

GOVERNANÇA DE SISTEMA HÍDRICO SOB A ÓTICA DO ARCABOUÇO DE ROBUSTEZ

Regina Maria Pereira de **Souza**¹, Maycon Breno Macena da **Silva**², Márcia Maria Rios **Ribeiro**³, Daniela de Freitas **Lima**⁴

(1 - Universidade Federal de Campina Grande, regina.pereira@estudante.ufcg.edu.br, <https://orcid.org/0000-0001-5382-583X>; 2 - Universidade Federal de Campina Grande, sbrenomacena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3526-5442>; 3 - Universidade Federal de Campina Grande, marcia.ribeiro@ufcg.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-3446-6752>; 4 - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, danielafreitas1218@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2984-7742>)

Resumo: Os problemas na região semiárida brasileira resultam não apenas da escassez hídrica, mas da ausência ou da inadequada governança da água. O estudo dessa governança tem se intensificado, buscando definir formas de mitigar efeitos danosos e entender dinâmicas de funcionamento de sistemas hídricos. Este artigo analisa a governança do sistema hídrico formado pelos reservatórios Engenheiro Avidos e São Gonçalo, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu, no Semiárido da Paraíba. A área estudada apresenta complexidades quanto aos seus aspectos institucionais como a dupla dominialidade dos rios (União e estado). Para o desenvolvimento do estudo foi empregado o arcabouço de robustez como ferramenta heurística de análise. Dessa forma, caracterizaram-se os elementos que compõem o sistema hídrico: usuários, aspectos institucionais e dinâmicas de funcionamento, identificando-se assim os pontos positivos e negativos. A pesquisa conclui que, apesar de aperfeiçoamentos se fazerem necessários, o sistema estudado já apresenta robustez na sua governança.

Palavras-chave: Semiárido; governança da água; sistema socioecológico.

GOVERNANCE OF WATER SYSTEM UNDER THE PERSPECTIVE OF THE ROBUSTNESS FRAMEWORK

Abstract: Problems in the Brazilian semi-arid region result not only from water scarcity, but also from the absence or inadequate water governance. The study of this governance has intensified, seeking to define ways to mitigate unwanted effects and understand dynamics of functioning of water systems. This article aims to analyze the governance of the water system composed by the Engenheiro Avidos and São Gonçalo reservoirs, located in the Piancó-Piranhas-Açu River Basin, in the semi-arid region of Paraíba. This area has complexities in terms of its institutional aspects, such as the dual ownership of the rivers (Union and State). For the development of the study, the robustness framework was used as a heuristic analysis tool. The elements that make up the water system were characterized: users, institutional aspects and its operating dynamics. So it was possible to identify positive and negative points. The research concludes that, despite some improvements being necessary, the system presents robustness in its governance.

Keywords: Semi-arid; water governance; socioecological system.

GOBERNANZA DEL SISTEMA HÍDRICO BAJO LA PERSPECTIVA DEL MARCO DE ROBUSTEZ

Resumen: Los problemas en la región semiárida brasileña no solo resultan de la escasez de agua, sino también de la ausencia o gobernanza inadecuada del agua. El estudio de esta gobernanza se ha intensificado, buscando definir formas de mitigar los efectos nocivos y comprender las dinámicas de funcionamiento de los sistemas hídricos. Este artículo analiza la gobernanza del sistema hídrico formado por los embalses Engenheiro Avidos y São Gonçalo, pertenecientes a la Cuenca del Río Piancó-Piranhas-Açu, en el Semiárido de Paraíba. La zona estudiada presenta complejidades en cuanto a sus aspectos institucionales, como la doble dominancia de los ríos (Unión y estado). Para el desarrollo del estudio, se empleó el marco de robustez como herramienta heurística de análisis. De esta manera, se caracterizaron los elementos que componen el sistema hídrico: usuarios, aspectos institucionales y dinámicas de funcionamiento, identificando así los puntos positivos y negativos. La investigación concluye que, aunque se requieran las mejoras, el sistema estudiado ya presenta robustez en su gobernanza.

Palabras clave: Semiárido; gobernanza del agua; sistema socioecológico.

Introdução

O Semiárido brasileiro, sujeito à variabilidade climática, pode vivenciar ciclos de anos de escassez hídrica. Essas perturbações demandam a necessidade de adaptação da população às condições ambientais (Pereira & Cuellar, 2015). O contexto exige que a governança da água seja a mais efetiva possível a fim de evitar (ou pelo menos, minimizar) os conflitos pelo uso dessa água.

Muitos fatores sociais ou naturais podem adicionar desafios para a governança da água, como a alocação de recursos, as diferentes políticas setoriais e as mudanças climáticas (Silva, 2022). Quando bem formulada para superar esses desafios, a governança desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de políticas públicas eficientes para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico [OCDE], 2015; Valdés-Pineda et al., 2014).

Arelada à discussão da governança, está a gestão hídrica. A gestão pode ser compreendida como a operacionalização da governança se dedicando a aspectos como a implementação das decisões tomadas no âmbito da governança (Armitage et al., 2012; Observatório da Governança das Águas [OGA], 2019; Pahl-Wostl, 2009). Silva e Ribeiro (2023) abordam que a gestão está associada às decisões operacionais executadas com o objetivo de atingir as metas estabelecidas, enquanto a governança engloba, de maneira mais ampla, as arenas onde as decisões são tomadas e as políticas são formuladas. Assim, observa-se que a gestão e a governança apresentam conceitos distintos, apesar das interrelações.

Nesse contexto de discussão de governança e gestão é notável um interesse das ciências econômicas e das ciências sociais em reduzir a degradação ambiental e melhorar o bem-estar social da sociedade diante da exploração de recursos de uso comum, como a água (Guimarães, 2013; Simões et al., 2011). Esse interesse interdisciplinar tem sido importante para a integração de abordagens emergentes na pesquisa ambiental e socioeconômica (Kammen, 2013; Kinnebrew et al., 2020), além disso, oferece um potencial substancial para uma melhor representação, exploração e previsão da dinâmica socioecológica (Synes et al., 2019).

Elinor Ostrom (1933-2012) foi uma memorável cientista política na difusão de conhecimento interdisciplinar para a governança e gestão de recursos naturais (Bernardino, 2014). Dentre as contribuições de Ostrom (1990, 2009) estão os princípios institucionais para uma boa governança de recursos de uso comum (Ortiz & Gutiérrez, 2019), que têm sido amplamente utilizados para diagnosticar a funcionalidade das instituições (Gari et al., 2017); e

a estrutura para a análise de sistemas socioecológicos (SSE), que tem a capacidade de investigar sistemas complexos e suas dinâmicas (Oliveira et al., 2022). Os SSE são caracterizados pela interação entre componentes da dimensão social com unidades ecológicas (Anderies et al., 2004).

O Arcabouço de Robustez de Sistemas Socioecológicos é outra estrutura heurística de análise que foi desenvolvida por Ostrom e colaboradores, com o objetivo de auxiliar os SSE na busca por adaptação e robustez em termos de governança (Anderies et al., 2004). Apesar da robustez se assemelhar à resiliência na busca por superação de perturbações de um sistema (Janssen & Anderies, 2007), esses conceitos se diferem pois a robustez está interessada em manter um sistema com certo desempenho diante de estresses, usando redes de *feedbacks* do próprio sistema (Anderies & Janssen, 2013; Janssen & Anderies, 2013). Para a resiliência, a importância está em passar pela perturbação (Gunderson et al., 2022; Holling, 1973), quando o SSE apresenta a possibilidade de se adaptar ou suportar as situações atípicas (Jiménez et al., 2020).

Esta pesquisa apresenta uma proposta de análise da governança de um sistema hídrico composto pelos reservatórios Engenheiro Avidos e São Gonçalo, na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu, na porção Semiárida da Paraíba. Inicialmente, explana-se a relação da robustez enquanto característica sistêmica e do arcabouço de robustez como ferramenta de análise. Em seguida, caracteriza-se o caso de estudo, os procedimentos metodológicos adotados e os resultados e discussões. O estudo contribui para a discussão da boa governança da água de maneira multinível, considerando os sistemas hídricos como um nível importante de planejamento.

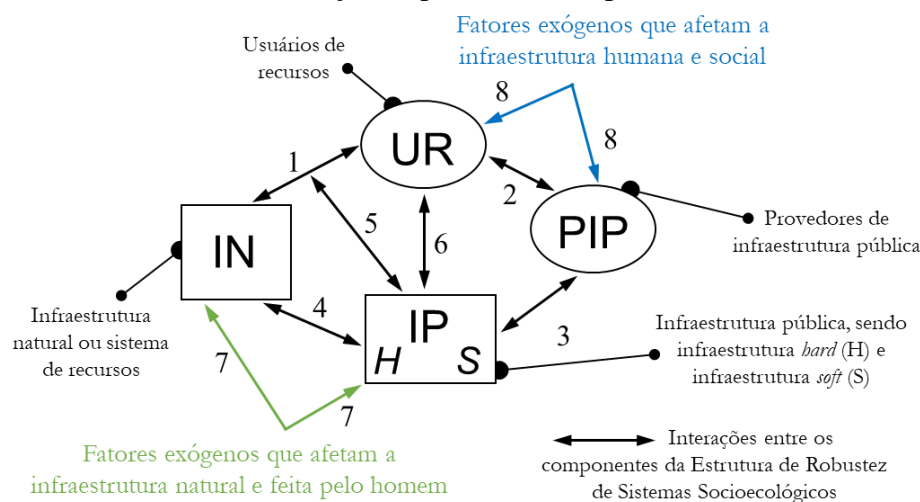
Robustez: característica sistêmica e estrutura de análise

Para Janssen e Anderies (2007), os SSE são sujeitos a variadas perturbações, de modo que o seu desempenho é analisado com base em medidas quantitativas e características desejáveis. Os autores também entendem que um sistema ao se tornar robusto diante de estresses conhecidos, pode se tornar vulnerável diante de outros. Por isso, é importante que um SSE seja visto de maneira ampla, observando as interações entre vários componentes, para que a governança seja capaz de lidar com as problemáticas também de forma ampliada.

Com o objetivo de realizar uma análise mais detalhada das interações existentes em um SSE, Anderies et al. (2004) propuseram o Arcabouço de Robustez de Sistemas Socioecológicos

como ferramenta heurística de análise (Figura 1). Essa ferramenta de análise foi elaborada para permitir explorar *feedbacks*, ações e dinâmica de um SSE para que ele possa ser aperfeiçoado (Naylor et al., 2019).

Figura 1 – Arcabouço de Robustez de Sistemas Socioecológicos com os *links* de 1 a 8 que diferenciam as interações a partir dos componentes envolvidos.



Fonte: Adaptada de Anderies et al. (2019) por Silva e Ribeiro (2023).

Estabeleceu-se, inicialmente, que esta estrutura deveria ser capaz de abordar três aspectos centrais, sendo eles: cooperação e potencial de participação na dimensão social; a dinamicidade da dimensão ecológica; e as possíveis mudanças nos recursos naturais, isto é, os muitos estados que uma dimensão natural pode assumir (Anderies et al., 2004). Entre os estudos que sugerem aperfeiçoamentos para a estrutura de robustez elencam-se Anderies e Janssen (2013), Naylor et al. (2019) e Anderies et al. (2019).

O arcabouço de robustez divide o SSE em quatro componentes individuais (Figura 1): a Infraestrutura Natural (IN), que trata do sistema de recursos naturais; os Usuários de Recursos (UR), que são os atores que usufruem dos recursos da IN; os Provedores de Infraestrutura Pública (PIP), que podem ser indivíduos ou entidades governamentais que influenciam a criação de regras e as ações dos UR; e a Infraestrutura Pública (IP), que pode ser *hard* (aspectos físicos, como obras de engenharia) e *soft* (as regras utilizadas) (Anderies et al., 2019; Naylor et al., 2019; Silva & Ribeiro, 2023). Por vezes, a utilização da IN pelos UR se dá pela presença da IP *hard*, o que demonstra bastante conexão de todos esses componentes.

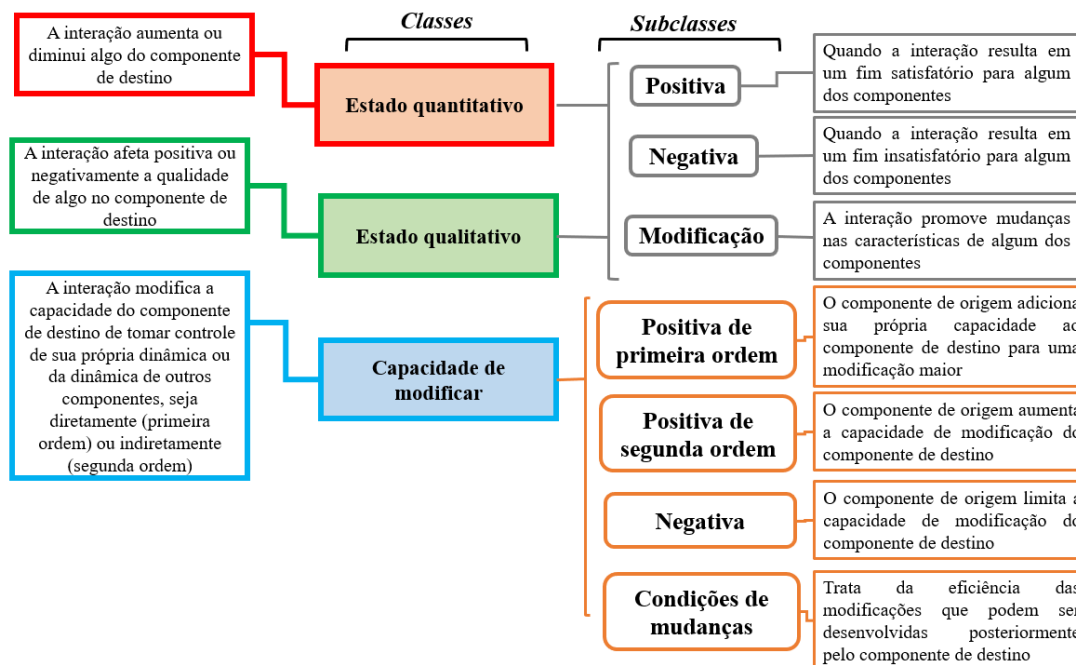
Os componentes (IN, UR, PIP e IP) do arcabouço de robustez são conectados por interações e possíveis consequências que são representadas por *links* enumerados de 1 a 8 (as setas, ↔, na Figura 1). Para caracterizar essas interações, Anderies et al. (2019) propuseram uma lista de verbos, de modo a resumir cada ação existente entre os componentes em uma única palavra. Na Tabela 1 é apresentada a lista de verbos sugerida pelos autores e que pode ser adotada na análise de robustez de um SSE. A tabela divide os verbos em três categorias principais e em algumas subcategorias que são melhor explicadas na Figura 2.

Tabela 1 - Categoria de verbos para apoiar ou inibir a capacidade adaptativa.

Categorias	Subcategorias	Possíveis verbos
Quantidade	Positivo	Proporcionar, enriquecer, financiar, informar, fornecer, investir, atrair
	Negativo	Extrair, roubar, investigar, aumentar, destruir, desperdiçar, competir, explorar, inundar
	Alterar característica	Concentrar, migrar, restringir, modificar
Qualidade	Positivo	Cuidar, reparar, proteger, desfrutar, idealizar, revigorar, restaurar, coordenar, relaxar
	Negativo	Poluir, corroer, vandalizar, assustar, culpar, pressurizar, exigir, danificar
	Alterar característica	Manter, resistir, utilizar, preservar, adaptar, tomar posse, apropriar, vender, excluir, incluir, alterar
Capacidade de modificar	Primeira ordem positiva	Apoiar, ajudar, mitigar, ajustar, aconselhar, autorizar, nomear, conceder
	Segunda ordem positiva	Fazer <i>lobby</i> , capacitar, responsabilizar, legitimar, valorizar, revigorar, educar, implementar, peticionar, estimular, esperar, envolver, consultar, incentivar, influenciar, fazer promessas para
	Negativo	Criticar, ignorar, distrair, restringir, limitar, tornar obsoleto, perturbar, subornar, reclamar, negar, sancionar, processar, protestar, desafiar
	Condições de mudança	Habilitar, moldar, regular, controlar, justificar, envolver, facilitar, redefinir, designar, priorizar, planejar

Fonte: Adaptado de Anderies et al. (2019).

Figura 2 - Classes e subclasses para categorizar e analisar as interações existentes entre os componentes do arcabouço de robustez.



Fonte: Adaptado de Silva e Ribeiro (2023).

Além da análise baseada em verbos, Anderies et al. (2019) apresentaram arquétipos desenvolvidos com base em estudos anteriores (Tabela 2), para tentar compreender o nível de complexidade do sistema e de sua governança. Compreender essa complexidade pode ser uma oportunidade para pensar e elaborar mecanismos no âmbito da governança com o intuito de responder aos desafios a que um sistema hídrico possa ser submetido (Silva & Ribeiro, 2023).

Tabela 2 – Caracterização simplificada dos arquétipos do sistema socioecológico.

Arquétipo	Caracterização do arquétipo
I	Não é registrada uma estrutura de <i>feedbacks</i> que representa o relacionamento entre os usuários e o sistema de recurso.
II	A interação entre UR e PIP é informal, sendo as ações do primeiro grupo fortemente influenciadas pela infraestrutura compartilhada.
III	Formalização das funções dos PIP e maior controle dos <i>feedbacks</i> do sistema. Ainda há flexibilizações no IP que auxiliam na dinâmica da IN. A dinâmica do sistema principal é fortemente influenciada pela IN.
IV	Modificações da paisagem pelo IP, que demandam mais manutenções e pressionam o sistema de recursos. PIP mobilizam mais meios na infraestrutura privada. Apresenta mais complexidades que o Arquétipo III, porém, os UR são simplificados quanto aos seus usos.
V	Diferentes finalidades na utilização da IN colaboram para conflitos entre UR, que também são muitos e heterogêneos, havendo complexas interações na IP e PIP atuando em vários níveis de gestão.

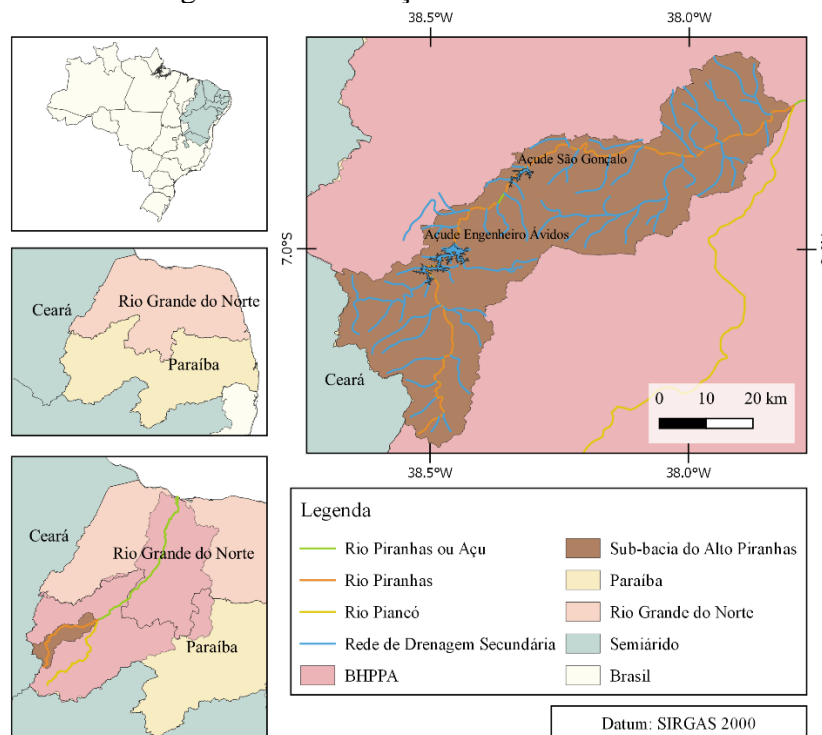
UR - Usuários de Recursos; IN – Infraestrutura Natural; PIP - Provedores de Infraestrutura Pública; IP- Infraestrutura Pública.

Fonte: Adaptada de Anderies et al. (2019).

Caso de estudo

O sistema hídrico composto pelos reservatórios Engenheiro Avidos e São Gonçalo (Figura 3) está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA). Esta bacia é compartilhada pelos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte com distribuição territorial de 60% e 40%, respectivamente. A área total de drenagem é 43.683 km² abrangendo 147 municípios (Agência Nacional de Águas [ANA], 2018a).

Figura 3 - Localização do sistema hídrico.



Fonte: Autoria própria (2023).

Os reservatórios em série representam a principal reserva hídrica superficial da sub-bacia do Alto Piranhas com distância de 27 km entre eles (ANA, 2018a). O reservatório Engenheiro Avidos está localizado no município de Cajazeiras - PB, possui um volume de 255 hm³ e um volume mínimo de 26,78 hm³ (ANA, 2016). O reservatório São Gonçalo está localizado no município de Sousa - PB, com um volume de 44,6 hm³ e um volume mínimo de 2,98 hm³ (ANA, 2016).

O sistema hídrico é interligado por um trecho do rio Piranhas. O curso superior do rio Piranhas-Açu, na parte a montante do encontro com o Rio Piancó, forma uma sub-bacia, Alto Piranhas, inserida totalmente na Paraíba. Todos os rios nessa sub-bacia possuem dominialidade

estadual, inclusive o rio que forma o curso principal (ANA, 2004; Santos et al., 2020). Os dois reservatórios analisados foram construídos com recursos financeiros da União, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), por isso a água armazenada tem dominialidade da União. Esse aspecto amplia o arcabouço normativo e institucional para a governança da água do sistema hídrico e demanda maior articulação dos órgãos gestores: a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), como órgão gestor dos recursos hídricos de domínio estadual e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), como órgão gestor dos recursos hídricos da União.

É registrada na área de estudo precipitações médias que variam entre 400 e 800 mm anuais, taxas de evapotranspiração que podem chegar a mais de 2000 mm/ano, além de dispor de solos rasos inseridos em um substrato cristalino que apresenta baixa capacidade de armazenamento (ANA, 2021a). Esses fatores contribuem para a existências de períodos cíclicos de escassez hídrica, que afeta negativamente os usuários do sistema e colabora para o surgimento de crises e conflitos. Além das características intrínsecas do Semiárido nordestino, outras características climáticas em nível global contribuem para ocorrência de secas, como as temperaturas dos oceanos e a ciclicidade do El Nino (Marengo et al., 2018).

Entre os anos de 2015 e 2018, o sistema hídrico estudado enfrentou uma grave crise hídrica, sendo registrada uma redução acentuada nos volumes dos reservatórios. No ano de 2015, o reservatório Engenheiro Avidos atingiu o seu volume morto. Como o reservatório São Gonçalo se encontra a jusante no sistema e é dependente do primeiro açude, também sofreu fortes impactos, comprometendo o abastecimento do município de Sousa - PB e do Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG) (ANA, 2018b).

Desde 2015, o Sistema Hídrico Engenheiro Avidos/São Gonçalo passa, anualmente, pelo processo de alocação negociada de água que é uma ferramenta participativa para o planejamento e a resolução de conflitos (Silva & Ribeiro, 2022). O sistema passou a ter um marco regulatório, o qual apresenta regras gerais para a sua gestão (ANA, 2018b; 2021b). Além disso, o sistema é receptor das águas do Rio São Francisco, por meio do Canal Caiçara-Avidos, que faz parte do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) (Brasil, 2022). O reservatório Engenheiro Avidos é receptor das águas do Rio São Francisco desde janeiro de 2022. Através do PISF, o sistema passa a ter aporte de outra bacia hidrográfica por meio da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), não

dependendo unicamente da dinâmica hidrológica da bacia de drenagem. Esse fator demanda maior articulação institucional na governança da água do sistema hídrico.

Metodologia

A metodologia, de caráter descritivo e exploratório, propõe desenvolver uma análise da governança da água por meio do Arcabouço de Robustez de Sistemas Socioecológicos (Anderies et al., 2004; Anderies et al., 2019; Janssen & Anderies, 2013) buscando qualificar as interações entre as dimensões ecológica, social, institucional e construída que impactam na governança. Uma análise documental foi realizada com base em normas, legislações, resoluções, termos e reuniões de alocação negociada de água, o marco regulatório do sistema, artigos, dissertações e teses.

A análise do sistema hídrico e de sua governança foi considerada para a escala temporal de 2011 até 2022. Esse período foi adotado devido a ocorrência de eventos relevantes, como a presença de crises hídricas, conflitos pelo uso da água e tentativa de resolução, desenvolvimento e aplicação de marcos regulatórios, processos de alocação negociada de água e o recebimento das águas provenientes do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

Inicialmente foram caracterizados os quatro componentes que formam o arcabouço de robustez: Infraestrutura Natural (IN), Usuários de Recurso (UR), Provedores de Infraestrutura Pública (PIP) e a Infraestrutura Pública (IP). A descrição desses componentes foi realizada ao se responder às perguntas da Tabela 3.

Tabela 3 - Suporte para a caracterização dos componentes do arcabouço de robustez.

Componente	Indagações
Usuários de recursos (UR)	Para quais usos são destinadas as águas do sistema hídrico analisado?
Infraestrutura Natural (IN)	Quais corpos hídricos compõem o sistema de recursos do caso analisado e quais suas principais características?
Infraestrutura Pública (IP)	Quais os principais dispositivos legais e normativos que orientam o planejamento do sistema hídrico? Quais são as infraestruturas físicas que impactam a dinâmica do sistema hídrico?
Provedores de Infraestrutura Pública (PIP)	Que entidades formam o conjunto institucional que promove a governança da água no sistema hídrico?

Fonte: Autoria própria (2023).

Com o objetivo de analisar as interações entre esses componentes adotou-se o método proposto por Anderies et al. (2019). O método definiu uma lista de verbos (Tabela 1) para representar os *links* entre os componentes, buscando compreender melhor o sistema e encontrar espaços para que ele possa ser aperfeiçoado. Esses *links*, ao serem representados por verbos, ajudaram a explicar a capacidade de modificação de um componente em relação a outro e podem ser categorizados de acordo com as classes da Figura 2.

Finalizadas as etapas de caracterização dos componentes, definição e caracterização das interações entre esses componentes, foi realizado o enquadramento do sistema e sua governança em algum dos arquétipos de complexidade definidos por Anderies et al. (2019) (Tabela 2). As informações adquiridas nas duas primeiras etapas foram subsídio para esta última.

Resultados e discussão

Componentes do Arcabouço de Robustez de Sistemas Socioecológicos

A infraestrutura natural (IN) corresponde ao volume de água armazenada nos reservatórios Engenheiro Avidos e São Gonçalo, e o trecho do rio Piranhas que os interliga. Por ser um sistema hídrico localizado no Semiárido, os períodos de escassez fazem parte da dimensão ecológica (Marengo et al., 2011) e precisam ser considerados pela dimensão social.

Quanto aos usuários de recurso (UR) do sistema, todos eles são submetidos à uma vazão máxima outorgável que foi definida pelo marco regulatório (ANA, 2018b; 2021b). Diante disso, observa-se um limite de vazão para os UR, que precisam estar cadastrados e com outorga de direito de uso da água. Dentro da área de estudo, a outorga pode ser fornecida tanto pela ANA (domínio da União), nos reservatórios, como pela AESA (domínio estadual), no trecho que liga os reservatórios. De acordo com o painel gerencial de outorgas da ANA (2023a), o reservatório Engenheiro Avidos tem apenas outorgas em vigência direcionada para o abastecimento público. O reservatório São Gonçalo tem 87 outorgas em vigência, sendo duas para abastecimento público, uma para obra hidráulica e 84 para irrigação. No rio que forma a sub-bacia do Alto Piranhas, onde está situado o sistema analisado, há 68 outorgas vigentes, sendo quatro para abastecimento público e o restante para irrigação (AESA, 2023a). Esses valores dão dimensão do número de usuários regularizados no sistema hídrico.

A outorga é o instrumento de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que visa autorizar a utilização dos recursos hídricos (Lei nº 9.433, 1997). O volume máximo outorgável para o reservatório Engenheiro Avidos é de 195 L/s, e 1790 L/s para o reservatório

São Gonçalo (ANA, 2018b; 2021b). O uso prioritário é o abastecimento público, sendo autorizado no termo de alocação de água 2022/2023 as retiradas para esse fim de 175 L/s no Engenheiro Avidos e 250 L/s no São Gonçalo (ANA, 2022). Outro uso expressivo é a irrigação, sobretudo pela presença do Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG) que está autorizado a retirar atualmente 1000 L/s do São Gonçalo (ANA, 2022). Os valores de retirada no termo de alocação mais recente são menores que as vazões máximas outorgáveis porque os reservatórios encontram-se em estado hidrológico amarelo, indicando que o volume armazenado demanda cautela quanto às retiradas para evitar crises hídricas severas. Os estados hidrológicos definidos pela ANA, em um termo de alocação negociada de água, são três (verde, amarelo e vermelho) e servem como classificação para a situação de armazenamento de água: o verde indica capacidade de atender totalmente as demandas de usos prioritários e não prioritários; o amarelo indica capacidade de atender totalmente os usos prioritários e parcialmente os usos não-prioritários; e o vermelho indica a necessidade de diminuição drástica nas retiradas de água, mas priorizando o atendimento à demanda de usos prioritários (ANA, 2015).

Os provedores de infraestrutura pública (PIP), no contexto do sistema hídrico analisado, são principalmente, ANA e AESA como órgãos gestores, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) e Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (CBH-PPA) como órgãos colegiados, havendo ainda o DNOCS, responsável pela infraestrutura das barragens. Os órgãos gestores buscam implementar a gestão de recursos hídricos, atuando a ANA diretamente nos reservatórios por terem dominialidade da União e AESA no trecho de que interliga os reservatórios por ter dominialidade estadual. Os conselhos são responsáveis por definir normas para a gestão e arbitrar os conflitos pelo uso da água, dentre outras funções. O CBH-PPA é entidade importante no nível de bacia para atuar na governança da água, permitindo a participação de diferentes setores da sociedade e debatendo questões, como a implementação dos instrumentos de gestão. Além disso, o CBH é o árbitro em primeira instância dos conflitos da bacia (Lei nº 9.433, 1997). O DNOCS assume responsabilidades que abrangem a concessão de terras, monitoramento dos usos dos recursos hídricos, vigilância sobre fatores hidrológicos e administração do PISG, um dos principais usuários da área (Freitas, 2012). O DNOCS desempenha importante papel quanto à infraestrutura dos reservatórios, sendo indispensável na atuação conjunta com a ANA.

Analisando a infraestrutura pública (IP) *hard* do reservatório Engenheiro Avidos, verifica-se que a sua barragem principal é de terra zoneada, com cortina central de concreto

armado, dispondo de uma extensão de 359,40 m e 45 m de altura (ANA, 2016). Quanto à barragem do reservatório São Gonçalo, ela é do tipo terra homogênea, dispondo de uma extensão de 380 m e 25,30 m de altura (ANA, 2016). Ambas precisam obedecer ao que dispõe a Lei Federal nº 12.334 de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Também compõem a IP *hard*, as adutoras de água, que são feitas com matérias de PVC e ferro fundido, sendo responsáveis por transferir água para o abastecimento público e para os demais usuários e garantir a perenização dos trechos a jusante (ANA, 2018a). A adutora Engenheiro Avidos leva água do reservatório homônimo até Cajazeiras e a adutora São Gonçalo faz a conexão do reservatório também homônimo, por um trecho, até o município de Marizópolis e, por outro trecho, até Sousa.

A IP *soft* engloba as regras, regulamentos e organizações. Pode-se citar como as principais balizadoras da governança a PNRH, a Política Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PERH), o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (ANA, 2018a), o Plano diretor da Sub-bacia do Alto Piranhas, o marco regulatório (ANA, 2018b; 2021b) e os termos de alocação negociada de água (ANA, 2022). Sendo estes dois últimos, dispositivos focados no nível do sistema hídrico analisado.

Interações entre os Componentes do Arcabouço de Robustez de Sistemas Socioecológicos

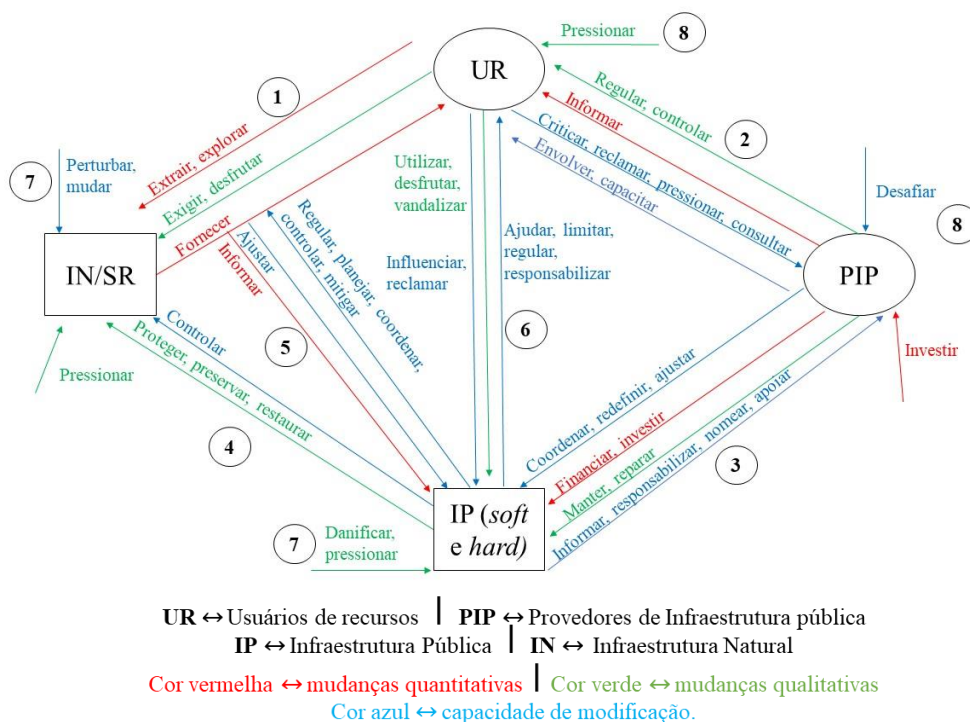
As interações entre os componentes do arcabouço de robustez para o sistema hídrico Engenheiro Avidos/São Gonçalo estão representadas na Figura 4. Assim como Anderies et al. (2019), utilizou-se um esquema de cores para indicar se as interações podem provocar mudanças quantitativas (cor vermelha), qualitativas (cor verde) ou na capacidade de um componente ter controle sobre sua própria dinâmica (cor azul).

No *link 1* é indicada a interação entre a IN e os UR, onde o sistema fornece recursos naturais, tais como água e peixes. Por sua vez, os usuários exploram e extraem os recursos para atender às suas necessidades e demandas. Trata-se de uma interação, predominantemente, quantitativa, pois as retiradas podem e são quantificadas. Além de haver interações qualitativas, onde os usuários podem desfrutar do seu direito de acesso a água.

No *link 2* é representada a interação entre os UR e os PIP, através do qual pode ser observado o envolvimento dos usuários da água bruta no processo de tomada de decisão dentro da governança (Anderies et al., 2019; Lima, 2022). No contexto do sistema hídrico, o CBH-PPA enquanto PIP, desempenha papel primordial ao assegurar a participação dos usuários,

tendo todas suas reuniões abertas, permitindo que estes possam participar e expor suas considerações, cobranças e necessidades. A ANA e a AESA também atuam diretamente com os UR, dentre outras formas, concedendo outorgas, capacitando e informando, seja durante a alocação negociada de água ou em outros momentos, como nos diversos cursos de formação oferecidos pela AESA.

Figura 4 – Interações entre os componentes do sistema hídrico Engenheiro Avidos/São Gonçalo.



Fonte: Aatoria própria (2022).

No link 3 é registrada a interação entre os PIP e a IP, que pode ser classificada como *hard* ou *soft*. Dentre essas interações, cabe destacar que os PIP realizam investimentos na IP, podendo-se elencar o Fundo Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba que tem programas que podem impactar a IP *hard* (por exemplo, com aspectos de segurança de barragens) e a IP *soft* (por exemplo, com a atualização nos procedimentos dos instrumentos de gestão) (AESAs, 2023b). Outro exemplo dessa relação se dá com o Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas (Procomitês), que foi instituído pela Resolução ANA nº 1.190 de 2016, e fornece apoio aos colegiados do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos

Hídricos (SINGREH), inclusive ao CBH-PPA. Há, ainda, o Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão de Águas (PROGESTÃO), que fornece suporte aos Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGREH) (ANA, 2013).

No *link 4* é apresentada a interação entre a IP e a IN. As regras dispostas na infraestrutura *soft* desempenham importante papel na execução do bom funcionamento da infraestrutura natural, pois através das garantias definidas pelos instrumentos de gestão, pode-se buscar a proteção e preservação desenvolvendo medidas de monitoramento e fiscalização. Entretanto verificaram-se fragilidades na interação entre a IP *hard* e a IN, exemplo disso são as patologias identificadas na barragem Engenheiro Avidos e que causavam risco de afetar todo o sistema hídrico enquanto IN. Essa preocupação foi comentada por muitos atores do sistema nas reuniões de alocação negociada de água (ANA, 2022).

No *link 5* ocorre a interação entre a IP e a dinâmica existente na retirada de recursos. Através dos instrumentos de gestão e dos aspectos institucionais vigentes no sistema hídrico analisado, é possível observar a presença de normas para regulação, planejamento, coordenação e controle das retiradas de água. Entre os instrumentos de gestão para estas finalidades, elencam-se a outorga que assegura ao usuário o direito de utilização da água e a cobrança pelo uso da água bruta que visa racionalizar o consumo (Lei nº 9.433, 1997). Na prática observam-se problemas na infraestrutura por parte dos UR para garantir esse uso mais sustentável que preconiza os instrumentos. A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), que é um dos usuários que garantem o abastecimento público, enfrentava problemas com a integridade das adutoras que retiram água do sistema hídrico, ocorrendo constantes vazamentos. Essa problemática era alvo de preocupação e discussão nas reuniões e nos boletins de acompanhamento da alocação negociada de água (ANA, 2022).

No *link 6* é representada a interação entre os UR e a IP. Destacam-se os instrumentos de gestão que irão regular e limitar a quantidade de usuários, como o plano de recursos hídricos da bacia e, novamente, a outorga. A alocação negociada de água enquanto mecanismo para a resolução de conflitos entre os usuários (Silva & Ribeiro, 2022) também é parte da IP *soft* que influencia na situação dos UR. Por parte da IP *hard* é possível elencar as adutoras que são utilizadas pelos usuários, mas também os atos de vandalismo que ocorrem para desviar água dessas infraestruturas, portanto, é uma vulnerabilidade a ser considerada no planejamento.

Os *links 7* e *8* correspondem às atuações de fatores exógenos, ou seja, fatores externos. Na análise desenvolvida foi considerada a atuação da variabilidade climática do Semiárido,

estudando como esses fatores podem impactar no sistema. A variabilidade climática afeta a IN porque influencia a quantidade de água acumulada na escala temporal no sistema hídrico; a IP porque se fazem necessários dispositivos normativos e estruturas que respondam a essa variabilidade; os PIP porque os desafiam a lidar com cenários de mudança e os UR porque os submetem, durante a alocação de água, a reduzir as retiradas de água dependendo do volume armazenado nos reservatórios (ANA, 2022).

A presença dos fatores exógenos corroborou para o surgimento de fortes perturbações no sistema hídrico, facilitando o desenvolvimento de conflitos entre os usuários e instaurando o cenário de crise. A situação gerou grandes desafios para os PIP, conforme foi descrito no caso de estudo, que precisaram desenvolver soluções rápidas e eficazes. Elencam-se a intervenção da ANA, através da emissão da nota técnica nº 11/2018, que propôs a limitação da vazão outorgável aos UR (ANA, 2018b), a implementação da alocação negociada de água e a definição do marco regulatório.

Arquétipo da Governança da Água

Após a caracterização feita dos componentes e das interações percebe-se que o sistema hídrico composto pelos reservatórios Engenheiro Avidos e São Gonçalo apresenta uma complexa governança da água. Essa constatação é justificada por diversos fatores: a dupla dominialidade (reservatórios com dominialidade da União represando um rio de dominialidade estadual) que amplia a gama de instituições que passam a impactar a governança do sistema; possui usos múltiplos para os recursos armazenados; problemas de escassez hídrica (como o que ocorreu entre 2015 e 2018) que intensificam os conflitos pelo uso da água; e modelo de governança com órgãos atuando em diferentes níveis de planejamento (sistema hídrico, bacia hidrográfica, estado e país). Esses aspectos fazem o sistema hídrico se enquadrar no Arquétipo V apresentado na Tabela 2 e indica a necessidade de robustez como característica sistêmica.

Há alguns aspectos que indicam a existência de robustez na forma em que o sistema está configurado atualmente, sendo os dois principais: i) estrutura institucional bem consolidada e, ii) marco regulatório, alocação negociada de água e plano de bacia como dispositivos de planejamento da IP *soft*. A Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu, onde estão situados os reservatórios analisados, vivenciou conflitos que exigiu que a dimensão institucional e normativa precisasse ser fortalecida, fazendo com que, atualmente, muitos dos órgãos tenham capacidade de ação para atuar na governança (Amorim et al., 2016; Oliveira et al., 2022). O plano de bacia, a alocação negociada de água e o marco regulatório são, para o sistema hídrico,

importantes ferramentas para lidar de maneira participativa com a variabilidade climática da região e, por isso, conduzem para uma maior robustez (Oliveira et al., 2022).

O processo de alocação negociada de água e os marcos regulatórios em sistemas hídricos conferem grande importância para a gestão de recursos hídricos desde 2015. Nesse processo passaram a ser discutidos de forma mais acentuada questões como a definição de regras para o uso da água, limitações de vazões, apresentação das situações regulatória e hidrológica dos sistemas hídricos e o acompanhamento das decisões tomadas. Os aspectos apresentados correspondem a avanços na gestão do sistema estudado e contribuem para a robustez do mesmo. Apesar dessas ferramentas de planejamento não serem citadas diretamente na PNRH, configuram-se como adaptações encontradas para melhorar a implementação dos instrumentos de gestão em sistemas hídricos em diversos estados brasileiros.

Conclusões

- Na escala temporal de 2011 até 2022, o sistema hídrico Engenheiro Avidos/São Gonçalo apresentou uma governança complexa e características que indicam robustez socioecológica para lidar com cenários de estresse, como a variabilidade climática do Semiárido brasileiro.
- Cada componente do arcabouço de robustez é formado por múltiplos entes, o que auxilia na compreensão de complexidade: o sistema hídrico é constituído por mais de um reservatório; são muitos os usuários de recursos; o arcabouço institucional e normativo é amplo e são muitas as infraestruturas físicas importantes para o sistema, como as barragens em si e as adutoras que transportam a água.
- As interações que ocorrem entre os componentes do sistema são muitas e elas podem ser caracterizadas como qualitativas, quantitativas ou modificadoras da dinâmica dos componentes envolvidos. Esse enquadramento das interações pode ajudar a identificar melhor as relações que existem dentro do sistema e se elas se refletem em aspectos positivos ou negativos.
- A complexidade da governança constatada pela análise feita demonstra a necessidade de se considerar o nível de sistema hídrico como importante nível de planejamento, sobretudo, em regiões em que a presença de reservatórios é crucial para garantir a segurança hídrica e o desenvolvimento social. Negligenciar isso e a necessidade de

garantir robustez a esses sistemas pode oferecer espaço para que os conflitos pelo uso da água e as crises hídricas se intensifiquem.

- Recomenda-se que a presença do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), ainda recente na BHRPPA, seja investigada mais profundamente por futuras análises, permitindo compreender o impacto desse projeto na governança da água e na robustez do sistema.

Agradecimentos

Os dois primeiros autores agradecem as bolsas de estudo concedidas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Todos os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de projetos que dão suporte a pesquisa apresentada neste texto.

Referências Bibliográficas

- Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba. (2023a). *Relatório de Outorgas para Consumo Externo*. <http://www.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-relatorio/paginas/publico/relatorio.xhtml>
- Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba. (2023b). *Plano de Aplicação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos 2023*. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2022/10/PLANO-DE-APLICA%C3%87%C3%83O-DO-FERH-2023.pdf>
- Agência Nacional de Águas. (2004). *Nota Técnica n. 019/2004/NGI/ANA*. Nota Técnica referente ao Ofício DP/419/2004 (Governo do Estado da Paraíba).
- Agência Nacional de Águas. (2013). *Resolução ANA n° 379, de 21 de março de 2013*. <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-ANA/2013/Resolucao-ANA-379.pdf>
- Agência Nacional de Águas. (2015). *Nota Técnica n° 10/2015/COMAR/SER*. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/allocacao-de-agua/NT102015COMARSREMetodologiadanaanaparaalocacaodeaguaemacudesisolados.pdf>
- Agência Nacional de Águas. (2016). *Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação*. Engecorps. Engenharia S.A. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/cc25b76-f711-41ea-a79e->

c8d30c287e53/attachments/Reservatrios_do_semiarido_brasileiro_hidrologia,_balano_hdrico_e_operao.pdf

Agência Nacional de Águas. (2018a). *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu.*

Agência Nacional de Águas. (2018b). *Resolução conjunta ANA nº 76 de 9 de outubro de 2018.* <https://www.gov.br/ana/pt-br/legislacao/resolucoes/resolucoes-regulatorias/2018/76#:~:text=RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONJUNTA%20ANA%2FAESA%2DPB,localizado%20no%20Estado%20da%20Para%C3%ADba>.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2021a). *Relatório de avaliação da implementação do Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu e sugestões para revisão do plano.* https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/implementacao-das-acoes-do-plano-de-recursos-hidricos-do-rio-pianco-piranhas-acu-pb-rn-atinge-60/relatorio_avaliacao-da-implementacao-do-prh-piranhas-marco-de-2021.pdf

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2021b). *Resolução conjunta ANA nº 78, de 7 de junho de 2021.* Altera a Resolução Conjunta ANA/AESA nº 76/2018. https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/marcos-regulatorios/Resolu78_2021assinaturaescaneada.pdf

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2022). *Termo de alocação de água 2022/2023. Sistema Hídrico Eng. Avidos e São Gonçalo.* <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/allocacao-de-agua/pb>

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2023). *Outorgas emitidas.* <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/outorga/outorgas-emitidas>.

Amorim, A., Ribeiro, M., & Braga, C. (2016). Conflitos em bacias hidrográficas compartilhadas: o caso da bacia do rio Piranhas-Açu/PB-RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(1), 36-45. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p36-45>

Anderies, J. M., & Janssen, M. A. (2013). Robustness of Social-Ecological Systems: implications for public policy. *Policy Studies Journal*, 41(3), 513-536. <https://doi.org/10.1111/psj.12027>

Anderies, J. M., Barreteau, O., & Brady, U. (2019). Refining the Robustness of SocialEcological Systems Framework for comparative analysis of coastal system adaptation to

global change. *Regional Environmental Change*, 19 (7), 1891-1908.
<https://doi.org/10.1007/s10113-019-01529-0>

Anderies, J. M., Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2004). A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective. *Ecology and Society*, 9(1), 1-17. <https://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18/>

Armitage, D., Loë, R., & Plummer, R. (2012). Environmental governance and its implications for conservation practice. *Conservation Letters*, 5(4), 245-255. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00238.x>

Bernardino, R. V. (2014). Contribuições da abordagem empiricista de Elinor Ostrom para os estudos sobre a gestão dos recursos naturais renováveis e coletivos. *Anais Colóquio do Grupo de Estudos de Teoria Política*. UFES. <https://periodicos.ufes.br/getpol/article/view/8164>

Brasil. (2022). *Barragem Engenheiro Avidos (PB) recebeu pela primeira vez as águas do Rio São Francisco*. Casa Civil. <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2022/janeiro/barragem-engenheiro-avidos-pb-recebeu-pela-primeira-vez-as-aguas-do-rio-sao-francisco>.

Freitas, M. I. A. (2012). *Sub-Bacia do Alto Piranhas, Sertão Paraibano: percepção ambiental e perspectivas na gestão dos recursos hídricos* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba]. Repositório Institucional da UFPB. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4526>

Gari, S. R. Newton, A., Icely, J. D., & Delgado-Serrano, M. M. (2017). An analysis of the global applicability of Ostrom's design principles to diagnose the functionality of common-pool resource institutions. *Sustainability*, 9(7), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su9071287>

Guimarães, V. M. B. (2013). Meio ambiente e ciências sociais: interações homem-ambiente e sustentabilidade. *Sociedade & Natureza*, 25(2), 441-443. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200017>

Gunderson, L. H., Allen, C. R., & Garmestani, A. (2022). *Applied panarchy: applications and diffusion across disciplines*. Island Press.

Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

Janssen, M. A., & Anderies, J. M. (2007). Robustness Trade-offs in Social-Ecological Systems. *International Journal of the Commons*, 1(1), 43-65. <https://www.jstor.org/stable/26522981>

- Janssen, M. A., & Anderies, J. M. (2013). A multi-method approach to study robustness of social–ecological systems: the case of small-scale irrigation systems. *Journal of Institutional Economics*, 9(4), 427-447. <https://doi.org/10.1017/S1744137413000180>
- Jiménez, M, Pérez-Belmont, P., Schewenius, M, Lerner, A. M., & Mazari-Hiriart, M. (2020). Assessing the historical adaptive cycles of an urban social-ecological system and its potential future resilience: the case of Xochimilco, Mexico City. *Regional Environmental Change*, 20(7), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01587-9>
- Kammen, D. M. (2013). Complexity and interdisciplinary approaches to environmental research. *Environmental Research Letters*, 8(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/010201>
- Kinnebrew, E., Shoffner, E., Farah-Pérez, A., Mills-Novoa, M., & Siegel, K. (2020). Approaches to interdisciplinary mixed methods research in land-change science and environmental management. *Conservation Biology*, 35(1), 130-141. <https://doi.org/10.1111/cobi.13642>
- Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. (2010). Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm
- Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. (1997). Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. D.O.U. de 09/01/1997. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Alvala, R. C. S., Cunha, A. P., Brito, S., & Moraes, O. L. L. (2018). Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(1), 1973-1985. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Beserra, E. A., & Lacerda, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no Semiárido brasileiro. (2011). In: Medeiros, S. S., Gheyi, H. R., Galvão, C. O., Paz, V. P. D. (Ed.). *Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas* (Cap. 13, pp. 385-422). Instituto Nacional do Semiárido.

- Naylor, L. A., Brady, U., Quinn, T., Brown, K., & Anderies, J. M. (2019). A multiscale analysis of social-ecological system robustness and vulnerability in Cornwall, UK. *Regional Environmental Change*, 19, 1835-1848. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01530-7>
- Observatório da Governança das Águas. (2019). *Protocolo de Monitoramento de Governança das Águas*. https://agua.org.br/novosite/wp-content/uploads/2019/10/Protocolo_Governanca_Completo_FINAL-1.pdf
- Oliveira, P., Silva, M. B. M., Souza, R. M. P., & Ribeiro, M. M. R. (2022). Gestão compartilhada de uma bacia hidrográfica no Semiárido brasileiro: análise à luz dos sistemas socioecológicos e princípios institucionais. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 19(1), 1-18. <https://dx.doi.org/10.21168/reg.v19e22>
- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2015). *Princípios da OCDE para a Governança da Água*. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-Water-portuguese.pdf>
- Ortiz, M. F. F., & Gutiérrez, J. A. M. (2019). Análisis del relacionamiento de los grupos humanos con el bosque desde los principios de Ostrom. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 127-141. <https://doi.org/10.22490/21456453.2678>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: the evolution of institutions for collective action*. The Political Economy of Institutions and Decisions. Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(7), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- 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), 354-365. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001>
- Pereira, G. R., & Cuellar, M. D. Z. (2015). Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. *Estudos Avançados*, 29(84), 115-137. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200008>
- Santos, V. S., Silva Neto, E. D., & Curi, W. F. (2020). Novo modelo de cobrança para o uso de recursos hídricos em bacias de rio controladas por reservatórios: aplicação no sistema Engenheiro Avidos/São Gonçalo – PB. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(7). <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0023>
- Silva, M. B. M. (2022). *Análise de múltiplos aspectos da governança da água em sistemas hídricos locais* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande].

Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFCG.

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/23924>

Silva, M. B. M., & Ribeiro, M. M. R. (2022). Alocação e governança da água como mecanismos de resolução de conflitos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27(3), 533-540. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220210072>

Silva, M. B.M, & Ribeiro, M.M. R. (2023). Análise da governança da água por meio do arcabouço de robustez: o caso do Reservatório Epitácio Pessoa, PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 28, 1-9. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220023>

Simões, J., Macedo, M., & Babo, P. (2011). *Elinor Ostrom: "Governar os Comuns"*. https://www.fep.up.pt/docentes/cchaves/simoes_macedo_babo_2011_ostrom.pdf

Synes, N. W., Brown, C., Palmer, S. C. F., Bocedi, G., Osborne, P. E., Watts, K., Franklin, J., & Travis, J. M. J. (2019). Coupled land use and ecological models reveal emergence and feedbacks in socio-ecological systems. *Ecography*, 42, 814-825. <https://doi.org/10.1111/ecog.04039>

Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Valdés, J. B., Olivares, C., Vera, M., Balocchi, F., Pérez, F., Vallejos, C., Fuentes, R., Abarza, A., & Helwing, B. (2014). Water governance in Chile: Availability, management and climate change. *Journal of Hydrology*, 519, 2538-2567. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.016>