

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DE PLANOS DE ENFRENTAMENTO A EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: ADAPTAÇÃO E ROBUSTEZ A INCERTEZAS PROFUNDAS

*Yasmin Pacheco Pinheiro de Lira¹; Bruna Mattos Araújo² & Conceição de Maria Albuquerque
Alves³*

Abstract: The current management of complex systems – especially those related to the provision of basic sanitation services – involves making decisions in contexts of rapid and increasingly less predictable change. In recent years, new approaches have been proposed in the literature, aiming to incorporate the notion of risk into the planning of water systems and to allow for the continuous adjustment of management strategies to the evolving scenarios over time. This study proposed a qualitative assessment of two management and response plans to extreme climate events that occurred in Brazil in the last decade: the critical drought in the Federal District (2016–2018) and the floods in Rio Grande do Sul (2024). The results indicate an evolution in planning and crisis management methodologies within these federative entities, moving toward more flexible and adaptive decision-making processes. However, the analyzed documents also highlight the need for greater focus on more robust risk monitoring systems, as well as the development and incorporation of more modern methodologies that are already well established in international literature, such as adaptive planning approaches under deep uncertainty.

Resumo: A gestão atual de sistemas complexos – em especial aqueles relacionados à prestação de serviços de saneamento básico – envolve tomar decisões em cenários de mudanças rápidas e cada vez menos previsíveis. Recentemente, novas abordagens adaptativas têm sido propostas na literatura para a inserção da noção de risco no planejamento de sistemas hídricos e para promover adequação contínua das estratégias de gestão aos novos cenários que vão se revelando com o decorrer do tempo. Este trabalho propôs a avaliação qualitativa de dois planos de gestão e enfrentamento de eventos climáticos extremos ocorridos no Brasil na última década: a estiagem crítica no Distrito Federal (2016-2018) e as inundações ocorridas no Rio Grande do Sul em 2024. Os resultados indicam a evolução nas metodologias de planejamento e gestão de crise nesses entes federativos, que caminham rumo a processos de tomada de decisão mais flexíveis e adaptativos. Contudo, os documentos analisados também demonstram a necessidade de maior foco em sistemas de monitoramento de risco mais robustos, na evolução e na incorporação de metodologias mais modernas e já bem consolidadas na literatura internacional, como é o caso de abordagens de planejamento adaptativo em ambiente de incertezas profundas.

Palavras-Chave – Gestão adaptativa; Incerteza profunda; Resiliência climática

INTRODUÇÃO

A influência de fatores climáticos no cotidiano das sociedades deixou de ser uma previsão para se consolidar como uma realidade que afeta grande parte das comunidades ao redor do globo. Diversos fatores sociais, políticos e econômicos desenham cenários futuros permeados por uma

1) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Depto. Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil. E-mail: yasplira@gmail.com

2) Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Depto. Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil. E-mail: bruna.mattos.araujo@gmail.com

3) Professora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Depto. Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília/DF, Brasil. Email: cmaalves@gmail.com

quantidade cada vez maior de incertezas pouco previsíveis e por mudanças constantes. Enchentes, estiagens, mudanças em legislações e regulações, variações em taxas públicas e impostos são alguns exemplos de elementos complexos que impactam a operação e planejamento da prestação de serviços públicos essenciais. Sistemas hídricos e de abastecimento de água – classificados como complexos por sofrerem influência de múltiplos fatores que interagem entre si (Sayama, 2015) – se encontram em situação particularmente crítica: são altamente afetados por eventos do clima, e exigem grandes montantes de investimento e infraestrutura que normalmente envolvem escalas temporais de longo prazo.

A tarefa de planejar e gerir esses sistemas a longo prazo requer a análise de diversos tipos de incertezas e riscos, que estão cada vez menos previsíveis, dificultando a adequada caracterização das incertezas. Para tanto, metodologias adaptativas – que são capazes de se ajustar de forma eficaz às mudanças e incertezas (Marchau *et al.*, 2019) – têm se mostrado cada vez mais relevantes. Dentre elas, destacam-se as técnicas conhecidas como Tomada de Decisão Mediante Incertezas Profundas (*Decision Making Under Deep Uncertainty, DMDU*) que buscam construir estratégias de planejamento que mantenham desempenhos aceitáveis mesmo quando incertezas pouco ou não previsíveis influenciam a operação do sistema de estudo (Marchau *et al.*, 2019). Tais técnicas buscam adequar-se à realidade do mundo conforme os cenários futuros se revelam, viabilizando a construção de planos que se comprometam com ações de gestão no curto prazo e possam intercalar as opções de gestão de longo prazo quando essenciais. Essa lógica de gestão aproxima-se da dinâmica de tomada de decisão necessária para a operação de sistemas complexos, resultando em planos mais robustos para operação de sistemas hídricos e de abastecimento de água (Walker *et al.*, 2013a; Zeff *et al.*, 2016; Trindade *et al.*, 2019, Gold *et al.*, 2022).

Ainda que a literatura internacional tenha avançado significativamente na forma de pensar o planejamento de sistemas complexos em cenários cada vez menos previsíveis, no contexto nacional, faz-se necessário avaliar se os instrumentos de planejamento vigentes no Brasil incorporam tais premissas e se a adaptação está de fato sendo incorporada nos processos de planejamento e tomada de decisão vigentes nas instâncias decisórias. Portanto, este trabalho propõe uma análise qualitativa de dois Planos de enfrentamento a eventos climáticos extremos – do Distrito Federal (2016) e do Rio Grande do Sul (2024) – sob a ótica do grau de preparação para cenários afetados por incertezas profundas, e se os instrumentos propostos por tais normativas incorporam princípios de planejamento adaptativo e de gestão de riscos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

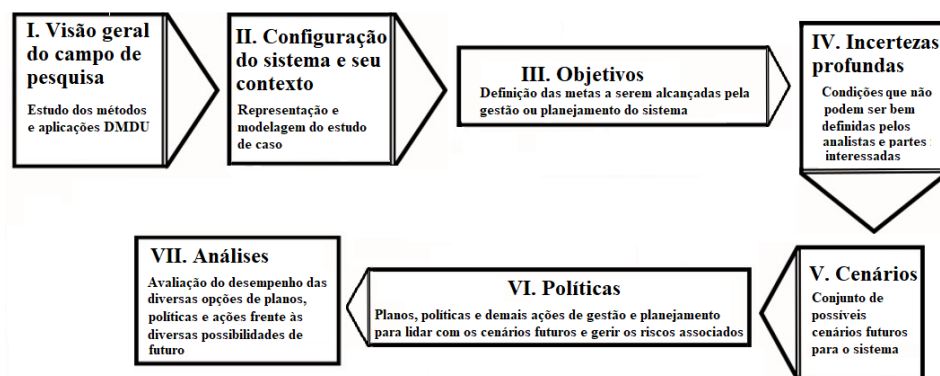
O planejamento e gestão de longo prazo de sistemas hídricos inexoravelmente envolve pensar sobre cenários futuros e, por consequência, sobre incertezas. No âmbito dos processos de tomada de decisão e planejamento, Marchau *et al.* (2019) definem as incertezas como a diferença entre o conhecimento disponível e o conhecimento que os gestores consideram necessário para implementar uma estratégia ideal de gerenciamento ou planejamento. Segundo Walker *et al.* (2013b), incertezas podem ser analisadas a partir de três dimensões: localização, que indica onde a incerteza se manifesta no sistema; nível, que aponta o grau de incerteza, variando entre ignorância total e conhecimento determinístico; e natureza, que se refere à origem da incerteza — se está relacionada à falta de conhecimento ou à variabilidade intrínseca do evento ou fator. Haasnoot *et al.* (2011) classificaram as incertezas em três categorias: incertezas naturais, dizem respeito à componente ambiental do sistema, abrangendo variabilidades espaciais, temporais ou epistemológicas; incertezas sociais, que derivam de respostas humanas imprevisíveis, dos valores e objetivos futuros, da capacidade de adaptação e aprendizado da sociedade, e dos processos de decisão envolvendo múltiplas partes interessadas; e incertezas tecnológicas, que resultam da modelagem de sistemas complexos,

envolvendo incertezas nos dados de entrada dos modelos, em seus parâmetros, ou ainda na compreensão limitada dos processos envolvidos.

Tradicionalmente, os processos de planejamento e tomada de decisão em sistemas hídricos têm se apoiado em métodos que associem incertezas a probabilidades de ocorrência, de forma a planejar-se especialmente para aqueles cenários que possuem maiores chances de concretizarem-se no futuro. Entretanto, nas últimas décadas diversos fatores que influenciam a operação desses sistemas vêm apresentando comportamentos sem precedentes históricos, com destaque para os eventos climáticos extremos e cada vez mais frequentes. Mudanças nos cenários políticos, nos contextos regulatórios, e a necessidade de implementação de tarifas de contingência aos usuários são outras situações pouco previsíveis. Nesse sentido, a literatura sobre planejamento e tomada de decisão vem destacando novas propostas metodológicas para lidar com as realidades sem precedentes que estão se concretizando, com destaque para o conjunto de técnicas comumente conhecidas como Tomadas de Decisão em Contextos de Incertezas Profundas (tradução livre de *Decision Making Under Deep Uncertainties*, *DMDU*). As incertezas profundas são definidas como situações de incerteza pouco ou não conhecidas por especialistas, não sendo possível chegar a um consenso sobre características como: a distribuição de probabilidades de ocorrência de eventos, o contexto externo do sistema, como ele funciona e quais suas delimitações, desdobramentos e importância, ou mesmo quais os objetivos o planejamento deve alcançar (Gold *et al.*, 2022; Trindade *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2015; Walker *et al.*, 2013a). Dentro do contexto de recursos hídricos, algumas condições que podem ser consideradas incertezas profundas são: os impactos das mudanças climáticas sob o sistema em estudo, a definição do valor das tarifas de água, os custos operacionais relacionados à manutenção de redes de abastecimento, a efetividade de medidas de incentivo à economia de água junto aos consumidores, as alterações nos dispositivos legais que regem a gestão de recursos hídricos e o fornecimento de água, e os usos competitivos dos recursos hídricos. Nesse sentido, Walker *et al.* (2013a) ressaltam que nem todas as incertezas sobre o futuro podem ser eliminadas e ignorá-las limita a capacidade de tomar ações corretivas, leva à perda de oportunidades e pode resultar na elaboração de planejamentos vulneráveis a longo prazo.

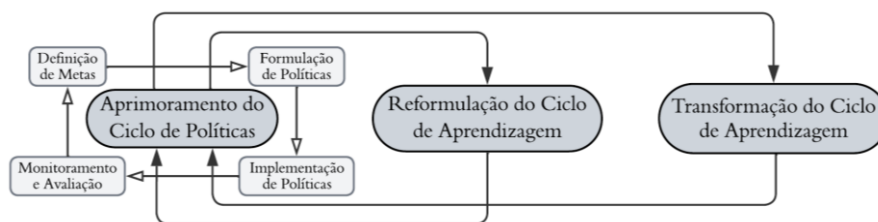
Ainda que a temática sobre incertezas profundas tenha avançado nas últimas décadas dentro da literatura internacional, no Brasil o tema ainda pode ser considerado incipiente, com poucos estudos que discutam ou considerem incertezas profundas em suas modelagens e análises. Nesse contexto, Araújo *et al.* (2023) propõem uma estrutura metodológica para incorporar incertezas profundas no planejamento e gestão de sistemas hídricos urbanos, apresentado na Figura 1. Alguns exemplos de aplicação de procedimentos para inclusão de incertezas profundas na tomada de decisão também podem ser consultados em Araújo *et al.* (2024) e em Pacheco e Alves (2023).

Figura 1 – Proposta de planejamento e gestão de sistemas hídricos sob a influência de incertezas profundas. Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2023).



De maneira complementar, Pahl-Wostl (2009) apresenta o conceito de análise adaptativa de políticas públicas em três níveis: “*single*”, “*double*” e “*triple-loop*”. A aprendizagem “*single-loop*” refere-se ao ajuste de ações para melhorar o desempenho sem questionar pressupostos já estabelecidos, focando em mudanças incrementais para atingir metas pré-definidas. Já a aprendizagem em “*double-loop*” envolve a reavaliação de pressupostos, promovendo a reformulação de objetivos e estratégias ao invés de apenas aceitá-los. Por fim, a aprendizagem “*triple-loop*” implica uma transformação profunda na estrutura da política, alterando paradigmas, normas e redes de atores. Esses níveis de aprendizagem estão apresentados de maneira esquematizada na Figura 2.

Figura 2 – Aprendizagem em três níveis aplicado a políticas públicas. Fonte: Adaptado de Pahl-Wostl (2009).



Diante disso, a incorporação das perspectivas de aprendizagem em múltiplos níveis, aliada a abordagens metodológicas voltadas à tomada de decisão sob incertezas profundas fornecem diferentes graus de reflexão para avaliação e implementação de políticas públicas. No contexto brasileiro, o aprofundamento desse debate é essencial para fortalecer a elaboração de planos governamentais para que esses documentos não apenas reconheçam a complexidade dos sistemas hídricos, mas também sejam capazes de se adaptar dinamicamente às incertezas que os afetam.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia desse trabalho consistiu na análise qualitativa do Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica do Distrito Federal e do Plano Rio Grande – Projetos Estruturantes. Ambos os documentos foram elaborados em decorrência de eventos climáticos extremos em seus respectivos territórios, cenários extremamente desafiadores e incertos. A análise proposta foi norteadada pelos elementos apresentados na Tabela 1, construída a partir da avaliação prévia da literatura sobre governança adaptativa, planejamento e gestão em cenários afetados por incertezas profundas. A construção desse quadro foi fundamentada no arcabouço conceitual proposto por Pahl-Wostl (2009), que destaca a importância da capacidade de adaptação das instituições para lidar com a complexidade e a incerteza inerentes a legislações que envolvem recursos naturais.

A primeira categoria do quadro consiste no “Reconhecimento da Incerteza”, aspecto indispensável para que sejam estabelecidas medidas mitigadoras, sendo por isso importante que os agentes envolvidos estejam cientes desse conceito. A segunda categoria diz respeito à “Capacidade Adaptativa”, aspecto bastante relevante para análise de cenários incertos. A terceira categoria refere-se à “Participação dos Atores Envolvidos” e procura analisar se há uma gestão colaborativa envolvendo poder público, setores econômicos (indústria, agricultura) e sociedade civil. Esse elemento é relevante para a análise proposta neste trabalho, visto que os agentes envolvidos precisam ter participação ativa prevista nos planos para assegurar sua efetividade de implementação. A categoria “Coordenação entre Níveis e Setores” avalia a existência de integração entre os níveis de governo e os diversos setores da sociedade, tendo em vista que uma política pública robusta requer um trabalho em conjunto das partes. Por fim, a categoria “Capacidade Técnica e Informacional” evidencia a importância da coleta constante de dados e a existência de ferramentas ou programas que procurem acompanhar a mudança dos cenários.

Complementarmente aos elementos de análise propostos por Pahl-Wostl (2009), foram incorporadas categorias provenientes do conjunto de abordagens de DMDU (Marchau *et al.*, 2019) que destacam a necessidade de planos que considerem as incertezas profundas existentes em seus contextos de aplicação, buscando robustez em diferentes cenários futuros possíveis. Ainda nesse sentido, foi considerada a metodologia de planejamento adaptativo sob incerteza profunda proposta por Araújo *et al.* (2023). Assim, foram criadas as categorias “Ações de Curto Prazo”, “Ações de Longo Prazo” e “Busca por Robustez”, que reforçam a necessidade de combinar ações de curto prazo (medidas emergenciais) e longo prazo (investimentos estruturais), bem como a construção de estratégias robustas frente a diferentes cenários futuros do sistema hídrico urbano.

O quadro analítico resultante contempla oito categorias para análise, apresentadas na Tabela 1. Para cada categoria, foram definidos: descrição conceitual; perguntas orientadoras, para guiar a análise dos documentos; e exemplos de indicadores esperados nos textos normativos.

Tabela 1 – Quadro para análise qualitativa dos planos

Categoria	Descrição	Perguntas orientadoras	Indicadores no documento
(1) Reconhecimento da Incerteza	Identificação da existência de incerteza.	O documento reconhece explicitamente a existência de incertezas (ambientais, climáticas, institucionais)?	Termos como "incerteza", "mudanças climáticas", "eventos extremos", "calamidade pública".
(2) Capacidade Adaptativa	Capacidade das instituições de revisar normas, estratégias ou decisões frente a novas informações.	O documento prevê mecanismos de revisão ou atualização periódica das diretrizes e metas?	Prazos de revisão, cláusulas de revisão, planos de monitoramento adaptativo, revisão periódica.
(3) Participação de Atores	Inclusão de múltiplos atores na formulação, implementação e avaliação dos planos.	O documento menciona participação da sociedade civil, atores locais, comitês de bacia, conselhos?	Mecanismos participativos, governança descentralizada, articulação multinível.
(4) Coordenação entre Níveis e Setores	Integração entre níveis de governo (nacional, estadual, municipal) e setores (recursos hídricos, clima, saneamento).	Há articulação entre diferentes níveis de governança e setores? Como é feita a coordenação?	Integração intersetorial, instâncias de governança compartilhada, parcerias públicas/pública-privada.
(5) Capacidade Técnica e Informacional	Coleta de dados, informações e sistemas de monitoramento.	O documento prevê coleta de dados, indicadores de alteração de cenários ou sistemas de alerta?	Indicadores de desempenho, redes de dados, sistemas de informações.
(6) Ações de Curto Prazo (Aspecto DMDU)	Previsão de medidas emergenciais, como tarifas de contingência, racionamento ou restrição de uso em crises hídricas.	Há previsão de medidas emergenciais específicas para situações críticas?	Tarifas de contingência, programas de racionamento, planos de contingência para estiagens e enchentes.
(7) Ações de Longo Prazo (Aspecto DMDU)	Planejamento de investimentos em expansão, novas infraestruturas, aumento da resiliência dos sistemas.	O documento planeja ações de longo prazo para aumento da segurança do sistema?	Construção de novas infraestruturas, diversificação de fontes, metas de expansão do sistema.
(8) Busca por Robustez (Aspecto DMDU)	Existência de soluções robustas que funcionem razoavelmente bem em vários cenários possíveis.	O documento discute robustez, resiliência ou alternativas para diferentes futuros?	Menções a políticas robustas, planos alternativos, abordagens resilientes.

A aplicação do quadro foi feita por meio de leitura dos planos, identificando os termos, instrumentos e dispositivos que respondam às perguntas orientadoras de cada categoria. Os documentos foram avaliados quanto à presença explícita, implícita ou ausência desses elementos, buscando identificar o grau de preparação institucional para enfrentar múltiplos futuros possíveis, incluindo eventos extremos e mudanças nas condições climáticas e ambientais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica do Distrito Federal

Um dos documentos analisados neste trabalho foi o “Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica” elaborado em 2017 pelo Governo do Distrito Federal (GDF). O plano apresenta estratégias, ações e metas voltadas à garantia do abastecimento de água e à preservação dos recursos hídricos diante de uma potencial crise hídrica no Distrito Federal. Inicialmente, realizou-se uma leitura exploratória, voltada à identificação de palavras-chave conforme os critérios estabelecidos na seção anterior. Posteriormente, foi realizada uma leitura mais aprofundada, com o objetivo de localizar trechos que evidenciassem a presença das categorias definidas no quadro analítico (Tabela 1).

A primeira categoria analisada foi o “Reconhecimento da Incerteza”, o plano aborda esta questão de forma implicitamente. Embora o documento não cite de maneira explícita a palavra “incertezas”, ele reconhece os efeitos das mudanças climáticas e a variabilidade histórica da precipitação, notando que os índices de precipitação no Distrito Federal mantiveram-se abaixo da média (estiagem). Ademais, o plano apresenta uma simulação do comportamento do reservatório, face a dois possíveis cenários climáticos, um de chuvas mínimas e outro intermediário, evidenciando a consideração de futuros incertos no planejamento.

Na segunda categoria foi analisada a presença de conceitos e definições referentes à “Capacidade Adaptativa”, na qual observa-se a presença explícita dessa habilidade. O documento detalha medidas adotadas para sustentar o abastecimento e ações e mecanismos a serem implantados para que haja continuidade de abastecimento ao longo de 2017 e a recuperação dos mananciais. As restrições de uso da água foram implementadas considerando o ritmo de queda dos reservatórios, as previsões de chuva para o Distrito Federal e o nível de consumo de água pela população, o que indica uma gestão responsiva e adaptativa às condições variáveis.

Quanto à terceira categoria, “Participação de Atores”, o plano evidencia explicitamente a participação de atores governamentais e menciona a população de forma mais passiva. Conforme descrito na seção 5.1, está prevista a formação de Comitê Técnico de Enfrentamento à Crise Hídrica composto por instituições como a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), Casa Civil, Defesa Civil, Secretaria de Agricultura e Desenvolvimento Rural (SEAGRI), entre outras. No entanto, o documento não detalha explicitamente mecanismos de participação ativa da sociedade civil ou comitês de bacia na formulação ou avaliação contínua deste plano específico.

De maneira similar, a quarta categoria trata da “Coordenação entre Níveis e Setores”, também identificada de maneira explícita no documento. Nota-se a integração entre os níveis federal e distrital, com destaque para a cooperação entre o Governo do Distrito Federal, o Estado de Goiás e a União na execução de obras de infraestrutura hídrica. Ademais, a referência à Política Nacional de Recursos Hídricos e à legislação distrital aponta para uma articulação entre diferentes esferas de governança.

A quinta categoria, “Capacidade Técnica e Informacional”, também foi contemplada no plano. Há menção à implementação de estações de monitoramento, que visam ampliar o conhecimento das áreas de maior demanda hídrica. Apesar de ser um artifício de grande relevância, o plano carece de sistemas voltados à transparência ou ao compartilhamento de informações com o público ou com outros atores do sistema. Ainda assim, por conter bases de monitoramento, essa categoria foi considerada como abordada de forma explícita.

Os itens seguintes, “Ações de Curto Prazo” e “Ações de Longo Prazo”, são apresentados nas categorias cinco e seis e correspondem aos aspectos relacionados ao conceito de DMDU. Ambas as

categorias foram identificadas ao longo do documento. No que se refere às medidas de curto prazo, o plano cita ações emergenciais, adequação de estradas rurais, controle da captação dos reservatórios, entre outras medidas. Já as medidas de longo prazo incluem obras de infraestrutura já em fase de implementação, como a construção de estações de captação e tratamento de água, além de incentivos à modernização dos sistemas de irrigação.

Por fim, a oitava categoria refere-se à “Busca por Robustez”, aspecto fundamental que também está relacionado ao conceito de DMDU. O plano não utiliza o termo “robustez” explicitamente. No entanto, aborda implicitamente aspectos relacionados à robustez e resiliência ao discutir alternativas para diferentes futuros e a sustentabilidade dos recursos. A consideração de dois possíveis cenários climáticos para o comportamento do reservatório e a proposta de diversificação de fontes, como a Captação Emergencial de Água no Lago Paranoá, são estratégias que buscam um desempenho satisfatório do sistema frente a variações.

Plano Rio Grande – Projetos Estruturantes

Após as estiagens e enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul nos últimos anos – em especial as cheias de 2024 – o governo estadual instituiu o Plano Rio Grande (Lei 16.134/2024), com ações para reconstrução, adaptação e resiliência climática. Essa iniciativa estratégica conta com diversos documentos, contudo, para os fins deste trabalho será dado foco no documento “Plano Rio Grande - Projetos Estruturantes”, estruturado em três eixos: Resiliência, Preparação e Reconstrução. A análise seguiu a mesma metodologia aplicada ao Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica, com leitura investigativa baseada nas palavras-chave da Tabela 1, seguida de revisão minuciosa para verificar a aplicação dos princípios nas categorias da tabela.

Para a primeira categoria analisada, “Reconhecimento da Incerteza”, não foram encontrados de forma explícita o termo “incertezas”, mas termos como “mudanças climáticas”, “eventos extremos” e “calamidade pública” foram mencionados no documento. A análise detalhada do Plano confirma que a utilização desses termos supera a superficialidade, pois a descrição dos projetos propostos – em especial daqueles pertencentes aos eixos de Resiliência e Preparação – mostram a preocupação do poder público em preparar as cidades e comunidades para serem mais adaptativas e capazes de responder rapidamente a eventos climáticos extremos. Dessa forma, pode-se considerar que o reconhecimento das incertezas foi explicitamente incorporado ao Plano Rio Grande.

A capacidade adaptativa prevista na segunda categoria do presente estudo é incorporada no Plano Rio Grande desde sua introdução, cuja seção 1.2 já deixa claro que a lista de projetos apresentada não é exaustiva, podendo ser complementada à medida que novas ações forem propostas e desenvolvidas. Além disso, é prevista a revisão de planos diretores municipais, de legislações e de regulamentações para enfrentamento de futuros climáticos adversos, especialmente ao longo da descrição dos projetos do eixo Resiliência. Dessa forma, considerou-se que a categoria “Capacidade Adaptativa” está incorporada explicitamente no documento.

Em relação à “Participação de Atores” indicada na terceira categoria de análise, ainda que se tenha percebido que diversos projetos só poderão ser concretizados por meio de mecanismos participativos e do envolvimento de diversos setores da sociedade, o modelo de governança multinível foi considerado com maior força no Projeto RIOS – resiliência, inovação e obras para o futuro do Rio Grande do Sul. Um dos principais projetos do eixo Resiliência, ele busca integrar diversos objetivos, ações estruturais e não estruturais em todas as escalas temporais e geográficas. Assim, embora esse seja um projeto potencialmente central do Plano Rio Grande, a perspectiva de modelo participativo poderia ser melhor destacada nos outros projetos estruturantes apresentados no documento. Considerando os pontos elencados, considera-se que o Plano Rio Grande incorpora implicitamente a participação de atores em seus projetos como um todo.

A quarta categoria, “Coordenação entre Níveis e Setores”, pareceu ser incorporada naturalmente em muitos dos projetos propostos, como é o caso dos sistemas de proteção a cheias para diversos municípios. Tal fato deve-se à necessidade de um planejamento territorial integrado – princípio ressaltado diversas vezes ao longo do Plano – e que tivesse as bacias hidrográficas como ponto de partida para a implementação de projetos estruturantes e não estruturantes. Frente ao exposto, a integração e articulação entre os diversos níveis federativos torna-se fundamental – o que também é ressaltado quando são listadas as instituições responsáveis pelos projetos, que muitas vezes incluem tanto secretarias estaduais quanto órgãos da esfera municipal de governo. Dessa forma, considera-se que essa categoria foi abordada de forma explícita.

A categoria seguinte, “Capacidade Técnica e Informacional” foi considerada reiteradas vezes dentro do Plano Rio Grande. Primeiramente, no que tange ao monitoramento constante das infraestruturas previstas em diversos projetos do eixo Resiliência. O eixo Preparação também dá grande foco a essa categoria, que destaca a necessidade da modernização e ampliação dos sistemas de monitoramento hidrometeorológico em todo o Rio Grande do Sul. Além disso, projetos para mapeamento topográfico do estado também estão previstos no documento, visando construir um modelo digital de terreno para todo o seu território, subsidiando o planejamento de reconstrução e ocupação urbana futuros. Tendo em vista os aspectos elencados, considera-se que essa categoria foi incorporada explicitamente no Plano Rio Grande.

As duas categorias seguintes, “Ações de Curto Prazo” e “Ações de Longo Prazo”, são mencionadas na Introdução do Plano Rio Grande, entretanto, apresentam uma perspectiva distinta daquela proposta nas pesquisas envolvendo DMDU. Isso porque, enquanto a literatura DMDU propõe que ações de curto prazo ainda tenham por objetivo a gestão de riscos de um sistema, no caso do documento em estudo as ações de curto prazo possuem caráter corretivo, buscando controlar uma situação crítica já concretizada, focando no restabelecimento de serviços essenciais e medidas de recuperação iniciais. Nesse sentido, percebe-se o protagonismo que o Plano Rio Grande concedeu aos cenários de enchentes – fato compreensível tendo em vista a contemporaneidade de sua elaboração com as cheias que assolaram diversos municípios do Rio Grande do Sul em 2024. Por outro lado, as ações de longo prazo apresentadas no documento coincidem com os objetivos das ações de longo prazo nas pesquisas DMDU: aumentar a resiliência e adaptação dos sistemas a incertezas profundas, gerenciando os riscos associados à ocorrência de eventos não previsíveis. Dessa forma, considera-se que a categoria “Ações de Curto Prazo” foi incorporada implicitamente no Plano Rio Grande, enquanto a categoria “Ações de Longo Prazo” foi incorporada explicitamente.

Por fim, em relação à categoria “Busca por Robustez”, o Plano Rio Grande não menciona o termo robustez, no entanto, seus projetos são estruturados buscando maior resiliência das cidades e comunidades do estado. Isso fica claro inclusive na estruturação de um eixo específico de atuação, o eixo Resiliência, conforme já mencionado. Esse eixo propõe projetos para prover as cidades com infraestruturas que as protejam de maneira mais eficaz contra eventos climáticos extremos, incluindo ações nas áreas de saneamento básico, fornecimento de energia elétrica, telefonia e rodovias. Frente ao exposto, ainda que o termo robustez não tenha sido incorporado de forma importante no Plano Rio Grande, um de seus eixos centrais consiste na busca por uma maior capacidade de adaptação e de proteção das cidades, de forma que seus diversos sistemas se mantenham operantes mesmo em situações de ocorrência de eventos climáticos extremos. Portanto, considera-se que esse conceito converge com o proposto nas análises de robustez apresentadas em pesquisas DMDU, de forma que a categoria “Busca por Robustez” é incorporada implicitamente no documento.

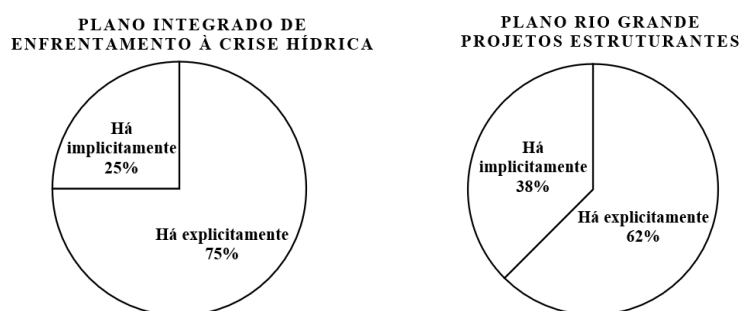
A partir da consolidação das análises, observa-se que a maioria dos aspectos do Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica está presente de forma explícita, correspondendo a 75% das

ocorrências (Figura 3), o que demonstra um significativo alinhamento com os elementos essenciais para a gestão de situações críticas. Desse modo, as categorias “Reconhecimento da Incerteza” e “Busca por Robustez” manifestaram-se implicitamente, embora o plano não articule esses conceitos de forma direta com os termos teóricos, suas premissas foram consideradas na prática, como na resposta governamental à estiagem e na estruturação de ações baseadas na consideração de diferentes cenários hidrológicos e climáticos futuros. Apesar da consideração desses cenários, o plano poderia detalhar mais explicitamente estratégias robustas para garantir um desempenho satisfatório do sistema diante de uma gama mais ampla de incertezas, indicando que há espaço para o aprimoramento conceitual e estratégico na incorporação dessas abordagens.

Tabela 2 – Diagnóstico dos planos analisados

Categoria	Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica	Plano Rio Grande – Projetos Estruturantes
	Análise	Análise
1 - Reconhecimento da Incerteza	Há implicitamente	Há explicitamente
2 - Capacidade Adaptativa	Há explicitamente	Há explicitamente
3 - Participação de Atores	Há explicitamente	Há implicitamente
4 - Coordenação entre Níveis e Setores	Há explicitamente	Há explicitamente
5 - Capacidade Técnica e Informacional	Há explicitamente	Há explicitamente
6 - Ações de Curto Prazo (Aspecto DMDU)	Há explicitamente	Há implicitamente
7 - Ações de Longo Prazo (Aspecto DMDU)	Há explicitamente	Há explicitamente
8 - Busca por Robustez (Aspecto DMDU)	Há implicitamente	Há implicitamente

Figura 3 – Diagnóstico dos planos analisados. Fonte: Elaboração própria



O diagnóstico consolidado das análises do Plano Rio Grande demonstra uma efetiva incorporação de princípios de adaptação e resiliência para lidar tanto com os impactos das enchentes de 2024, quanto com o planejamento para um futuro em que eventos climáticos extremos estarão cada vez mais presentes. Essa análise pode ser confirmada pelo panorama apresentado na Tabela 2 e na Figura 3, que demonstram que todas as categorias consideradas na proposta metodológica deste trabalho foram incorporadas no Plano Rio Grande, ainda que de forma implícita. Contudo, cabe ressaltar que as variáveis envolvidas no planejamento e gestão de sistemas complexos muitas vezes tornam o processo de tomada de decisão extremamente desafiador. Nesse sentido, ferramentas como as análises DMDU já provaram ser importantes facilitadores desses processos (Walker *et al.*, 2013a; Zeff *et al.*, 2016; Trindade *et al.*, 2019, Araujo *et al.*, 2023), o que justificaria a incorporação mais aprofundada dos princípios DMDU em planos de adaptação a mudanças climáticas, como é o caso do segundo documento analisado neste trabalho.

CONCLUSÕES

Eventos climáticos extremos já deixaram de ser previsões integrantes de um futuro hipotético, e já constituem realidade em várias partes do Brasil. Da mesma forma, outras incertezas influenciam a tomada de decisão e a gestão de sistemas complexos e possuem características difíceis de serem definidas. A análise do Plano de Enfrentamento à Crise Hídrica no Distrito Federal e do Plano Rio Grande (Projetos Estruturantes) demonstrou a evolução das estratégias de gestão de sistemas complexos em direção a métodos mais adaptativos – o que já representa grande avanço e evidencia que lições estão sendo assimiladas a partir de situações críticas vivenciadas nesses locais.

Contudo, ainda há importantes melhorias a serem realizadas, principalmente no que tange à incorporação de sistemas de monitoramento de riscos mais robustos e conectados ao processo de tomada de decisão. É necessário priorizar a definição clara dos objetivos do sistema e dos critérios mínimos de desempenho que ele deve atender, investindo em ferramentas de monitoramento que identifiquem rapidamente riscos inaceitáveis e acionem ações para sua gestão e melhoria, de maneira preventiva. Esses pontos ainda estão implícitos nos Planos estudados, e poderiam ser melhor incorporados com a aplicação de conceitos e ferramentas já consolidados na literatura internacional – como é o caso das abordagens DMDU.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, B. M.; et al. (2023). “A general methodology for adaptive planning of urban water systems under deep uncertainty.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 28, e26.
- ARAÚJO, B. M. et al. (2024). “Exploring equity challenges within deeply uncertain water supply investment pathways in the Federal District of Brazil.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 150, n. 8, p. 04024030, 2024.
- DISTRITO FEDERAL. (2017). *Plano Integrado de Enfrentamento à Crise Hídrica*. Governo do Distrito Federal, Brasília – DF, 91 p.
- GOLD, D. F.; REED, P. M.; GORELICK, D. E.; CHARACKLIS, G. W. (2022). “Power and pathways: Exploring robustness, cooperative stability, and power relationships in regional infrastructure investment and water supply management portfolio pathways.” *Earth's Future*, 10(2). <https://doi.org/10.1029/2021EF002472>
- HAASNOOT, M.; MIDDELKOOP, H.; VAN BEEK, E.; VAN DEURSEN, W. P. A. (2011). “A method to develop management strategies for an uncertain future.” *Sustainable Development*, 19, pp. 369–381.
- MARCHAU, V. A. W. J.; WALKER, W. E.; BLOEMEN, P. J. T. M.; POPPER, S. W. (2019). *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. Springer, 405 p.
- PACHECO, G. C. R.; ALVES, C. M. A. (2023). “The influence of deep uncertainties in the design and performance of residential rainwater harvesting systems.” *Water Resources Management*, v. 37, n. 4, p. 1499–1517.
- PAHL-WOSTL, C. (2009). “A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes.” *Global Environmental Change*, 19(3), pp. 354–365.
- RIO GRANDE DO SUL. (2024). *Plano de Enfrentamento às Enchentes 2024*. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 50 p.
- SAYAMA, H. (2015). *Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems*. Binghamton University, State University of New York, 496p.
- SINGH, R.; REED, P. M.; KELLER, K. (2015). “Many-objective robust decision making for managing an ecosystem with a deeply uncertain threshold response.” *Ecology and Society*, 20(3).
- TRINDADE, B. C.; GOLD, D. F.; REED, P. M.; ZEFF, H. B.; CHARACKLIS, G. W. (2020). “Water pathways: An open source stochastic simulation system for integrated water supply portfolio management and infrastructure investment planning.” *Environmental Modelling & Software*, 132.
- TRINDADE, B. C.; REED, P. M.; CHARACKLIS, G. W. (2019). “Deeply uncertain pathways: Integrated multi-city regional water supply infrastructure investment and portfolio management.” *Advances in Water Resources*, 134.
- WALKER, W. E.; HAASNOOT, M.; KWAKKEL, J. H. (2013a). “Adapt or perish: A review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty.” *Sustainability (Switzerland)*, 5, pp. 955–979.
- WALKER, W. E.; LEMPERT, R.; KWAKKEL, J. H. (2013b). “Deep Uncertainty.” In: *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. Springer, pp. 395–402.
- ZEFF, H. B.; HERMAN, J. D.; REED, P. M.; CHARACKLIS, G. W. (2016). “Cooperative drought adaptation: Integrating infrastructure development, conservation, and water transfers into adaptive policy pathways.” *Water Resources Research*, 52, pp. 7327–7346.