

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

Hidrologia Ancestral: História, Cultura e Arte na Gestão

Adaptativa para Segurança Hídrica de Comunidades Vulneráveis

E. Mario Mendiondo¹; Denise Taffarello^{2 3}; Caline C. Oliveira Leite⁴; Heitor S. Pantarotto⁵

Resumo: O objetivo desta contribuição é apresentar elementos iniciais da 'Hidrologia Ancestral', resgatando aspectos históricos, culturais e artísticos na gestão adaptativa para segurança hídrica em comunidades vulneráveis. Os métodos de análise mostram experiências e recentes desses aspectos menos comuns, operacionalizados com os mais tradicionais que incluem tecnologias, engenharias e matemáticas. Com uma abordagem de ciência cidadã, apresentam-se narrativas, alegorias e cenários extremos, desde um deterioro e extinção de recursos quase "abismal", até de restauração e recuperação "ancestral". A Hidrologia Ancestral é vinculada a serviços ecossistêmicos e soluções baseadas na natureza, com ciência aberta e educação ambiental e para uma governança policêntrica. Estes cenários são complementados aos do IPCC/AR6 e IPBES, com arquétipos sociohidrológicos, em comunidades vulneráveis de povos originários. Com atribuições a estudantes por estudo de caso, levantam-se discussões na forma de novos interrogantes visando à co-criação de conhecimento, engajando a Hidrologia Ancestral e comunidades na Década Científica HELPING/IAHS.

palavras-chave: gestão adaptativa, serviços ecossistêmicos, Hidrologia Ancestral.

Abstract: This study aims to depict initial elements of "Ancestral Hydrology", enhancing history, culture and arts into adaptive management for water security in vulnerable communities. Methods here presented show recent experiences of these very infrequent elements, thereby handled with more traditional ones like technology, engineering and maths. A Citizen Science approach is applied with extreme narratives, alegories and scenarios, from deterioration-with-extinction ("Abismal Scenario") to ancestral restoration and recovery ("Ancestral Scenario"). The "Ancestral Hydrology" is here linked to ecosystem services ("Nature's Contributions to People") and nature-based solutions, with open science and environmental education toward a polycentric governance. These extremes are complemented to the current scenarios of IPCC/AR6 and IPBES, with new sociohydrological archetypes for vulnerable communities of indigenous peoples. With case studies attributed to higher education students, discussions and novel questions on the co-creation of water knowledge do engage Ancestral Hydrology and communities into the HELPING Science Decade.

keywords: adaptive management, ecosystem services, Ancestral Hydrology.

1. Introdução e Objetivos

Algumas razões levam Beven et al (2025) a abordar a questão: "*que mais podemos aprender da história da hidrologia?*". Primeiro, talvez seja lenta a evolução, dadas as incertezas nos dados hidrológicos e as aproximações necessárias na análise, até mesmo da equação do balanço hídrico. Assim, a teoria e os modelos foram tradicionalmente aceitos como suficientes, com o ajuste de parâmetros preenchendo a lacuna dessas incertezas. Tal aceitação seria condicionada pelos requisitos de aplicações práticas rumo a uma "Hidrologia Ancestral", ampliando a natureza da educação da hidrologia nos livros didáticos. Segundo Beven et al (2025), esta questão deve mais à sociologia da ciência e às aplicações da engenharia como atividades com uma história em si, do que

¹ Centro Rec. Hídricos & Estudos Amb. (CRHEA), Escola de Eng. São Carlos, USP, São Carlos 13566-590, Brasil; emm@sc.usp.br;

² Escola de Eng. São Carlos, USP, São Carlos 13566-590; taffarelod@gmail.com;

³ Prefeitura Municipal de São Carlos-SP, Secretaria de Educação, São Carlos-SP, 13561-050;

⁴ PPG SHS Hidráulica e Saneamento, Escola de Eng. São Carlos, USP, São Carlos 13566-590; calineleit@usp.br;

⁵ PPG SHS Hidráulica e Saneamento, Escola de Eng. São Carlos, USP, São Carlos 13566-590; heitor.pantarotto@usp.br.

ao modelo positivista clássico de geração e de teste de hipóteses sobre como uma ciência deve funcionar. Segundo, o anterior levanta a questão de como os vários aspectos da história da hidrologia abordam questões atuais e auxiliariam em estudos futuros. Um exemplo é a maneira como vários pontos de vista pós-positivistas são desenvolvidos, particularmente no campo da sociohidrologia (p.ex. Kreibich et al, 2025). Isso cobra relevância ao lidar com os impactos das mudanças em sistemas hidrológicos não estacionários, por exemplo, dentro do atual programa IAHS Hydrology Engaged Local People IN a Global world (HELPING, Arheimer et al, 2025). Terceiro, essa estrutura interdisciplinar, mais ampla e complexa, inclui trabalhos amplos sobre tópicos complexos de medir; desde visões intergeracionais (p.ex., van Hateren et al., 2023), riscos compostos em escalas codependentes (Pörtner et al, 2022), sistemas de alerta precoce centrados no ser humano (WMO, 2022), teoria da convergência da panarquia (Sundström et al., 2023), justiça climática (Bustamante et al., 2023), limites planetários (Richardson et al., 2023), cocriação ancestral de conhecimento sobre a água com inclusão (Doubleday, 2019, Roca-Servat et al., 2021, Krenak, 2024) e a iniciativa de hidrologia aberta (UNESCO, 2024). Quarto, toda ontologia trata das questões fundamentais relacionadas à natureza da realidade, enquanto a epistemologia se concentra na natureza do conhecimento e na forma como o conhecimento é adquirido. Por isso, na sociedade atual em transformação, a descarbonização, a digitalização e a descolonização da ciência evoluem rapidamente. Dai, que essas visões mais amplas, muitas delas extraídas da história, podem expandir a forma de olhar e os tipos de arquétipos sociohidrológicos para renovar o diálogo interdisciplinar e entre gerações. Assim, o objetivo principal desta contribuição é apresentar uma síntese de novas experiências, com aprendizados e desafios em torno da gestão adaptativa para segurança hídrica. Para este objetivo, são abordados resgates empíricos da história, da arte e da cultura, assim como narrativas poéticas que contribuem para novas ontologias de cenários futuros. Os exemplos apresentados são advindos de um conjunto de projetos de pesquisas interdisciplinares em redes, onde experiências, saberes e paradoxos são *aprendizados coletivos* e estão em fase de continua discussão e transformação.

2. Materiais e Métodos

2.1 Fluxograma Empírico - Conforme a Figura 1, mostra-se um fluxograma de ocorrências, com uma linha de tempo entre o ano 2017 e o ano 2025, sintetizando etapas e um conjunto de experiências e aprendizados dos resgates interdisciplinares na gestão adaptativa para segurança hídrica. Estas ocorrências foram assimiladas de forma experimental junto ao WADILab (Water-Adaptive Design & Innovation Lab), no SHS/EESC/USP, associado a iniciativas e projetos explicados à continuação. Na Figura 1, em verde, aparecem os destiques às dimensões da "história, da cultura e da arte". Em azul, os produtos com foco em "ciência, tecnologia, engenharias e matemáticas". Na Figura 1 aparecem em gradientes de cores, sob transição verde-azul, os produtos híbridos, onde aspectos sociohidrológicos incluem vetores de mudança, ciclos de adaptação e de mitigação. Na parte da direita da Figura 1, trabalhos mais recentes, emergem cenários como elementos de educação e de formação de recursos humanos com "ciência cidadã" e para gestão adaptativa da segurança hídrica. Como parte da metodologia, nesse fluxograma, na parte inferior da Figura 1, aparecem os contextos globais recentes, ligados a hidrologia e recursos hídricos, e alguns projetos e redes interdisciplinares, apoiados por agências de fomento à ciência no Brasil, ligados à segurança hídrica, à gestão adaptativa e interfaces, p.ex.: INCT-Mudanças Climáticas Fase 2 (CEMADEN/MCTI; 2017-2025), INCT-Combate à Fome (FSP/USP; 2022-2028), INCT-Observ.

Nac. Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (UFPE, 2022-2028), CeMEAI-Centro de Matemática Aplicada à Indústria (ICMC/USP, CEPID, 2014-2026), CBioClima (IB/UNESP, CEPID, 2023-2028+), Centro de Inteligência Artificial-C4AI (INOVA/USP, C4AI, 2020-2029), LinCar (UNICAMP, 2022-2025), BIOTA/NASSE (FSP/USP, 2024-2028) e CLIMARES (IAG-IEE/USP, CEPID, 2025-2030+). Na metodologia, estas iniciativas se integram na iniciativa-conceito 'SOPHIE' (acrônimo de *Sustainable Observatories for Planetary Health through Innovation and Entrepreneurship*, Mendiondo et al, 2025). Por outro lado, a metodologia empírica da Figura 1 inclui "alegorias", "narrativas breves", "ilustrações" e "arquétipos" sociohidrológicos. Uma alegoria é uma figura de linguagem ou narrativa que usa símbolos para representar ideias ou conceitos abstratos. Algo alegórico usa uma imagem, história ou arte para expressar um significado mais profundo, mais humano. Por motivos de espaço, algumas explicações da Figura 1 são detalhadas com QR-Code como Material de Apoio. Alguns destaques da metodologia são explicados a seguir.

2.1 História, Cultura, Arte e Cenários - Este pressuposto resgata, artisticamente, neste recente capítulo do Antropoceno, de [nossos] rios como testemunhas e porta-vozes. O evento veiculado pelo Labjor/UNICAMP (ClimaCom, 2019, "Simbioses-Água, Matéria Viva", lado esquerdo superior da Figura 1) aborda este pressuposto via *Rios em transe, Eternos heróis de resiliência líquida*. Ela atribui às paisagens dos rios, rodeadas de serviços ecossistêmicos das bacias hidrográficas como "palcos cenográficos". A narrativa invoca "*Lá dentro, há experiências interpessoais, porém com comunicações incertas e adaptações forçadas. Com as mudanças em curso, já estão nossos rios em transe. Parecem sair de um filme, um déjà vu, onde eles [os rios] se antecipam aos vilões de insegurança hídrica. Se o futuro é líquido, como re-aprender destes eternos heróis a nos adaptar?*" Deste imaginário universo dual "bacia-palco", a narrativa continua: "...presente em todo município, estes sempre-heróis reemergem. E misturam-se à pálida realidade local e até à ficção coletiva de consumo. Mas para manter sua resiliência líquida, suas transformações são inúmeras. E suas atuações, memoráveis. Debruçam-se em padrões, retroalimentações, evoluções e até em novos paradoxos. Eles transcendem à nova comunicação sob incertezas e à adaptação mais natural. Esses heróis lidam com água virtual ou até digital...". Daí, a narrativa destaca observatórios cidadãos que acometem plenos de sociohidrologia. Esta narrativa traz enredos simulados no laboratório-atelier WADILab, propiciado pelo INCT-MC2 (CEMADEN/MCTI), e conclui: "...refletimos sobre erros e acertos destes heróis de resiliência líquida, com visões das hidropólis do futuro, ainda prevendo uma iminente singularidade histórica...". Isto remete a conceitos de aplicação prática de "ciência cidadã" (Souza et al, 2022), que atribui um ser social, p.ex. um estudante, quem avalia caminhos futuros sobre uma comunidade vulnerável.

2.2 Ambientação de Cenários em Comunidades de Povos Originários - No contexto do IBGE, os "povos originários" são definidos como os grupos descendentes dos primeiros habitantes de um determinado território. No Brasil, isso se refere aos povos indígenas que já habitavam o país antes da chegada dos europeus (<https://indigenas.ibge.gov.br/>). Eles são os primeiros habitantes do Brasil e possuem uma rica diversidade cultural, com línguas, costumes e tradições próprias. Por um lado, a Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES, 2019) reconhece a importância dos povos indígenas e comunidades locais na avaliação da biodiversidade e na busca por soluções sustentáveis. O Relatório de Avaliação Global do IPBES baseia-se em especialistas em ciências naturais e sociais para avaliar o quanto o mundo avançou, e o quanto ainda

falta, na consecução de importantes objetivos internacionais, desde os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as Metas de Biodiversidade de Aichi até o Acordo Climático de Paris. A 1^a Avaliação Global de Biodiversidade e de Serviços Ecossistêmicos do IPBES foi em 2019, e a 2^a. Avaliação é prevista para o período 2025-2030 (UNFCCC-IPBES Report, 2024). A Avaliação Global também descreve as forças que afetam a biodiversidade e os ecossistemas, prevê o que o futuro reserva se as tendências continuarem ou mudarem e explica o que tudo isso significa para as pessoas e as políticas nas próximas décadas. A IPBES busca integrar o conhecimento tradicional desses povos com o conhecimento científico, reconhecendo seu papel fundamental na conservação da natureza e na adaptação às mudanças climáticas. Estes reconhecimentos também se dão através dos serviços ecossistêmicos (Diaz et al, 2016; Taffarello et al, 2017), também chamados de Contribuições da Natureza à Pessoas ("NCP"- Nature's Contributions to People; IPBES, 2019; Hecht et al, 2017; Garnett et al, 2024; Brondízio, 2017; 2025). Disto, a metodologia desta contribuição traz novos arquétipos ancestrais e sociohidrológicos iniciais (p.ex. Mendiondo et al, 2025). Esses novos arquétipos ausculta abordagens anteriores e suas recomendações. Por exemplo, Brondízio, antropólogo na vanguarda dos estudos interdisciplinares sobre a Amazônia, defende uma mudança na forma como acadêmicos, tomadores de decisão e financiadores internacionais de clima e biodiversidade enxergam e interagem com a região. Segundo ele, enfrentar as lutas socioeconômicas do povo amazônico é fundamental para resolver os desafios ambientais e climáticos que afetam o bioma. Ele destaca ações-chave: 1) Enfrentar a pobreza, o desemprego, a violência e a precariedade da infraestrutura na Amazônia em todas as iniciativas e investimentos relacionados à biodiversidade e ao clima na região, e 2) Apoiar iniciativas de bioeconomia já existentes, ricas em biodiversidade e socialmente inclusivas, lideradas por e beneficiando comunidades rurais, indígenas e urbanas na Amazônia, e que pode ser adaptado para as comunidades de povos originários de outros biomas brasileiros, p.ex. Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pampas, e até próximos de mangues e em áreas costeiras.

2.3 Cenário "Abismal" e arquétipos inspirados em Ignacio de Loyola Brandão - É inspirado artística e poeticamente em obras de Ignacio de Loyola Brandão (<https://www.academia.org.br/academicos/ignacio-de-loyola-brandao>), "imortal" da Academia Brasileira de Letras, especialmente em "*Não verás país nenhum*" e "*Desta terra nada vai sobrar a não ser o vento que sopra sobre ela*". Esse arquétipo considerando que sobre a comunidade local haverá, em média, um acréscimo expressivo da temperatura global (IPCC, SSP3/RCP8.5 ou próximos com dados). Suas medidas mitigadoras se baseiam em: a) risco, e b) em pegada hídrica cinza (Souza et al, 2022). Para este cenário (Figura 2), a narrativa ilustra que não haveria sustentabilidade no desenvolvimento local futuro que sofreria com expressivo crescimento populacional até o ano 2100. Até lá, a população total dessa comunidade, a sua pegada hídrica cinza, associada ao consumo e poluição local futura, aumentaria consideravelmente, devido ao aumento da produção de resíduos sólidos. Este cenário equivale a variantes próximas do IPCC/AR6 SSP3 (O'Neill et al, 2017; Riahi et al, 2017). Nesse cenário, cada agente social de "ciência cidadã", p.ex. um aluno, pode: a) estimar a pegada hídrica cinza local futura, e b) relacionar essa pegada hídrica com infraestrutura cinza tradicional, via tempo de retorno dos extremos, vida útil de infraestrutura "cinza", custos de investimento, custos de operação e manutenção, e seus riscos associados ao colapso dessa infraestrutura.

2.4 Cenário "Ancestral" e arquétipos inspirados em Ailton Krenak - É inspirado artística e poeticamente em obras de Ailton Krenak (<https://www.academia.org.br/academicos/ilton-krenak>), "imortal" da Academia Brasileira de Letras, especialmente com as obras "*Futuro Ancestral*" e "*Ideias para adiar o fim do mundo*". Krenak, líder indígena e pensador, usa a expressão "Futuro Ancestral" para nos lembrar que o futuro não deve ser visto como uma ruptura com o passado, mas como uma continuação das práticas, saberes e tradições que os povos ancestrais mantêm vivos. Futuro ancestral, resignifica a construção de um futuro sustentável e viável para a humanidade, e depende do resgate e valorização dos conhecimentos, práticas e saberes dos povos originários e ancestrais. Não se trata de um retorno literal ao passado, mas de reconhecer a importância da ancestralidade como fonte de sabedoria e soluções para os desafios contemporâneos, especialmente em relação à sustentabilidade e à relação do ser humano com a natureza. Estes elementos são operacionalizados via "ciência cidadã", p.ex. em sala de aula com alunos envolvidos com Adaptação baseada em Ecossistemas, e em Comunidades, Serviços Ecossistêmicos (NCP, *Nature's Contributions to People*) e Soluções baseadas na Natureza. Neste cenário "Ancestral", a população da comunidade de povo originário cresceria até 2100 apenas 5% em relação à população atual (em 2025). Neste cenário, o aumento de temperatura ficaria abaixo de +1,5 °C (variantes de IPCC/AR6, SSP1), dando tempo para novos hábitos e adaptações locais. A vida seria sustentável, graças à adoção de medidas compensatórias de conhecimento ancestral. Nesse cenário, cada aluno pode: a) apresentar e discutir espacialmente medidas compensatórias, ligadas à AbE (Taffarello et al, 2017) e políticas de serviços ambientais adotadas nessas comunidades. Como sugestão, um aluno - agente social, sugeriria no mapa da comunidade até 10 medidas compensatórias de baixo custo, aliando AbE, SbN e Serviços Ecossistêmicos (NCP), priorizando infraestrutura "verde-azul" (ver Taffarello et al, 2017; Brasil, 2021-Lei Fed. 14.119/21). Nesse cenário ancestral, há reconheções ao passado, revelando as raízes locais e o que formou a cultura, gostos e tradições da comunidade.

3. Aplicação

Nesta contribuição, os cenários "Abismal" e "Ancestral" são cenarizados junto a alunos de ensino superior com enunciados do tipo. Os alunos consultam a "Cartografia Social dos Conflitos que Atingem Povos e Comunidades Tradicionais na Amazônia e no Cerrado" (Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia, PNCSA, 2025). Um exemplo síntese de atribuições de cenário Abismal aparece na Tabela 1. Nesse cenário, dados são do Portal de Projeções Climáticas no Brasil, mantido pelo MCTI e variantes do SNIS. As projeções correspondem ao cenário SSP3-7.0, segundo o conjunto de modelos climáticos do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), a partir do modelo ACCESS-ESM1-5, conforme o experimento R1I1P1F1 (variantes de O'Neill et al, 2017; Riahi et al, 2017). As projeções são obtidas de forma pontual, com base nas coordenadas geográficas específicas de cada comunidade (Tabela 1). Para o Cenário Abismal 2100 é considerado que não haveria nenhuma sustentabilidade e um expressivo crescimento populacional na comunidade que, até o ano 2100, cresceria demograficamente o equivalente à população do Município de São Carlos-SP em 2020 (Souza et al, 2022). A pegada hídrica cinza aumentaria em 2100 (Abismal, Figura 2), especialmente devido ao aumento da produção de resíduos sólidos, cujos lixiviados são influenciados pela precipitação e pela evapotranspiração. Por outro lado, os alunos, como agentes sociais do experimento de ciência cidadã, trabalham com dados das comunidades de povos originários com: a) localização e detalhe das medidas compensatórias de infraestrutura cinza (cenário "Abismal"), b) localização e detalhes das medidas compensatórias de infraestrutura verde-

azul (cenário "Ancestral"), c) uma estimativa de custos de infra-estrutura hídrica e de operação e manutenção, sem e com mudanças climáticas no referido local de estudo; d) explication sintética de como essas infra-estruturas e custos desses cenários inibem (cenário "Abismal") ou promovem (cenário "Ancestral") as AbE/AbC, e as SbN, na forma de: Capital Natural (biodiversidade) → função ambiental (p.ex. curva de permanência) → serviço ecossistemico → (p.ex. provisão de água de qualidade e de quantidade) → valoração ambiental (conforme NCP, para a comunidade local).

4. Discussão

A discussão nesta contribuição versa sobre as incertezas futuras da gestão adaptativa para segurança hídrica através de uma capacidade heurística, aqui apresentada como "Hidrologia Ancestral". A capacidade heurística é uma característica humana que, do lado positivo, pode ser descrita como a arte de descobrir e inventar ou resolver problemas mediante a experiência, própria ou observada, somada à criatividade e ao pensamento lateral ou pensamento divergente. Isso inclui história, arte, cultura e novas visões, úteis para adaptação e mitigação de impactos futuros em comunidades vulneráveis. A Figura 4, do Museu do Amanhã no RJ, resume alguns interrogantes desta nova heurística em torno da Hidrologia Ancestral.

4.1 Como a teoria de cenários chega à dimensão prática da "educação"? A necessidade por segurança hídrica, adjacente aos cenários "Abismal" e "Ancestral", é uma coevolução hidrossocial (p.ex. Beven et al, 2025) dos valores, costumes e normas culturais dos povos locais. Essa coevolução e gestão adaptativa em torno da sonhada "segurança hídrica" é alcançada, almejada ou até sonhada de forma persistente, porém de forma pendular e mutante. São processos dinâmicos, de mudança, de quebra de paradigmas, inspirados em resiliencia (p.ex. <https://www.resalliance.org/panarchy>). Só depois de resolvida, alcançada, destruída e reinventada uma nova segurança hídrica, quando chega um "novo normal", vem com educação mais formal, sem quebras de novos paradigmas. Na prática, aprendemos com povos originários que a educação não-formal praticada pelas comunidades locais antecede ao conceito ocidental de "segurança hídrica" ("not too little, not too much, not too dirty, not too far"...). O mesmo processo de colonização não se aplica tão somente aos trópicos, senão também ao tipo de conhecimento e de ciência que se busca impor nessas comunidades. É como o pensamento ocidental ou a teoria atual hoje preconiza. Esses atores locais já se engajaram nessa gestão adaptativa para segurança hídrica antes da educação formal chegar. Isso é parte do marco histórico de toda cultura ou civilização, típico de um processo "Panta Rhei", do filósofo Heráclito, tema da década científica de Sociohidrologia (ver <https://iahs.info/Initiatives/Scientific-Decades>, e Kreibich et al, 2025). Por isso que, quando os projetos de políticas públicas objetivam "engajar a população local", partem da hipótese que não havia vínculos precedentes dessas comunidades, embora elas sim existiam em Figura 2 e em Figura 3, como vetores de valores, normas, crenças. Isto cria paradoxos, entre prática e teoria, que seriam melhorados com a convivência e co-criação de conhecimento (Beven et al, 2025).

4.2 Como explicar a afetação desigual sobre catástrofes ambientais, climáticas e hídricas? A desigualdade social é o fator que aumenta a vulnerabilidade de comunidades no Cenário Abismal. Mao et al (2022) abordam como a desigualdade social transpõe barreiras para a segurança hídrica que expõe o aumento de riscos hidrossociais perante ameaças, mas que desenrolam em desastres para alguns, em salvaguarda de poucos. O trabalho sobre riscos de impactos de secas e de

inundações em locais selecionados (Kreibich et al, 2022) arrematou uma verdade inconveniente: catástrofes locais são um produto de uma vontade política de querer, ou não querer, aprender de extremos anteriores, com impactos aumentando ou diminuindo, relacionadas com o tipo e grau de cultura. Há campanhas Educar-para-prevenir (CEMADEN/MCTI, <https://educacao.cemaden.gov.br>) nos Estados da União e municípios. Outros exemplos aparecem em discussões da 74a SBPC, 2022 (<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=Uqag28p7YYU>), do INCT-MC2 (CEMADEN/MCTI, <http://inctmc2.cemaden.gov.br>), e no Centro de Biodiversidade e Mudança Climática (CBioClima, <https://www.cbioclima.org>, UNESP).

4.3 Como a simbiose entre água e coletividade humana possibilita a segurança hídrica plural?

Para cenários do tipo "Ancestral", esses argumentos nascem da aceitação dual de que, para ter sociedades resilientes, é preciso tanto a ciência e educação formais, como também as sabedorias e vivências ancestrais, como processos não-formais perante o modelo ocidental tradicional. O protagonismo de mudança é uma integração, uma simbiose, de ambas abordagens. Especialmente, nesses elementos que são os rios e suas várzeas, em constante mudança, "em transe". Uma sugestão é continuar apostando numa coletividade humana que co-evolui, e aprende, em torno das áreas úmidas, de rios, de lagos e de várzeas como a de povos originários. Visões ocidentais desse tipo de interdisciplinaridade ancestral, seguem visões e debates do que chamamos "ignorância" (p.ex. Arfini & Magnani, 2021; Mendiondo et al, 2025), e seus novos arquétipos sociohidrologicos, que trazem meta-conhecimentos em torno das estratégias de adaptação sob mudanças, com engajamento e envolvimento comunitário, antes que propor um desenvolvimento *per se*.

4.4 Se já atingimos pontos de "não-retorno", só restam apenas estratégias de adaptação?

As estratégias globais iniciam na escala local, sejam do tipo "Abismal", "Ancestral", ou intermediários. Por um lado, são necessários *insights* globais sobre "saber-viver sob mudanças globais", (p.ex. Bustamante et al, 2024) e checklists planetários (Richardson et al, 2023). Por outro lado, na escala local, a real inovação de adaptação reside em mecanismos que ligam "ciência, políticas públicas e ações locais" com uma perspectiva de saúde planetária, conforme a iniciativa SOPHIE (Mendiondo, 2024b; Mendiondo et al, 2025). Disto, SOPHIE aparece em treinamentos como no USP ACADEMY CLIMARES, Resiliência e Sustentabilidade Climática (<https://internationaloffice.usp.br/uspacademy/#co9>). Sítios demonstrativos para estas experiências são necessários para verificar limitações e correções, como no Centro de Rec. Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA) da EESC-USP, que desde a década de 1970 apresenta um histórico de monitoramento, pesquisas e extensão. Nele, iniciativas tipo SOPHIE inspiram estratégias de transição ecológica, de bioeconomia, e de geração de inovação e empreendedorismo "verde", baseada nos ODSs (Mendiondo, 2024b). Treinamentos em sustentabilidade e resiliência climática são estratégias de adaptação que convergem ao "futuro ancestral. Como diz A. Krenak": "*Nossos pais dizem que nós já estamos chegando perto de como era antigamente*". "...Os rios, esses seres que sempre habitaram os mundos em diferentes formas, são quem me sugerem que, se há futuro a ser cogitado, esse futuro é ancestral, porque já estava aqui... ". Esse e outros poemas de A. Krenak foram compartilhados em "*Tierra: Perceber Floresta diante do Antropoceno*", organizado por UNICAMP/LABJOR (Dias, 2024). Imaginar essa ancestralidade, como condição suficiente, pode ajudar a acelerar o ritmo de adaptação, como condição necessária.

4.5 Como pautar a poluição ambiental como cerne da saúde pública sob mudanças globais? A poluição e, portanto, o consumo que lhe dá origem, são um desafio global cuja solução começa no comportamento local. O ciclo hidrológico é sensível a esse comportamento que, de fato, tem origem cultural. Isso é crítico em cenários do tipo "Abismal". Portanto, o desenvolvimento e compoartilhamento de conhecimento deve ser rápido e eficiente, sem barreiras. Por exemplo, o equacionamento de iniciativas colaborativas de modelos hidrodinâmicos de qualidade de água em rios e várzeas, sejam modelos hidrológico-hidroginâmicos 1D ou 2D, evoluem rápido, tendo livrarias de código aberto e com desenvolvimento comunitário (p.ex. Gomes Jr. et al, 2023; Castillo-Rápallo et al, 2024). Estes modelos abertos abordam a poluição difusa de forma transparente e propiciam diálogo interdisciplinar, p.ex. nos treinamentos do INCT-MC Fase 2, o INCT-Combate à Fome (FSP/USP, <https://www.fsp.usp.br/inct-combate-a-fome/>) e o INCT-Observatório de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (UFPE; <https://onseadapta.org/>).

4.6 Quais perspectivas/estratégias para futuras secas e inundações que se agravam? Por um lado, há respostas, formatos e critérios de participação que, na sua maioria, passam por "ciência cidadã". Contudo, as perspectivas para o futuro são óbvias: se não traçarmos metas futuras claras , ou não buscarmos parcerias concretas e ações reais, quaisquer planos de recuperação de infraestrutura previstos para alguns anos, poderão levar décadas, e atrasar planos de mitigação. Um exemplo é o desastre 2023/2025 em RS <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2024/06/08/reconstrucoes.htm>>. Por outro lado, algumas propostas podem ser consolidadas desde 2025 em diante e podem vir de iniciativas de baixo custo, conforme Figura 1, p.ex: 1) Promoção de campanhas de engajamento de cidadãos (p.ex. #UmaGotaDeCiencia, #UmaDoseDeResiliencia, #BeFAIRWithCARE, #GenerationRestoration), articulados com Cátedra UNESCO de Águas Urbanas e dos NAPs INCLINE/USP e CEPED/USP para CLIMARES CEPID 2025-2030+; 2) Continuidade e novas fases do INCT-Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (<https://onseadapta.org/>); 3) Fortalecimento de soluções locais advindas da década científica internacional HELPING/IAHS; 4) Destaques à fase IX do Plano Hidrológico Intergovernamental da UNESCO com ações comunitárias (<https://www.unesco.org/en/ihp/priority>, 2022-2029); 5) Popularização de recomendações da Conferência Livre de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa <<https://www.abrhidro.org.br/vcncti/>>; 6) Difusão ampla de recomendações da Sessão de Recursos Hídricos durante a I Conferência Nacional de Mudanças Climáticas organizado pela RedeClima <<https://www.abrhidro.org.br/vcncti/>>; 7) Celebração de campanhas comunitárias dos legados das fases UNESCO-IHP com propostas e desafios futuros <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000389979>>; 8) Treinamentos integrados de propostas globais em escala local, p.ex. "Hidrologia Aberta e Participativa"/UNESCO <<https://www.unesco.org/en/articles/open-hydrology>>, "Alertas Antecipados para Todos"/OMM <<https://wmo.int/activities/early-warnings-all/wmo-and-early-warnings-all-initiative>>, Programa de Água Digital e Comunidade da Prática na Gestão de Recursos Hídricos/IWA <<https://iwa-network.org/projects/earth-observation-for-water-management-community-of-practice>> e Digital Water Globe da IAHS <<https://iahs.info/Initiatives/digital-water-globe>>; 9) Promoção de inovação e jovens empresas inspiradas nos grupos HELPING de Co-Criação de Conhecimento (<https://iahs.info/Initiatives/Scientific-Decades/helping-working-groups/co-creating-water-knowledge/>), com diversidade de saberes e para gestão adaptativa.

5. Comentários finais

Aspectos de "Hidrologia Ancestral", com história, arte e cultura, incorpora a gestão adaptativa visando segurança hídrica e engaja pessoas via governança policêntrica. Um exemplo experimental e arquétipos sociohidrológicos são descritos, com projetos e redes com sinergia, trocas de conhecimentos, envolvimento social, conhecimento formal e saberes ancestrais em sítios demonstrativos. A iniciativa "SOPHIE" está em fase experimental no CRHEA EESC USP. Cenarizações extremas, "Abismal" e "Ancestral", admitem uma ciência cidadã, colaborativa, interdisciplinar e inclusiva. Recomendações: a) apoiar estudos de caso de "engajamento e pertencimento" via ciência-cidadã no Digital Water Globe, b) fomentar trabalhos academia-comunidades de povos originários na Década HELPING, c) promover grupos interdisciplinares com agentes comunitários e de conhecimento ancestral, para enriquecer o IPCC e o IPBES, d) desenvolver uma cultura de resiliência a crises climáticas ('CLIMARES'), com jogos educativos, "digital twins" e empregos verdes, via parcerias público-privadas para horizontes 2030, 2050, 2100.

6. Agradecimentos e Material Complementar

Coautores agradecem processos CAPES-PROEX do PPGSHS EESC-USP e de CNPq: 406919/2022-4 ("INCT-ONSEAdapta"), 406774/2022-6 ("INCT-Combate à Fome"), 465501/2014-1 ("INCT-MC2"); CAPES 88887.136402/2017-00; FAPESP: 13/07375-0 ("CeMEAI", CEPID), 14/50848-9 ("INCT-MC2"), 21/10639-5 ("CBioClima", CEPID), 19/07665-4 ("C4AI", CPE), 22/05981-9 ("LinCar", Abordagens inovadoras na pesquisa em Linguagem, Comunicações e Artes), 22/07521-5 ("OUR EYES"), FAPESP 22/08468-4 ("DREAMS"), 23/12042-1 ("BIOTA/NASSE", Nexo Ambiente-Saúde-Serviços Ecossistêmicos), 24/00949-5 ("CLIMARES", CEPID). Durante o experimento WADILab 2017-2025, agradecemos J. Marengo, M. Selucchi, R. S. Alvalá, L. A. Cuartas Pineda, O. Moraes (CEMADEN/MCTI), S. G. Montenegro (UFPE/APAC), C. S. Fernandes (UFPR), S. Dias (UNICAMP), A. C. B. Delbem (ICMC/USP), F. Cozman (INOVA/USP), E. Rangel (FIOCRUZ), A. Nardocci, W. Günther Risso e D. Marchioni (FSP/USP), S. Miranda Galvão (ESALQ/USP), A. Saraiva & H. Yoshizaki (EP-USP), T. Ambrizzi, L. P. Morellato Cerdeira (IB/UNESP), S. Crestana & C. Ribeiro (EMBRAPA), N. Doubleday (McMaster Univ.), N. Naghabatla (UNU-CRIS), N. Bhattacharya-Mis (Univ Chester), A. Arheimer (SMHI), J. Alcamo (Sussex Univ.), D. Hannah & S. Krause (Univ. Birmingham), S. Grimaldi (Univ Tuscia), L. Piemontese & G. Castelli (Univ Florença), A. Castellarin (Univ. Bologna), G. Blöeschl (TU-Viena/Univ Bologna), M. H. Garcia (Univ Illionis), J. G. Tundisi (IIE-PMSC), M. C. Calijuri, J. Anache, A. Beck, V. Guimarães, E. Wendland, N. A. Corrêa, F. Catalano, A. N. Rodrigues Silva (EESC/USP), G. Maistrello e G. Peppermanns, heróis ancestrais do Jaaukanigás. O forte empenho dos alunos do Curso de Eng. Ambiental da EESC/USP, disciplina SHS360/2025 "Recursos Hídricos", promovendo a ciência cidadã com medidas compensatórias sob cenários "Abismal" e "Ancestral" em comunidades de povos originários inspiraram este trabalho. Referências científicas e cenários são operacionalizadas na versão de junho/2025 disponível em [Link1](#). A iniciativa SOPHIE está disponível no [Link2](#). Acesso às aulas e material do CLIMARES USP ACADEMY 2025 está disponível no [Link3](#).

7. Referências Bibliográficas

- Arfini, M., Magnini, M. (2021) Embodied Irrationality? Knowledge Avoidance, Willful Ignorance, and the Paradox of Autonomy, *Front. Psychol.*, 25 (12), <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.769591>
- Arheimer, B., *et al.* (2024) The IAHS Science for Solutions decade, with Hydrology Engaging Local People IN one Global world (HELPING), *Hydrol. Sci. J.* 69(11):1417-1435, <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2355202>
- Beven, K. *et al.* (2025) On the value of a history of hydrology and the establishment of a History of Hydrology Working Group, *Hydrol. Sci. J.* 70(5):717-729, <https://doi.org/10.1080/02626667.2025.2452357>
- Brandão, A. R. A., *et al.* (2023), Economic Impact Assessment for Enhancing Resilience of Drainage Structures under Changing Climate Conditions, In: XXVSBRH, Aracaju-SE, 2, *Anais*, <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15837>
- Brasil (2021) Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, *Lei Federal*, Planalto, Brasília-DF, https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14119.htm
- Brondizio, E. (2017) A Amazônia urbana é invisível, *Rev. FAPESP*, 258 (agosto), Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/eduardo-s-brondizio-a-amazonia-urbana-e-invisivel/>
- Brondizio, E.S., (2025) The entangled Indigenous, rural, and urban realities in Amazônia's governance. *Ambio* 54, 923–931, <https://doi.org/10.1007/s13280-025-02183-z>
- Bustamante M, *et al.* (2023) Ten New Insights in Climate Science 2023. *Global Sustainability* 7 (2024), e19. Cambridge University Press; 1–58. <https://doi.org/10.1017/sus.2023.25>

- Castillo-Rápalo, L. M., *et al.* (2024) Developing an open-source flood forecasting system adapted to data-scarce regions: A digital twin coupled with hydrologic-hydrodynamic simulations, *J. Hydrol.*, 644 (131929), <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131929>
- Dias, S. (2024) (org.) Perceber Florestas II, *ClimaCom* 11(26) "Territórios e povos indígenas", ISSN 2359-4705, <https://climacom.mudancasclimaticas.net.br/perceber-fazer-floresta-ii/>
- Diaz, S., *et al.* (2017) The IPBES Conceptual Framework: connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14: 1-16, <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Dias, S. (2024) "Tierra: Perceber Floresta diante do Antropoceno", *ClimaCom* 11 (27) "Desvios do 'ambiental'" ISSN 2359-4705, <https://climacom.mudancasclimaticas.net.br/tierra-catalogo/>
- Doubleday, N. (2019) Culture as vector: agency for social-ecological systems change. In: R.Boschman, M.Trono eds. *On active grounds: agency & time in environmental humanities*. Waterloo: Wilfrid Laurier Univ Press, 327–347.
- Garnett, S. T., *et al.* (2018) A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. *Nature Sustainability*, 1(7), 369-374. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0100-6>
- Gomes Jr., M. N., *et al.* (2023) HydroPol2D-Distributed hydrodynamic and water quality model: Challenges and opportunities in poorly-gauged catchments, *J. Hydrol.*, 625(A), 129982, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129982>
- IPBES (2019): *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. In E. S. Brondizio, J. Settele, S. Diaz, H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany, 1148 pages, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Hecht, S., *et al.* (2024) Amazonia in motion: Changing politics, development strategies, peoples, landscapes & livelihoods, *Acta Amazonica* 54(spe1): e54hu22306
- Kreibich, H. *et al.* (2022) The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management. *Nature* 608, 80–86, <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04917-5>
- Kreibich, H. *et al.* (2025) Panta Rhei: a decade of progress in research on change in hydrology and society, *Hydrol. Sci. J.* 70(7): 1210-1236, <https://doi.org/10.1080/02626667.2025.2469762>
- Krenak, A. (2024) *Ancestral future*. Cambridge: Polity Press. EAN/UPC 9781509560738.
- Mao, F., *et al.* (2022) Inequality of household water security follows a Development Kuznets Curve. *Nat. Commun.* 13, 4525, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31867-3>
- Mendiondo, E M (2024a) Segurança hídrica para além de uma perspectiva ocidental, *Revista ClimaCom, Desvios do Ambiente* 11 (27), <http://climacom.mudancasclimaticas.net.br/seguranca-hidrica-mendiondo>
- Mendiondo, E M (2024b) *SOPHIE - Sustainable Observatories for Planetary Health through Innovation and Entrepreneurship*, In: Workshop Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia - (Parte 2), EESC-USP, São Carlos, 4 set., 2024 Slides: https://drive.google.com/file/d/1ecLsWKOH9ZIpAxOOQYBmVcoo_9UsPf3m/view?usp=sharing, Gravação: <https://www.youtube.com/watch?v=FKjAgSeHoQ8&t=2800s>
- Mendiondo, E. M., *et al.* (2025) Ancestral Human-Water Feedbacks Help on New Regional Models of Anthropogenic Effects and Interactions with Local Communities, EGU25, *Proc.*, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-15950>
- O'Neill, B., *et al.* (2017) The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century, *Glob. Environ. Change*, 42: 169-180, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.000>
- Pörtner, H.-O. *et al.* (2022) Technical summary. In: H.-O. Pörtner et al., eds., *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. WG II/AR6/IPCC*. Cambridge Univ. Press, 37–118. doi:10.1017/9781009325844.002
- Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia-PNCSA (2025) *Cartografia Social dos Conflitos que Atingem Povos e Comunidades Tradicionais na Amazônia e no Cerrado*, UFAM, <http://novacartografiasocial.com.br/>
- Riahi, K., *et al.* (2017) The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environ. Change* 42: 153-168, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>,
- Richardson, K., *et al.* (2023) Earth beyond six of nine planetary boundaries, *Sci. Adv.*, 9(37) <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458>
- Roca-Servat, D., *et al.* (2021) Decolonizing hegemonic approaches of water: exploring Latin American proposals for communality and community. *Amb. & Soc.*, 24, e00961, doi:10.1590/1809-4422asoc20200096r1vu2021L4TD
- Souza, F. A. A., *et al.* (2022) Blue and grey urban water footprints through citizens' perception and time series analysis of Brazilian dynamics, *Hydrol. Sci. J.* 66(3), 408–421 <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1879388>
- Sundström, S.M., *et al.* (2023) Panarchy theory for convergence. *Sustainability Science*, 18 (4), 1667–1682. doi:10.1007/s11625-023-01299-z
- Taffarello, D., *et al.* (2017) Hydrological services in the Atlantic Forest, Brazil: An ecosystem-based adaptation using ecohydrological monitoring, *Climate Services* 8:1-16, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2017.10.005>
- UNESCO (2024) Open Hydrology, *Report SC-2024/HYD/PI/14*. Paris, UNESCO, 99.
- UNFCCC-IPBES (2024) 61st IPCC Session, Sofia, Bulgaria, *Report*, IPCC-LXI/INF. 10 (5.VII.2024)
- van Hateren, T.C., *et al.* (2023) Where should hydrology go? An early-career perspective on the next IAHS Scientific Decade: 2023–2032, *Hydrol. Sci. J.*, 68 (4), 529–541. doi:10.1080/02626667.2023.2170754
- WMO (2022) *Early Warnings for All initiative*, Geneva. Available from: <https://wmo.int/activities/early-warnings-all-wmo-and-early-warnings-all-initiative>.

Figura 1- Fluxograma 2017-2025 que mostra uma síntese da metodologia empírica, com aprendizados e resgates interdisciplinares na gestão adaptativa para segurança hídrica. Aspectos de história, arte, cultura e ancestralidade (parte superior, cores verdes) são intercaladas com estudos técnicos, com focos em engenharias e matemáticas (parte inferior, cores azuis). O fluxograma é sensível aos contextos globais (p.ex. décadas científicas Panta Rhei e HELPING/IAHS, fases VIII e IX do UNESCO PHI) e redes interdisciplinares de C&T&I no Brasil. O desenvolvimento de narrativas, cenários e arquétipos 'Abismal' e 'Ancestral', que aparecem nos produtos recentes deste fluxograma, são ilustrados na Figura 2 e Figura 3, respectivamente. Maiores informações explicadas no texto.



Figura 2- Arquétipo Sociohidrológico para "Cenário Abismal 2100". Superior: Ilustración alegórica, narrativa poética e exemplos. Inferior: Arquétipos de má adaptação, priorização de gestão da oferta hídrica, aumentando a desigualdade social e infraestrutura cinza, tradicional, de alto impacto. Referências aparecem no próprio gráfico. Este arquétipo pode ser adaptado para jogos educativos.

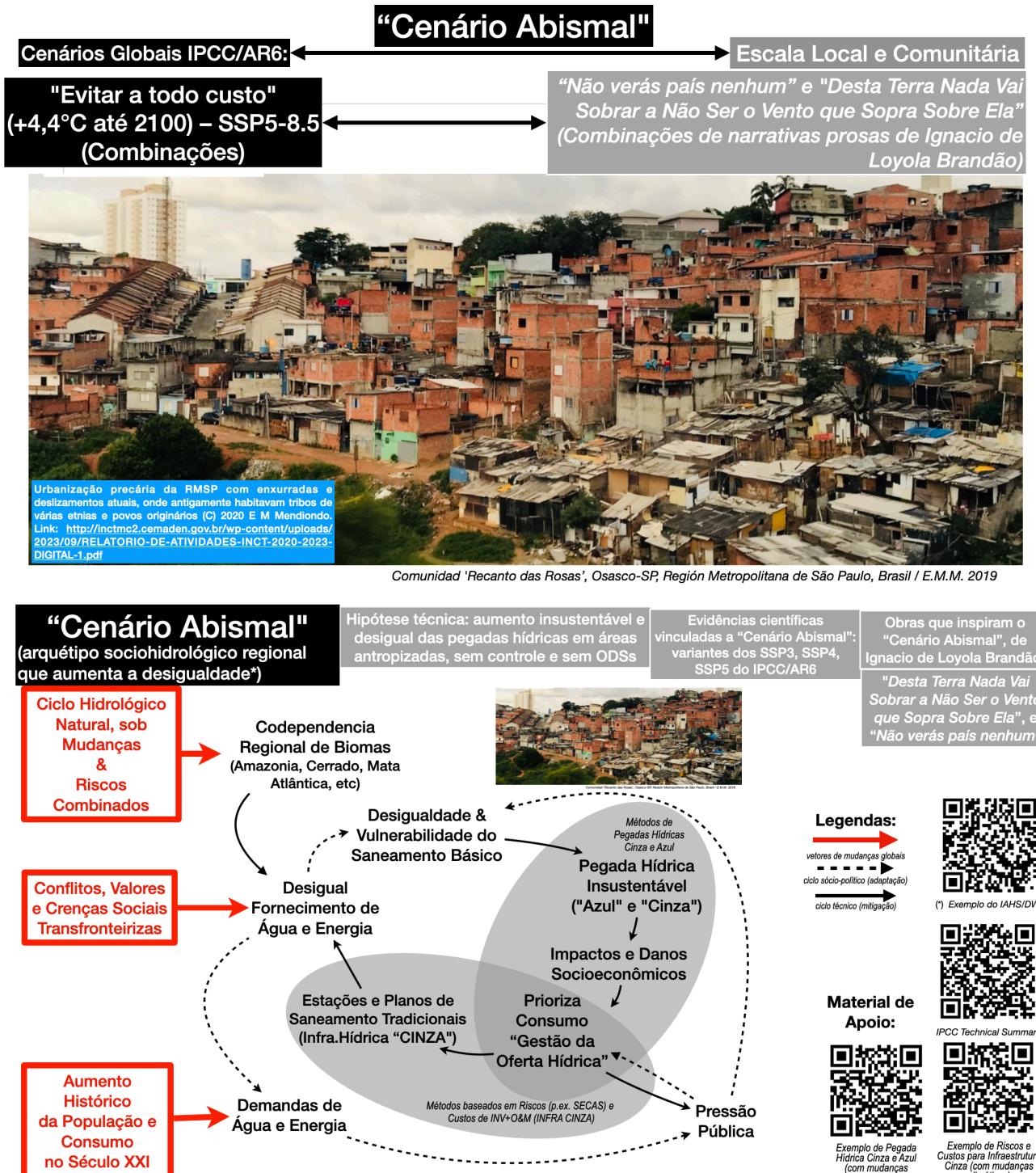


Figura 3- Arquétipo Sociohidrológico "Ancestral 2100". Superior: Ilustración alegórica, narrativa poética e exemplos, na área rural e na área urbana. Inferior: Arquétipos de adaptação baseada em ecossistemas, comunidades, soluções baseadas na natureza, gestão da demanda hídrica, aumentando as opções de serviços de reservação de água e reúso com infraestrutura "verde-azul" de baixo impacto. Referências aparecem no próprio gráfico. Este arquétipo pode ser adaptado para jogos educativos.

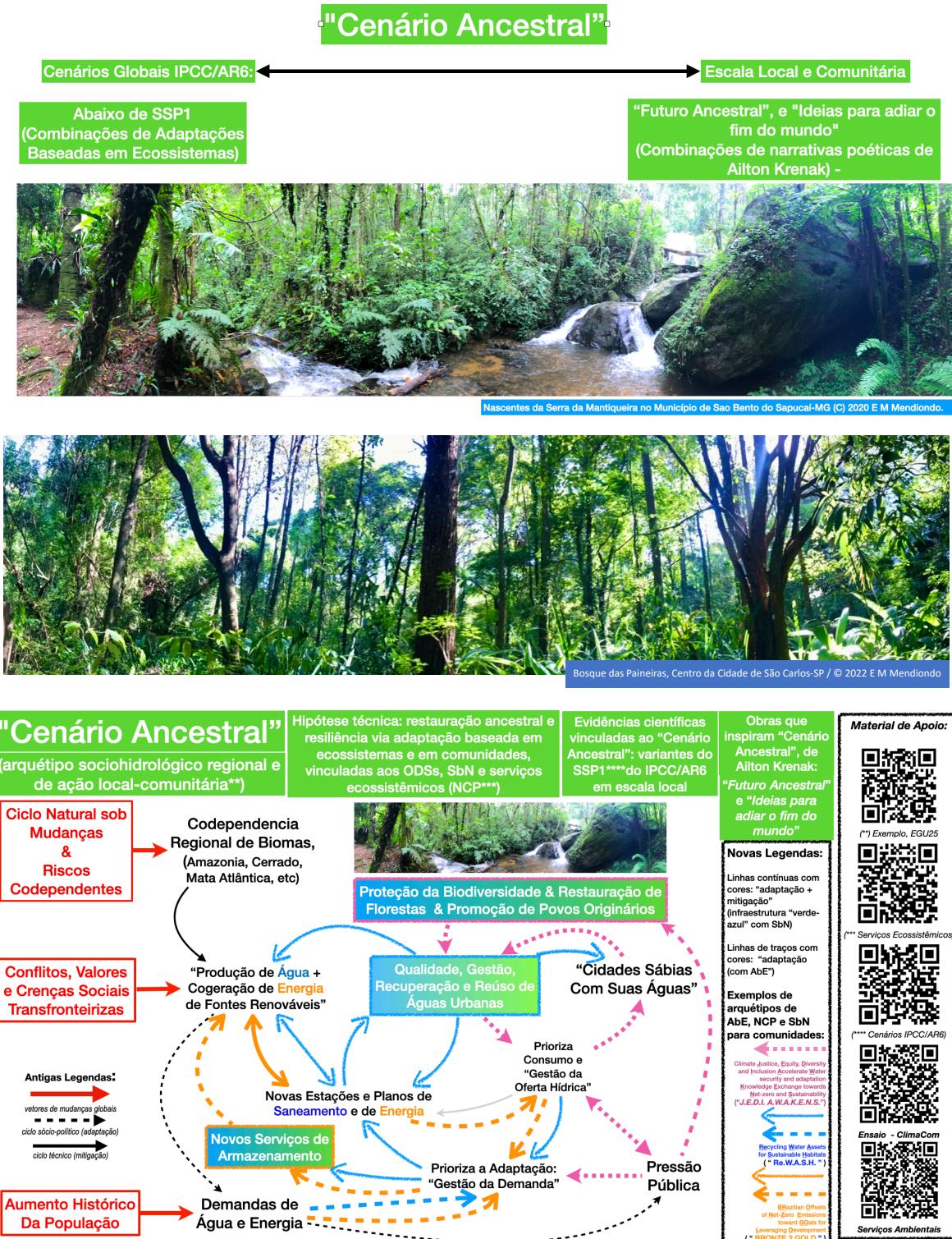


Figura 4 - Frase do Muséu do Amanhã, RJ / Foto: 2025 E.M.M.

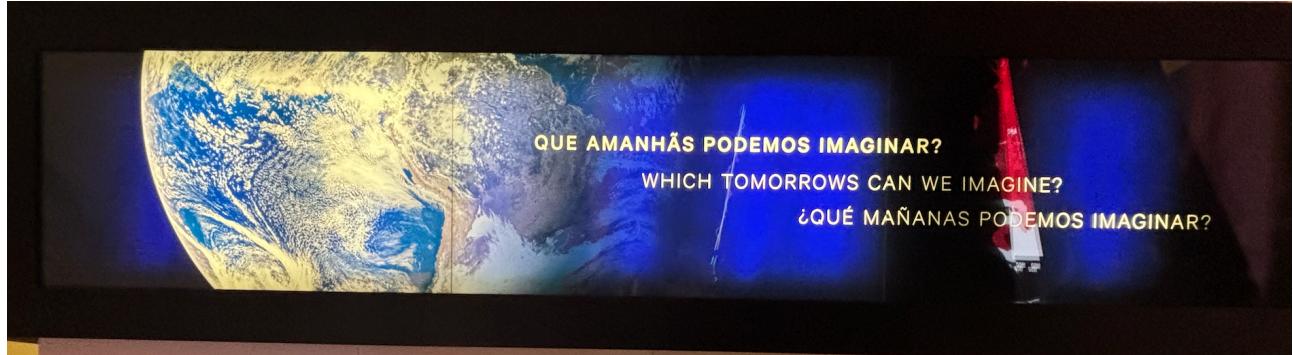


Tabela 1 - Cenarização "Abismal, Ano 2100" sobre comunidade de povos originários em sala de aula. O aumento de temperatura representa condições para cenário IPCC/AR6 SSP3. Dados de esgoto doméstico e consumo de água per capita são extraídos do SNIS (<https://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>)

Aluno	Local-Estado	Comunidade de povo originário	Cenário Abismal, Ano 2100		
			Aumento de temperatura entre 2025 e 2100 (°C)	Esgoto Doméstico (mg/L DBO)	Consumo diário de água tratada (L/dia/hab)
1	Bom Jesus - PI	Indigenas Gamela	2,5	290	190
2	Ilha Xingu - PA	Ribeirinhos, pescadores e pescadoras	2,2	390	180
3	Vale do Javari - AM	Povos indígenas do Vale do Javari	3,0	320	170
4	Ilha Xingu - PA	Povos tradicionais da Ilha do Xingu	1,8	350	160
5	Ilha Xingu - PA	Povos tradicionais do baixo Tocantis e ilha do Marajó	2,3	370	150
6	Barcarena - PA	Comunidades tradicionais	2,6	390	140
9	Canaã dos Carajás - PA	Pequenos Agricultores	3,9	290	130
11	Sudeste do Pará	Pescadores e Ribeirinhos	3,0	390	120
13	Porto Alegre do Tocantins - TO	Quilombo São Joaquim	2,6	320	190
14	Pindaíba - MG	Comunidade Tradicional Geraizeira Pindaíba	1,8	350	180
15	Mariana - MG	Paracatu de Baixo	0,5	370	170
16	São Paulo de Olivença - AM	Povo Omágua Kambeba	3,2	390	160
17	Baião - PA	Povos de Tucurui à Calados	2,5	350	150
18	Baião - PA	Povos a Jusante da UHE Tucurui - Baiao	2,2	290	140
19	Benjamin Constant - AM	Povos Tikuna e Kokama	3,0	390	130
20	Itapecuru Mirim – MA	Comunidade Quilombola Santa Rosa dos Pretos	2,0	290	120
21	Santa Rita - MA	Comunidade Quilombola Cariongo	2,0	390	170
22	Santa Rita e Itapecuru Mirim-MA	Comunidade Quilombola Santana/São Patrício	2,0	320	160
23	Santa Rita - MA	Comunidade Quilombola Pedreiras	2,0	350	150
24	Oiteiro dos Nogueiras - MA	Comunidade Quilombola Oiteiro dos Nogueiras	2,0	370	140
25	Santa Rita - MA	Comunidade Quilombola Vila Fé-em-Deus	1,9	390	130
26	Maranhão	Pescadores de Tutóia e Paulino Neves	2,5	280	120