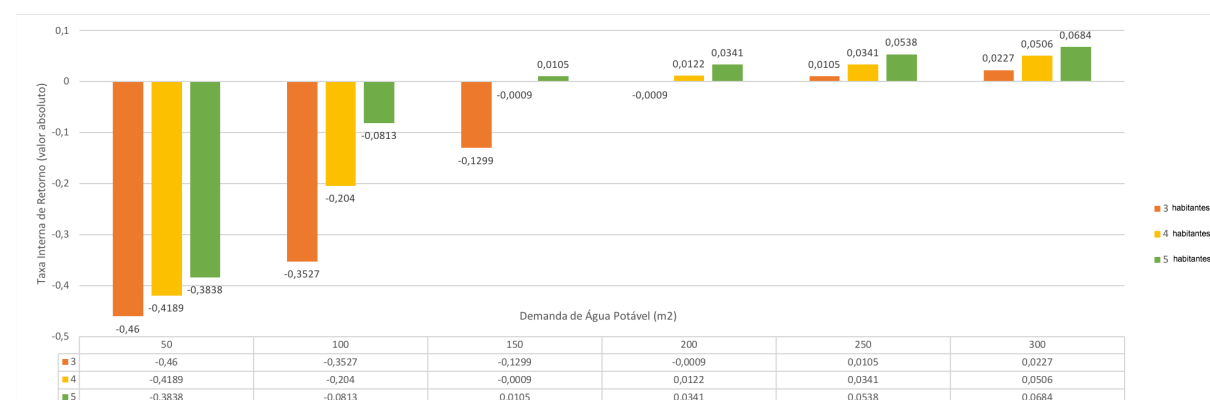


Figura 8. Taxa Interna de Retorno, em valores absolutos, por área de captação (m<sup>2</sup>) e número de habitantes, em um cenário de área de captação de 400m<sup>2</sup> e percentual de substituição de 30.

Entretanto, é cabível a discussão de para qual parcela da população haveria aumento de segurança hídrica, dado que a maior aplicabilidade da tecnologia está relacionada a residências com grande demanda, e preferencialmente com grande área de captação. Deve-se levar em consideração que áreas com grandes áreas residenciais no DF têm uma densidade urbana menor, tais como o Park Way (3,50 hab/ha), Lago Sul (6,66 hab/ha) ou Jardim Botânico (8,91 hab/ha), enquanto áreas mais pobres contam com maior densidade urbana, tais como Varjão (142,27 hab/ha), Candangolândia (137,38 hab/ha) ou Ceilândia (129,94 hab/ha) (JATOBÁ,

2017). Sendo assim, a análise econômica da implementação de cisternas no DF aindica um aumento de eficiência especialmente da população mais rica, que tem casas maiores, com maiores áreas de captação, e que contam com os recursos financeiros para implementação destes sistemas de coleta. Ainda que a sua implementação diminua a demanda dos reservatórios e beneficie toda a população com racionalização dos gastos públicos com tratamento de água, a implementação de cisternas no DF não teria a princípio uma característica de programa social, diminuindo diretamente a vulnerabilidade da população mais pobre em áreas urbanas.

Levando-se em conta a falta de espaço urbano para instalação de cisternas em residências em áreas pobres, o Programa Cisternas provavelmente só teria sua implementação bem-sucedida caso fosse implementada em áreas rurais. Há diversos núcleos rurais, hortícolas e agrovilas no DF, e que poderiam se beneficiar do programa dado que estão em áreas extensas, e provavelmente com grandes áreas de captação. Neste contexto, o programa que provavelmente mais se adequaria à situação seria o P1+2, dada a necessidade de água para produção rural. Maiores estudos devem ser realizados analisando o custo-benefício da aplicação, assim como se os moradores destas regiões se adequariam aos requisitos do programa, ou, caso não se adequem, qual seria a possibilidade de implementação de projetos similares na região.

Apesar disso, podem ser implementados no DF outros programas relacionados a gestão de água, porém com outros escopo, presentes no Programa “Água Para Todos”, também do governo federal.

Com relação ao aspecto ambiental, a literatura endossa que sistemas de captação da água da chuva não influenciam de forma significativa a provisão de água à jusante, pois esta água só é temporariamente retida. Além de ser retirada somente uma parcela da disponibilidade pluviométrica total, ela posteriormente retornará ao seu curso normal após recolhimento e tratamento pela empresa de saneamento, ou após utilização no solo, percolação e retorno aos lençóis freáticos. Entretanto, como a análise de influência de disponibilidade à jusante não foi alvo específico deste estudo, possíveis estudos futuros são cabíveis para analisar o

impacto ambiental da implementação de sistemas de coleta de chuva, assim como analisar se a parcela retirada tem impactos relevantes sobre a redução da taxa de demanda dos reservatórios distritais.

A instalação de sistemas de coleta de água da chuva é uma alternativa mais barata e mais rápida que investimentos para majoração da oferta de água tratada, e tem como adicional ser mais consciente com relação ao gasto público de água e aos gastos familiares. O gasto de implementação de cisternas gira em torno de 3100 reais para implementação, além dos gastos de manutenção. Entretanto, o governo distrital tem investido no aumento de oferta de água em torno de 700 milhões de reais. O aumento de oferta é uma necessidade patente, mas o estímulo da diminuição da demanda e estudos de alternativas de aproveitamento de recursos hídricos são igualmente importantes – ambas as alternativas estão inclusive presentes no Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019).

Além do baixo custo de instalação, a instalação de sistemas de utilização de água pluvial também traz benefícios por diminuir a necessidade de tratamento e distribuição pela CAESB, e por diminuir as perdas por ineficiência do sistema de tubulação. Em 2017, o Índice de perdas na distribuição no Brasil foi de 38,3%. Ou seja, 38,3% do volume de água disponibilizado não foi contabilizado como volume utilizado pelos consumidores, seja por vazamentos, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas (MDR, 2017). Além disso, a despesa total média com tratamento de água (R\$/m<sup>3</sup>) no DF é de 5,12 (MDR, 2017), um dos mais altos do Brasil, o que demonstra a importância de diminuir gastos desnecessários com tratamento de água e esgoto.

Para fins de exemplificação, no cenário de maior utilização de água pluvial (área de captação de 400m<sup>2</sup>, demanda de 300 L per capita por dia, 5 habitantes e com percentual de substituição de 40%), a economia anual seria de R\$ 4100 reais. Se houvesse uma implementação de programa de coleta de água da chuva em larga escala, haveria redução significativa na arrecadação da CAESB. Isso pode ter grande influência com relação aos incentivos governamentais à implementação, pois vai de encontro aos interesses da organização, que almeja crescer e continuar angariando fundos e funcionando corretamente. O conflito de interesses da



população com os interesses governamentais pode ser um empecilho para a implantação de programas como o sugerido neste presente estudo.

Neste mesmo caso, e continuando a exemplificação, haveria uma diminuição da demanda anual de 158 mil litros. Considerando-se o gasto de tratamento de água da CAESB, temos uma economia aos cofres públicos de aproximadamente 800 reais. Apesar de ser uma quantidade ínfima quando se compara com o orçamento da CAESB ou com o orçamento do DF, todo corte de gasto público desnecessário e de aumento de racionalidade administrativa governamental deve ser incentivado.

Outro ponto relevante de discussão é a abertura legislativa e burocrática quanto à sua implementação. Conforme visto anteriormente (Capítulo 6.1), já há diversas leis federais e distritais que regulamentam e incentivam a implementação de sistemas de coleta de água da chuva. Atualmente o P1MC não tem atuação no DF, havendo ainda somente aplicação das leis distritais. As leis distritais determinam diversos passos burocráticos para a aplicação, tal como solicitação à CAESB da avaliação do projeto, incluindo detalhes específicos; presença de uma Anotação de Responsabilidade Técnica – ART assinada por profissional inscrito no CREA-DF; apresentação de Licença Ambiental emitida pelo órgão ambiental competente; e vistoria para obtenção de “Habite-se”. Todos esses passos são extremamente importantes para o bom planejamento e funcionamento dos sistemas de coleta, sem que haja impactos ambientais e regionais. Entretanto, dada a complexidade e burocracia, percebe-se que também é gasta uma quantidade razoável de tempo e dinheiro para contratação dos profissionais, o que também inviabiliza na prática a aplicação de projetos de coleta de chuva em larga escala para a população mais pobre. As informações pertinentes são disponibilizadas ao público (por exemplo, pelo site da CAESB), mas não se nota campanhas generalizadas para implementação em larga escala, ao contrário das campanhas de utilização racional da água, feitas durante o período de racionamento de água no DF.

Apesar das análises econômicas feitas, estudos indicam que as motivações dos usuários para instalar sistemas de coleta de águas pluviais são na maior parte não pecuniárias (DOMÈNECH e SAURÍ, 2011). Segundo o estudo de Domènech e

Saurí (2011), todos os moradores analisados pelo estudo expressaram estar satisfeitos com a ideia de coletar a água da chuva e com sua contribuição para a preservação dos ecossistemas aquáticos. A captação de água da chuva oferece inúmeros benefícios, mas a menos que a sensação de propriedade dos usuários e seu conhecimento sobre o sistema aumente, o potencial de captação de água da chuva permanecerá subestimado e o risco de abandono do sistema pode se tornar real. A fim de garantir o desempenho adequado dos sistemas e garantir a minimização dos riscos, é crucial que a implementação dessas políticas seja apoiada por campanhas de conscientização sobre as vantagens, usos potenciais e requisitos de operação e manutenção da coleta de águas pluviais (DOMÈNECH e SAURÍ, 2011).

## 7. CONCLUSÃO

Sobre as limitações da presente pesquisa, é digno de comentário que a própria escolha do tipo de cisterna pode ser uma limitação. Há diversos tipos de cisternas, como de placas de cimento, de tela-cimento, de tijolos, de ferro cimento, de cal ou de plástico, e que se adaptam a diferentes contextos e realidades, tendo cada uma suas vantagens e desvantagens. Definir que somente a cisterna de placa de cimento será utilizada pode negligenciar a realidade local, sendo necessários maiores estudos para saber qual tipo de cisterna poderia se adaptar melhor à realidade da população do DF.

O presente estudo parte do pressuposto que a instalação se daria nos mesmos moldes da cisterna do programa P1MC. Devido a isso, não foi incluída na construção de cenários a presença de reservatório superior, ou de uma bomba para lançar a água do reservatório inferior para o superior. Entretanto, como a instalação de cisternas no DF provavelmente não seguirá os moldes do P1MC, estudos futuros devem ser feitos para produção de cenários utilizando-se desses novos insumos (que trazem qualidade de vida e conforto às famílias).

A definição do tamanho da cisterna como um tamanho padrão de 16 mil litros também pode estar negligenciando a realidade local, pois segundo a literatura, o dimensionamento do tanque de água pluvial para casas deve ser realizado para cada situação específica, ou seja, considerando chuvas locais, área de cobertura, demanda de água potável, demanda de água da chuva e número de moradores (GHISI, 2010; PELAK e PORPORATO, 2016). Portanto, o dimensionamento de tanques de águas pluviais de acordo com outros fatores não é recomendado, pois pode incorrer em baixa eficiência. Maiores estudos são necessários para determinar qual seria o tamanho ideal de cisterna para cada caso, ambientado no DF.

Um fator que também pode influenciar outros estudos posteriores é a presença ou não de bombas. Quando há a um tanque superior na residência, há normalmente uma bomba que conduz a água do tanque inferior para o superior, de onde há maior facilidade de distribuição para todos os cômodos da casa. A escolha do tipo de bomba influencia sobre a disponibilidade e utilização da água residencial. Caso seja uma bomba mecânica (“carneiro mecânico”, como é conhecido

popularmente), utiliza-se de bombeamento físico, gastando menos eletricidade, mas trazendo a necessidade de esforço humano para promover a disponibilidade de água.

Um ponto de limitação do estudo de viabilidade econômica é com relação aos custos de manutenção da cisterna. Não foi encontrada na literatura nenhum estudo do qual se retirar esses valores, ou com o que compará-los. Assim, foi feita uma estimativa baseada em dados encontrados em sites diversos na Internet e com base na vivência da autora, sendo, portanto, passível de questionamento. Seriam necessárias maiores investigações sobre qual seria um valor razoável, assim como sua periodicidade.

Um fator que não foi incluído nas análises econômicas é o valor relacionado à depreciação da infraestrutura, separando-se assim no presente valores para substituição de peças no futuro (DA COSTA, 2015). Este item não está presente no software, embora pudesse ser incluído no campo de despesas regulares. Entretanto, dado que a quantidade e descrição do material utilizado não foi encontrada nos casos dos programas P1MC e P1+2, além de estes fatores serem altamente variáveis nos casos de implementação particular de sistemas de coleta de chuva para cada cenário, este valor foi excluído da análise.

Outro fator não incluído nas análises é o custo de produção e transporte dos materiais necessários à construção do sistema de captação de água. Fatores como emissão de gases na instalação e transporte, custo ambiental de produção dos insumos, e aumento do uso de energia devem ser levados em consideração, seguindo por exemplo o estudo de Vialle *et al* (2015).

Outro tipo de limitação é concernente ao tipo de simulação comportamental. Este tipo de simulação utiliza dados passados para predição de eventos futuros. Contudo, conforme discutido no Capítulo 4.1, pode ser que a capacidade de armazenamento da cisterna diminua com o passar dos anos, pois a expectativa é que a mudança climática influencie no regime de chuvas, sendo mais adequados nestas situações os modelos estocásticos (SAMPLE e LIU, 2014). Maiores estudos podem ser feitos seguindo modelos de simulação estocásticos, analisando como ocorrerá a mudança climática por aqui, e como poderíamos planejar melhor o

tamanho das casas ou dos reservatórios para conseguir nos adaptar melhor a essas mudanças. Por exemplo, estudos indicam que um tanque de água pluvial de 3 kL não seria capaz de fornecer o mesmo volume de água (como na condição atual) no futuro. Os resultados indicam que uma maior capacidade de armazenamento de um tanque de água pluvial será necessária para que todas as estações obtenham o mesmo desempenho de um tanque de 3 kL (HAQUE, RAHMAN e SAMALI, 2016).

Estudos futuros também podem ser feitos analisando a utilização da chamada “água cinza”, que compõe grande parte do esgoto residencial e é originada a partir de processos domésticos como lavar louça, roupa e tomar banho. Passando por um tratamento adequado, a água cinza pode ser utilizada para lavagem de áreas externas, descarga de banheiros, irrigação de plantas e limpeza de pisos. Um software que pode ser utilizado para estudos do tipo é o Plugrisost, desenvolvido por pesquisadores da Universidade Autônoma de Barcelona (MORALES-PINZÓN, RIERADEVALL, *et al.*, 2015).

O PNRH prevê que a gestão da água não deve dissociar aspectos de quantidade e qualidade e deve considerar a diversidade geográfica e socioeconômica das diferentes regiões do País. Ademais, conta como um de seus objetivos “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais”. A utilização de cisternas pela população mostra-se, portanto, consistente com os objetivos da legislação, ao aumentar a segurança hídrica da população e trazer para mais perto dela sua gestão de quantidade e de qualidade; além de aumentar sua capacidade adaptativa para lidar com os efeitos das mudanças climáticas locais. Incentivar a população para instalação destes sistemas é, além de uma alternativa viável, econômica e benéfica, também plenamente condizente com a legislação federal em vigor, portanto.

Esta dissertação de mestrado assumiu como objetivo analisar a aplicabilidade do Programa Um Milhão de Cisternas no âmbito do Distrito Federal, analisando o custo benefício econômico da implementação e examinando condicionantes favoráveis e desfavoráveis à aplicação, abordando a legislação existente, economicidade pública, abertura social, entre outros.

Para tanto, utilizou-se de um software específico para refinamento de dados e produção de índices econômicos e de economia familiar e pública. Também se procedeu a uma extensa revisão literária e legislativa para embasar a análise da hipótese.

Em suma, a hipótese de que “a implementação do Programa P1MC no âmbito do Distrito Federal apresenta-se como alternativa viável para adaptação a crises hídricas” só é cabível para o âmbito rural, dado que a população pobre do DF tem limitações físicas e econômicas para a implementação. Entretanto, provou-se que a instalação de sistemas de captação de água da chuva pode ser muito benéfica para áreas com casas grandes e alta demanda de água, tais como Lago Sul, Lago Norte ou Park Way. Políticas públicas são necessárias no âmbito distrital para incentivar a instalação desses sistemas, possivelmente com políticas tarifárias benéficas e programas de conscientização da importância do uso da água da chuva.

Há abertura legislativa para a implementação de programas de aproveitamento de águas pluviais no DF, porém as informações para sua implementação são truncadas e fragmentadas. Além disso, todo o processo para a implementação destes sistemas é burocrático e caro, reforçando que só se torna possível a implementação somente para a população de alta renda.

Apesar do programa P1MC ter implementação limitada no DF, este está inserido em um programa nacional de maior escopo e implementação: o Programa “Água Para Todos”. Este é um programa do Governo Federal do Brasil criado através do Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011, e reúne medidas preventivas e corretivas contra a seca nas regiões onde a precipitação pluviométrica é escassa. Outros programas com escopo diferente podem talvez se adequar melhor à realidade local, e com isso há a possibilidade de trazer programas governamentais de sucesso para o DF.

Há benefícios sociais, ambientais e econômicos para a implementação de tais programas na região. Falta ainda interesse governamental para tanto, pois programas de diminuição de demanda diminuem também a captação de recursos pelo governo, tornando-se uma alternativa não tão bem vista quanto a de aumento da oferta.

## BIBLIOGRAFIA

ABDULLA, F.; AL-SHAREEF, A. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, 243, 2009. 195–207.

ACOSTA-MICHLIK, L.; KELKAR, U.; SHARMA, U. A critical overview: Local evidence on vulnerabilities and adaptations to global environmental change in developing countries. **Global Environmental Change**, 18, 2008.

ADASA. **Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal - PGIRH**. Brasília. 2012.

ADASA. **Elaboração de Estudos em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento. Produto 3 - Diagnóstico de Viabilidade, Metodologia e Plano de Ação para a Implantação de Programa de Redução de Consumo de Água em Prédios Públicos do Governo do Distrito Federal**. Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal - ADASA; Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO. São Paulo, p. 145. 2017.

ADASA. Níveis dos reservatórios de Santa Maria e Descoberto. **Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal**, 2018. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/niveis-dos-reservatorios>>. Acesso em: 01 julho 2018.

ADASA. Níveis dos Reservatórios. **Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal**, 2019. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/niveis-dos-reservatorios>>. Acesso em: 02 abril 2019.

ADASA. RESOLUÇÃO Nº 03, DE 19 DE MARÇO DE 2019. **AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL**, 2019. Disponível em: <[http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/Res\\_ADASA/Resolucao\\_n\\_03\\_2019.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/Res_ADASA/Resolucao_n_03_2019.pdf)>. Acesso em: 13 junho 2019.

ADEEL, Z. A Human Development Approach to Water Security. In: BIGAS, H. (. ). **The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue**. Papers for the InterAction Council 2011-12. Hamilton, Canada: UNU-INWEH, 2012.

ADGER, W. Vulnerability. **Global Environmental Change**, 16, 2006. 268-281.

ADGER, W. et al. Adaptation to climate change in the developing world. **Progress in Development Studies**, 2003. 179-195.

ADGER, W. et al. Are there social limits to adaptation to climate change? **Climatic Change**, 93, 2009. 335–354.



ADGER, W. N.; KELLY, P. M. SOCIAL VULNERABILITY TO CLIMATE CHANGE AND THE ARCHITECTURE OF ENTITLEMENTS. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 4, 1999. 253-266.

ADGER, W.; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. Adaptation Now. In: ADGER, W.; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. **Adapting to Climate Change - Thresholds, Values, Governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

ADGER, W.; SURMINSKI, S.; BROWN, I. Advances in risk assessment for climate change adaptation policy. **Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences**, 376, 2018.

AGENDA 2030. Agenda 2030, 2018. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br/ods/6/>>. Acesso em: 3 junho 2018.

AGRAWAL, A.; LEMOS, M. Adaptive development. **Nature Climate Change**, 5, 2015.

ALBUQUERQUE, M. Novos paradigmas no semiárido brasileiro: a experiência da ASA na construção de novas modalidades de políticas públicas. In: MORAIS, L.; BORGES, A. **Novos paradigmas de produção e consumo: experiências inovadoras**. São Paulo: Instituto Pólis, 2010. p. 468.

ANA. Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Águas. **Atlas Brasil**, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>. Acesso em: junho 2018.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília. 2013.

ANA. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica - Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2014**. Brasília. 2015.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018 - Informe anual**. Brasília. 2018.

ANA. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília. 2019.

ANGRILL, S. et al. Environmental Analysis of Rainwater Harvesting Infrastructures in Diffuse and Compact Urban Models of Mediterranean Climate. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 17, n. 1, 2011. 25-42.

ARNELL, N.; CHARLTON, M. Adapting to the effects of climate change on water supply reliability. In: ADGER, W.; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. **Adapting to Climate Change - Thresholds, Values, Governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

ASA. Articulação Semiárido Brasileiro - ASA, 2018. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/>>.

ASA. **Articulação Semiárido Brasileiro**, 2019a. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/98-imprensa/asa-na-midia/9509-a-transformacao-do-semiarido-pelo-programa-de-cisternas>>. Acesso em: 22 maio 2019.

ASA. **Semiárido - Caderno de Debates 1. Propostas da Sociedade Civil para garantia do acesso à água às populações rurais do Semiárido**. Articulação Semiárido Brasileiro. [S.l.]. 2019b.

ASSIS, T. SOCIEDADE CIVIL E A CONSTRUÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA: o caso do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC). **Revista de Políticas Públicas**, São Luís, 16, 2012. 179-189.

BAHRI, A. **Integrated Urban Water Management**. [S.l.]. 2012.

BAKKE, K. Water Security: research challenges and opportunities. **Science**, 337, 2012.

BAKKER, K. Water Security: Research Challenges and Opportunities. **Science**, 337, 2012.

BARANGE, M. et al. **Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options**. Roma. 2018.

BARRETT, K.; BOSAK, K. The Role of Place in Adapting to Climate Change: A Case Study from Ladakh, Western Himalayas. **Sustainability**, 10, 2018.

BEEK, E.; ARRIENS, W. **Water Security: Putting the Concept into Practice**. Estocolmo. 2014.

BLACK, R. et al. Migration as Adaptation. **Nature**, 478, 2011.

BOLSON, S.; HAONAT, A. A GOVERNANÇA DA ÁGUA, A VULNERABILIDADE HÍDRICA E OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, 2016.

BRASIL. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária - Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia - Divisão de Meteorologia Aplicada. Brasília, p. 84. 1992.

BRASIL. LEI Nº 9.433, Brasília, 8 Janeiro 1997.

BRASIL. **Lei 12.873**. Presidência da República. Brasília. 2013.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil : texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto, Brasília, 2016. 496.

BRASIL. Programa Cisternas é premiado como uma das melhores políticas públicas do mundo, 23 agosto 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-125>>

justica/2017/08/programa-cisternas-e-premiado-como-uma-das-melhores-politicas-publicas-do-mundo>. Acesso em: 21 maio 2018.

BRASIL. **DECRETO Nº 9.606, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2018**. Presidência da República. Brasília. 2018.

BROWN, I. Assessing climate change risks to the natural environment to facilitate cross-sectoral adaptation policy. **Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences**, 376, 2018.

BROWN, O. **Migration and Climate Change**. Genebra. 2008.

BULLARD, R. Enfrentando o racismo ambiental no século XXI. In: ACSELRAD, H.; S., H.; A., P. J. **Justiça ambiental e cidadania**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004. p. 41-68.

BURNS, M. et al. The stormwater retention performance of rainwater tanks at the landparcel scale. In: WONG, T.; MCCARTHY, D. (. ). **7th International Conference on Water Sensitive Urban Design. Engineers Australia**. Melbourne: [s.n.], 2012.

CAESB. ND.SCO-013. **Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal**, 20 dezembro 2012. Disponível em: <[https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos\\_pdf/normas/ND.SCO-013%20-%20Reuso%20de%20%C3%81gua.pdf](https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/normas/ND.SCO-013%20-%20Reuso%20de%20%C3%81gua.pdf)>. Acesso em: 13 junho 2019.

CAESB. Informações sobre a crise hídrica no Distrito Federal. **Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal**, 2018. Disponível em: <<https://www.caesb.df.gov.br/8-portal/noticias/550-informacoes-referentes-a-crise-hidrica-no-distrito-federal.html>>. Acesso em: 01 julho 2018.

CAESB. Tarifas e Preços. **Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal**, 2019. Disponível em: <<https://www.caesb.df.gov.br/tarifas-e-precos.html>>. Acesso em: 24 Julho 2019.

CAMPISANO, A. et al. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. **Water Research**, 115, 2017. 195-209.

CEPF. Perfil do Ecossistema Hotspot de Biodiversidade do Cerrado. **Critical Ecosystem Partnership Fund**, 2017. Disponível em: <<http://cepfcerrado.iieb.org.br/cerrado/hotspot-do-cerrado/>>. Acesso em: 26 março 2018.

CINNER, J. et al. Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities. **Nature Climate Change**, 8, 2018.

CLARKE, R. **Water: The International Crisis**. Massachusetts: MIT Press, 1993.

CLIMATEMPO. Climatologia de Brasília - DF, 2018. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br/climatologia/61/brasil-ia-df>>. Acesso em: 24 maio 2018.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal 2017**. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. Governo do Distrito Federal. Brasília. 2017.

CODEPLAN. **ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA TRATADA NO PERÍODO DE RACIONAMENTO NO DISTRITO FEDERAL**. COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. Brasília. 2018.

COOK, C.; BAKKER, K. Water security: Debating an emerging paradigm. **Global Environmental Change**, 22, 2012. 94-102.

COSTA, A.; DIAS, R. Estado e sociedade civil na implantação de políticas de cisternas. In: COSTA, A. **Tecnologia Social e Políticas Públicas**. São Paulo: Instituto Pólis; Fundação Banco do Brasil, 2013.

COSTA, G. Agência Brasil. **Agência Brasil**, 16 novembro 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-11/distrito-federal-registra-desigualdade-maior-que-restante-do-pais>>. Acesso em: 31 março 2019.

CPRM. Mapas e Publicações. **CPRM - Serviço Geológico do Brasil**, 2006. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas\\_publicacoes/atlas\\_pluviometrico\\_brasil/isoietas\\_totais\\_anuais\\_1977\\_2006.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/atlas_pluviometrico_brasil/isoietas_totais_anuais_1977_2006.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2019.

CRUZ, I. et al. Estratégia como prática para o enfrentamento da crise hídrica: Um olhar para os praticantes. **Revista de Administração, Sociedade e Inovação**, 4, 2018.

DA COSTA, A. **VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO COLÉGIO ESTADUAL DE CAMPO MOURÃO**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Campo Mourão, p. 106. 2015.

DESSAI, S. et al. Climate prediction: a limit to adaptation? In: ADGER, W.; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. **Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

DESSAI, S.; SLUIJS, J. **Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study**. Utrecht. 2007.

DI GIULIO, G.; MARTINS, A.; LEMOS, M. Adaptação climática: Fronteiras do conhecimento para pensar o contexto brasileiro. **Estudos Avançados**, 30, n. 88, 2016.

DILLON, P. Future management of aquifer recharge. **Hydrogeol J**, 13, 2005. 313-316.

DISTRITO FEDERAL. LEI Nº 2.725, DE 13 DE JUNHO DE 2001. **Institui a Política de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal**, Brasília, junho 2001.

DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multifamily buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, 19, 2011.

EAKIN, H.; LEMOS, M. Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity-building under globalization. **Global Environmental Change**, 16, 2006.

EAKIN, H.; LEMOS, M.; NELSON, D. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change**, 27, 2014. 1-8.

ENGLE, N. Adaptive capacity and its assessment. **Global Environmental Change**, 21, 2011. 647-656.

FÜSSEL, H.-M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. **Global Environmental Change**, 17, 2007. 155-167.

FAO. **El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Invertir en la agricultura para construir un futuro mejor.** Roma. 2012.

FELFILI, J. M.; SILVA JUNIOR, M. C. Diversidade alfa e beta no cerrado sensu strictu, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e Bahia. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, M. **Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 141-154.

FEW, R. Health and climatic hazards: Framing social research on vulnerability, response and adaptation. **Global Environmental Change**, 17, 2007.

FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. **Global Environmental Change**, 16, 2006. 253-267.

G1, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/apos-513-dias-acionamento-de-agua-no-df-chega-ao-fim-nesta-quinta.ghtml>>. Acesso em: 10 setembro 2019.

GDF. **DECRETO Nº 22.359, DE 31 DE AGOSTO DE 2001.** Governo do Distrito Federal. Brasília. 2001.

GDF. **LEI Nº 4.285, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2008.** Governo do Distrito Federal. Brasília. 2008.

GDF. **Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal.** Brasília, p. 346. 2009.

GDF. **Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos – PGIRH.** Brasília. 2012.

GDF. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal - Matriz Ecológica**. Brasília. 2017a.

GDF. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal - Matriz Socioeconômica**. Brasília. 2017b.

GDF. Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica, 2018a. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/plano-integrado-de-enfrentamento-a-crise-hidrica-governo-de-brasilia.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2018.

GERLAK, A.; MUKHTAROV, F. 'Ways of knowing' water: integrated water resources management and water security as complementary discourses. **Int Environ Agreements**, 15, 2015. 257-272.

GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses. **Water Resour Manage**, 24, 2010. 2381–2403.

GHISI, E.; BRESSAN, D.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, 42, 2007. 1654–1666.

GHISI, E.; CORDOVA, M.; ROCHA, V. **Netuno 2.1. Programa computacional [Netuno 2.1 Computer programme]. School of Civil Engineering, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil.**, 2009. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/netuno>>. Acesso em: 20 julho 2019.

GHISI, E.; FERREIRA, D. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, 42, 2007. 2512–2522.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, 42, n. 4, 2007. 1731-1742.

GHISI, E.; SCHONDERMARK, P. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resour Manage**, 27, 2013. 2555–2576.

GLEICK, P. **Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources**. Oxford: Oxford University Press, 1993.

GOMES, U.; HELLER, L.; PENA, J. A National Program for Large Scale Rainwater Harvesting: An Individual or Public Responsibility? **Water Resources Management**, 26, n. 9, 2012. 2703–2714.

GREY, D. et al. Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science. **Philosophical Transactions of the Royal Society** , 2013.

GREY, D.; SADOFF, C. **Water for Growth and Development**. Cidade do México: IV World Water Forum. 2006.

GREY, D.; SADOFF, C. Sink or Swim? Water security for growth and development. **Water Policy**, 9, 2007. 545-571.

GTZ. **The Water Security Nexus. Challenges and Opportunities for Development Cooperation**. Eschborn. 2010.

GWP. **Towards Water Security: A Framework for Action**. Stockholm. 2000.

HALES, S.; EDWARDS, S.; KOVATS, R. Impacts on health of climate extremes. In: MCMICHAEL, A., et al. **Climate change and human health - Risks and Responses**. Genebra: WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003.

HAQUE, M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. **Journal of Cleaner Production**, 117, 2016. 60-69.

IBGE. Cidades IBGE, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>>. Acesso em: 26 junho 2018.

INMET. BDMEP - Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa. **Instituto Nacional de Meteorologia**, 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 julho 2019.

INMET. Normais Climatológicas do Brasil. **Instituto Nacional de Meteorologia**., 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 20 maio 2019.

IPCC. **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, p. 104. 2007.

IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge. 2013.

IPCC. **Climate Change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects**. New York. 2014.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC. Geneva, Switzerland, p. 151. 2014.

IRPAA. Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada, 2018. Disponível em: <<http://www.irpaa.org/>>. Acesso em: 21 maio 2018.



JACOBI, P.; CIBIM, J.; LEÃO, R. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos Avançados**, 29, n. 84, 2015.

JAMES, L.; SHAFIEE-JOOD, M. Interdisciplinary information for achieving water security. **Water Security**, 2, 2017.

JATOBÁ, S. **DENSIDADES URBANAS NAS REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO DISTRITO FEDERAL**. Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Brasília, p. 47. 2017.

JEPSON, W. et al. Advancing human capabilities for water security: A relational approach. **Water Security**, 1, 2017.

JIANG, Z.; LI, X.; MA, Y. Water and Energy Conservation of Rainwater Harvesting System in the Loess Plateau of China. **Journal of Integrative Agriculture**, 12, n. 8, 2013. 1389-1395.

KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. **Journal of Hydrology**, 381, 2010. 181-188.

KUMAR, M. Roof Water Harvesting for Domestic Water Security: Who Gains and Who Loses? **Water International**, 29, 2004. 43-53.

LAUTZE, J.; MANTHRITHILAKE, H. **Water security: Old concepts, new package, what value?** [S.l.]. 2012.

LEMOS, M. et al. Developing Adaptation and Adapting Development. **Ecology and Society**, 12, 2007.

LEMOS, M. et al. Linking development to climate adaptation: Leveraging generic and specific capacities to reduce vulnerability to drought in NE Brazil. **Global Environmental Change**, 39, 2016. 170-179.

LIGON, E.; SCHECHTER, L. Measuring Vulnerability. **The Economic Journal**, 113, 2003.

LIMA, E.; EMERICH, P.; MALDANER, V. **O Programa Adote uma Nascente no Distrito Federal**. IX Simpósio Nacional Cerrado: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Brasília: [s.n.]. 2008.

LIMA, J. **Um indicador que pode causar preocupação é a disponibilidade hídrica por habitantes do DF que corresponde a 1.537 m<sup>3</sup>/habitante/ano, e segundo a classificação da Organização das Nações Unidas - ONU uma disponibilidade hídrica para consumo humano é consider**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Planaltina, p. 44. 2001.

LINDOSO, D. **VULNERABILIDADE E ADAPTAÇÃO DA VIDA ÀS SECAS: DESAFIOS À SUSTENTABILIDADE RURAL FAMILIAR NOS SEMIÁRIDOS NORDESTINOS**. UnB. Brasília. 2013.

LINDOSO, D. Adaptação à mudança climática: ciência, política e desenvolvimento sustentável. **CLIMACOM CULTURA CIENTÍFICA - PESQUISA, JORNALISMO E ARTE**, 2, 2015.

LINDOSO, D. et al. Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. **Climatic Change**, 2014.

LINDOSO, D.; RODRIGUES FILHO, S. Vulnerabilidade e Adaptação - Bases Teóricas e Conceituais da Pesquisa. In: BURSZTYN, M.; RODRIGUES FILHO, S. (.). **O Clima em Transe - Vulnerabilidade e adaptação da agricultura familiar**. Rio de Janeiro: Garamond, 2016.

LOPES, V. et al. Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach. **Journal of Cleaner Production**, 148, 2017. 304-313.

LOUCKS, D.; VAN BEEK, E. **Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications**. UNESCO. Paris. 2005.

MAGRIN, G. O. . J. A. M. J.-P. B. M. S. B. E. C. G. P. F. R. S. E. S. V. Central and South America. In: BARROS, V. R. . C. B. F. D. J. D. M. D. M. K. J. M. T. E. B. M. C. K. L. E. Y. O. E. R. C. G. B. G. E. S. K. A. N. L. S. M. P. R. M. A. L. L. W. (.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 1499-1566.

MARCYNUK, P. et al. Comparison of the burden of diarrhoeal illness among individuals with and without household cisterns in northeast Brazil. **Infectious Diseases**, 13, 2013.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. ECONOMIA DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL. **Boletim regional, urbano e ambiental**, 4, Julho 2010.

MASON, N.; CALOW, R. **Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An initial overview of options**. London. 2012.

MCCARTHY, J. **INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. WORKING GROUP II**. Cambridge, UK; Nova Iorque, EUA. 2001.

MDR. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília. 2017.

MDR. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília. 2017.

MDS. **Boletim Informativo nº 005, maio de 2017**. Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário. [S.l.]. 2017.

MELO, M.; JOHNSON, R. O CONCEITO EMERGENTE DE SEGURANÇA HÍDRICA. **Sustentare**, Três Corações, 1, dezembro 2017.

METRÓPOLES. **Racionamento de água chega ao fim no Distrito Federal**, 2018. Disponível em: <<https://www.metropoles.com/distrito-federal/ja-vai-tarde-acionamento-de-agua-chega-ao-fim-no-distrito-federal>>. Acesso em: 10 setembro 2019.

MILHORANCE, C.; SABOURIN, E.; CHECHI, L. **Adaptação às mudanças climáticas e integração de políticas públicas no semiárido pernambucano**. Brasília. 2018.

MITTERMEIER, R. et al. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Boston: University of Chicago Press, 2005.

MMA. **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado**. Brasília: MMA, 2011. 200 p.

MMA. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Volume 1: Estratégia Geral**. Brasília, p. 44. 2016.

MMA. Política Nacional da Mudança do Clima. **Ministério do Meio Ambiente**, 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-sobre-mudan%C3%A7a-do-clima.html>>. Acesso em: 26 abril 2019.

MORALES-PINZÓN, T. et al. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. **Journal of Cleaner Production**, 87, 2015. 613-623.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403, 24 Fevereiro 2000. 853-858.

NATH, P.; BEHERA, B. A critical review of impact of and adaptation to climate change in developed and developing economies. **Environ Dev Sustain**, 13, 2011.

NOGUEIRA, D. Segurança hídrica, adaptação e gênero: o caso das cisternas para captação de água de chuva no semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, Dezembro 2017. 22-36.

OECD. **Water Security for Better Lives**. [S.l.]. 2013.

OLIVEIRA, D. **O USO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS HÍDRICAS NA ZONA RURAL DO SEMIÁRIDO PARAIBANO: Entre o combate a seca e a convivência com o semiárido**. Universidade Federal da Paraíba - UFPB. João Pessoa, p. 186. 2013.

ONU. **REPORT OF THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT**. Rio de Janeiro. 1992.

ONU. **Resolução 64/292 - O direito humano a água e saneamento**. Organização das Nações Unidas. [S.l.], p. 3. 2010.

ORESQUES, N. The Scientific Consensus on Climate Change. **Science**, 4 Dezembro 2004. 1686.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. **Journal of Hydrology**, 401, 2011. 65-76.

PARKES, C. et al. **Energy and Carbon Implications of Rainwater Harvesting and Greywater Recycling**. Environment Agency. Bristol. 2010.

PARRY, M.; LOWE, J.; HANSON, C. Overshoot, adapt and recover. **Nature**, 458, 2009.

PAVIANI, A.; BRANDÃO, A. CONSUMO DE ÁGUA EM BRASÍLIA: CRISE E OPORTUNIDADE. **Texto para Discussão**, Brasília, 8 outubro 2015. 28.

PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1**. Rio de Janeiro, Brasil, p. 24. 2013.

PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo do GT2**. Brasília. 2013.

PELAK, N.; PORPORATO, A. Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs. **Journal of Hydrology**, 514, 2016. 1340-1347.

PELLING, M. **Adaptation to Climate Change: From resilience to transformation**. Londres: Routledge, 2011.

PIELKE JR, R. et al. Lifting the taboo on adaptation. **Nature**, 445, n. 8, 2007.

PINTER, L.; HARDI, P.; BARTELMUS, P. **Indicators of Sustainable Development: Proposals for a Way Forward**. New York. 2005.

PNUD. Radar IDHM. **Atlas Brasil**, 2019. Disponível em: <[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/RadarIDHM\\_Analise.pdf](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/RadarIDHM_Analise.pdf)>. Acesso em: 31 março 2019.

PNUD BRASIL. Ranking IDHM Municípios 2010. **PNUD Brasil**, 2019. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>>. Acesso em: 31 março 2019.

ROCHA, V. **Validação do Algoritmo do Programa Netuno para Avaliação do Potencial de Economia de Água Potável e Dimensionamento de Reservatórios de**

**Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edificações.** Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, p. 166. 2009.

ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, 461, 2009.

RODRIGUES-FILHO, S. et al. Election-driven weakening of deforestation control in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, 43, 2015. 111-118.

ROEBUCK, R.; OLTEAN-DUMBRAVA, C.; TAIT, S. Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom. **Water and Environment Journal**, 25, 2011. 355-365.

RUIZ, A. O legado do El Niño 2015. **CLIMATEMPO**, 22 setembro 2016. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/09/22/o-legado-do-el-nino-2015-0199>>. Acesso em: 25 março 2019.

SAITO, C. Segurança hídrica e direito humano à água. In: RUSCHEINSKY, A.; CALGARO, C.; WEBER, T. **Ética, direito socioambiental e democracia [recurso eletrônico]**. Caxias do Sul: EDUCS, 2018.

SAMPLE, D.; LIU, J. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. **Journal of Cleaner Production**, 75, 2014. 174-194.

SANTANA, D.; MEDEIROS, L. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações - Padrões de qualidade, critérios de instalação e manutenção.** Universidade de Brasília, ADASA. Brasília. 2017.

SANTANA, D.; MEDEIROS, L. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações - Padrões de qualidade, critérios de instalação e manutenção.** Universidade de Brasília, ADASA. Brasília, p. 68. 2017.

SCHIPPER, E. Conceptual History of Adaptation in the UNFCCC Process. **Review of European, Comparative & International Environmental Law**, 15, 2006. 82-92.

SCHIPPER, E. Conceptual history of adaptation in the UNFCCC process. **Rev Eur Commun Int Environm Law**, 15, 2006. 82-92.

SCHIPPER, L.; PELLING, M. Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. **Disasters**, 30, 2006.

SMIT, B. et al. An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability. **Climatic Change**, 45, 2000. 223-251.

SMIT, B.; SKINNER, M. ADAPTATION OPTIONS IN AGRICULTURE TO CLIMATE CHANGE: A TYPOLOGY. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 7, 2002. 85-114.

SMIT, B.; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global Environmental Change**, 16, 2006. 282-292.

SOARES JÚNIOR, D.; LEITÃO, M. Desenvolvimento local: o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) em Tupanatinga, PE. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, 18, n. 1, 2017. 75-87.

SRINIVASAN, V.; KONAR, M.; SIVAPALAN, M. A dynamic framework for water security. **Water Security**, 1, 2017. 12-20.

STERN, N. **Stern review: The economics of climate change**. Cambridge. 2006.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, 1, 23 Março 2017.

TCDF. Auditoria do TCDF revela que Adasa não sabe quantos usuários captam água diretamente no DF. **Tribunal de Contas do Distrito Federal**, 12 fevereiro 2019. Disponível em: <<https://www.tc.df.gov.br/auditoria-do-tcdf-revela-que-adasa-nao-sabe-quantos-usuarios-captam-agua-diretamente-no-df/>>. Acesso em: 23 março 2019.

TCU. **Avaliação da Ação Construção de Cisternas para Armazenamento de Água / Tribunal de Contas da União ; Relator Ministro Guilherme Palmeira**. Tribunal de Contas da União - Secretaria de Fiscalização e Avaliação de Programas de Governo. Brasília, p. 44. 2006.

TOL, R. et al. Distributional aspects of climate change impacts. **Global Environmental Change**, 14, 2004.

UN WATER. **Water Security & The Global Water Agenda - A UN-Water Analytical Brief**. [S.l.]. 2013.

UN WATER. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016 - Água e Emprego**. [S.l.]. 2016.

UNDP. **Human Development Report. Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis**. New York. 2006.

UNFCCC. **Acordo de Copenhague**. Copenhagen. 2009.

UNFCCC. Cancun Agreements, 16a Conferences of the Parties, Decision 1., 10 Dezembro 2010. 2010.

VIALLE, C. et al. Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: A case study in France. **Resources, Conservation and Recycling**, 102, 2015. 178-184.

VINCENT, K. Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. **Glob Environ Chang Hum Policy Dimens**, 17, 2007.

VIOLA, E. A POLÍTICA CLIMÁTICA GLOBAL E O BRASIL: 2005-2010. **Revista Tempo do Mundo**, 2, Agosto 2010.

WARD, S.; MEMON, F.; BUTLER, D. Performance of a large building rainwater harvesting system. **Water Research**, 46, 2012. 5127-5134.

WARING, S.; BROWN, B. The Threat of Communicable Diseases Following Natural Disasters: A Public Health Response. **Disaster Management & Response**, 3, n. 41, 2005.

WATERAID. **Water security framework**. London. 2012.

WEF. **The Bubble Is Close to Bursting: A Forecast of the Main Economic and Geopolitical Water Issues Likely to Arise in the World during the Next Two Decades**. [S.l.]. 2009.

WHITTINGTON, D.; SADOFF, C.; ALLAIRE, M. **The Economic Value of Moving Toward a More Water Secure World**. Stockholm. 2013.

WITTER, S.; WHITEFORD, S. Water security: the issues and policy challenges. **International Review of Comparative Public Policy**, 11, 1999. 1-25.

WWAP. **The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk**. Paris. 2012.

WWC. **World Water Vision. Comission Report. A Water Secure World Vision for Water, Life, and the Environment**. Cairo. 2000.