

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **TRÊS DÉCADAS DE MUDANÇA NA SEGURANÇA HÍDRICA BRASILEIRA**

*Bruno Fernandes da Costa Fonseca<sup>1</sup> ; Vinícius Bogo Portal Chagas<sup>2</sup> ; Daniel Bartiko<sup>3</sup> & Pedro Luiz Borges Chaffe<sup>4</sup>*

**Abstract:** Water security has been quantified using indices based on hydrological, climatic, and socioeconomic data over the past decades. However, many of these indices would benefit from a detailed analysis in both spatial and temporal aspects. This study analyzes the Brazil's water security from the spatial and temporal perspectives. The eleven indicators from the four dimensions of the Water Security Index (ISH) developed by the Brazilian National Water and Sanitation Agency (ANA) were reproduced and analyzed spatially. Six indicators were adapted to enable a temporal analysis over a period of three decades. The results indicated that the indicator related to the human and ecosystem dimensions show low sensitivity to territorial variations, with values concentrated in the highest levels of water security. It was found that the Northeast Region and the southern part of the Rio Grande do Sul state were the areas with the most pronounced reductions in water security over the past decades. This reduction is strongly associated with the water balance variable. These findings suggest the need to consider the temporal dynamics of water security to enhance water security as tools for water resources management.

**Resumo:** A segurança hídrica tem sido quantificada por meio de índices baseados em dados hidrológicos, climáticos e socioeconômicos ao longo das últimas décadas. Contudo, muitos desses índices se beneficiariam de uma análise mais detalhada nos aspectos espacial e temporal. Este trabalho analisou, sob as perspectivas espacial e temporal, a segurança hídrica brasileira. Os onze indicadores das quatro dimensões do Índice de Segurança Hídrica (ISH) proposto pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Seis indicadores foram adaptados para possibilitar uma análise temporal ao longo do período de três décadas. Os resultados indicaram que os indicadores das dimensões humana e ecossistêmica apresentam baixa sensibilidade às variações territoriais, concentrando-se nos graus mais elevados de segurança hídrica. Identificou-se que a Região Nordeste e o sul do Rio Grande do Sul foram os locais com reduções mais expressivas na segurança hídrica ao longo das últimas décadas. Essa redução esteve fortemente associada à variável de balanço hídrico. Estes resultados sugerem a necessidade de considerar as dinâmicas temporais da segurança hídrica para aprimorar a segurança hídrica como uma ferramenta na gestão dos recursos hídricos.

**Palavras-Chave** – Segurança hídrica, indicadores, análise temporal.

1) Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, brufcf@gmail.com

2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, vbchagas@gmail.com

3) Itaipu Binacional, danielbartiko@hotmail.com

4) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, pedro.chaffe@ufsc.br

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o consumo de água doce tem crescido significativamente em função do desenvolvimento socioeconômico e do aumento populacional (UNESCO, 2025). Paralelamente, desafios relacionados à escassez (Mekonnen; Hoekstra, 2016) e à poluição da água (Hannah *et al.*, 2022) comprometem a disponibilidade hídrica em diversas regiões. Nesse contexto, a segurança hídrica emerge como um conceito central na gestão dos recursos hídricos. De acordo com a Organização das Nações Unidas (2013), segurança hídrica envolve a capacidade de uma população garantir acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para manter o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico, a proteção contra a poluição hídrica e desastres relacionados à água, além de preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política. Estima-se que cerca de 80% da população global esteja exposta a altos níveis de ameaça à segurança hídrica (Vörösmarty *et al.*, 2010).

Um dos primeiros trabalhos acadêmicos sobre o tema foi realizado por Falkenmark *et al.* (1989), com a criação do Índice de Estresse Hídrico, que estabelece categorias de estresse hídrico para nações, de acordo com a quantidade de água disponível por pessoa. Em âmbito institucional, a European Environmental Agency desenvolveu o Índice de Exploração Hídrica (EEA, 2011), com o intuito de identificar os países europeus sob maior pressão hídrica, por meio do balanço entre a demanda e a disponibilidade de água. Globalmente, o World Resources Institute criou o Índice de Risco Hídrico Geral (WRI, 2023), com o objetivo de mapear as regiões do planeta com maiores riscos associados à segurança hídrica. No Brasil, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH, 2019), concebido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, estabeleceu a criação do Índice de Segurança Hídrica - ISH. Do ponto de vista metodológico, o índice é composto por quatro dimensões. Cada dimensão possui seus próprios indicadores e pesos relacionados.

Apesar da importância dos índices na avaliação da segurança hídrica, a maioria deles é concebida com um retrato estático da realidade, sem capacidade preditiva, o que limita sua aplicabilidade na formulação de estratégias para a gestão dos recursos hídricos (Srinivasan; Konar; Sivapalan, 2017). Além disso, muitos dos índices são baseados em valores médios, o que tende a ocultar variações temporais e espaciais, que exercem papel essencial na caracterização adequada da segurança hídrica (Savenije, 2000). Portanto, é necessário compreender a sensibilidade dos indicadores que compõem o ISH e a variação no espaço e no tempo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar espacial e temporalmente a segurança hídrica do Brasil.

## MATERIAS E MÉTODOS

### Reprodução do ISH

Para o cálculo do ISH utilizaram-se os valores pré-classificados de cada um dos onze indicadores presentes no índice, disponíveis no Portal de Metadados da ANA (ANA, 2020). A Tabela 1 apresenta os indicadores e os seus respectivos códigos. A reprodução do ISH, a classificação dos indicadores, das dimensões e do índice geral seguirá as orientações do Manual Metodológico do ISH (ANA, 2019). A primeira dimensão a ser calculada foi a humana, cuja área de aplicação inicial na malha censitária urbana. Sendo assim, a etapa inicial consistiu em atribuir as variáveis pré-classificadas aos polígonos dos respectivos municípios. Em sequência, os indicadores foram classificados de acordo com a matriz de classificação disponível no Manual Metodológico. O próximo passo foi transferir a informação para as ottobacias, de forma proporcional à população urbana de cada município. O cálculo final da dimensão humana foi feito de forma ponderada: quando o indicador 3.1 superava o 3.2, recebia 70% de peso; caso contrário, utilizava-se exclusivamente o valor do indicador 3.1.

Tabela 1 – Indicadores do Índice de Segurança Hídrica, de acordo com as nomenclaturas do Manual Metodológico do ISH (2019), concebido pela ANA.

Dimensão	Indicador	Número
Humana	Garantia de água para abastecimento	3.1
	Cobertura de rede de abastecimento	3.2
Econômica	Garantia de água para irrigação e pecuária	4.1
	Garantia de água para atividade industrial	4.2
Ecossistêmica	Quantidade adequada de água para usos naturais	5.1
	Qualidade adequada de água para usos naturais	5.2
	Segurança de barragens de rejeito de mineração	5.3
Resiliência	Reservação artificial	6.1
	Reservação natural	6.2
	Potencial de armazenamento subterrâneo	6.3
	Variabilidade pluviométrica	6.4

De forma semelhante à dimensão humana, a dimensão econômica também possui suas variáveis na escala municipal. No entanto, neste caso, a área de aplicação refere-se a todo o território do município. Assim, a etapa inicial consistiu em atribuir as variáveis aos polígonos dos municípios e, posteriormente, classificá-los conforme as matrizes de classificação. O indicador 4.1 apresenta dois graus de classificação: um referente à agricultura irrigada e outro à pecuária. Dessa forma, o grau do indicador é obtido por uma média ponderada, sendo 70% associado à agricultura irrigada e 30% associado à pecuária. Nos casos em que apenas um dos graus estiver disponível, atribui-se grau 5 para o ausente. O passo seguinte foi transferir a informação para as ottobacias, de forma proporcional à área de cada município. Por fim, a dimensão econômica é classificada com base no valor mínimo entre os graus de segurança hídrica dos indicadores 4.1 e 4.2.

As dimensões ecossistêmica e resiliência foram calculadas a partir das variáveis disponíveis na escala de ottobacias. Em ambas, as variáveis foram vinculadas aos polígonos das ottobacias e os

indicadores classificados conforme as matrizes de classificação. Para a dimensão ecossistêmica, o grau de segurança hídrica foi definido pela média simples dos indicadores não nulos. Já para a dimensão de resiliência, antes da definição do grau final, foram criadas duas subdimensões: condição natural – obtida pela média simples dos indicadores 6.2, 6.3 e 6.4 – e condição artificial – correspondendo diretamente ao indicador 6.1. Por fim, o grau de segurança hídrica da resiliência foi definido de forma ponderada: quando a condição artificial era inferior à condição natural, o grau foi atribuído integralmente à condição natural, já quando a condição artificial era igual ou superior à natural, o grau correspondeu à média ponderada, com 50% do valor da condição natural e 50% da condição artificial.

Na etapa final, com todos os graus de segurança hídrica das dimensões definidos, o ISH final foi calculado pela média simples das dimensões não nulas.

## Análise temporal

O ISH é originalmente calculado para os anos de 2017 e 2035, com base em projeções de aumento populacional e de demanda hídrica. No entanto, não se realiza uma análise histórica do índice, o que poderia contribuir para sua validação. A fim de compreender o comportamento do ISH ao longo do tempo, optou-se por criar uma versão análoga do índice, permitindo seu cálculo em diferentes intervalos temporais. O recorte adotado considerou três décadas: 1991-2000, 2001-2010 e 2011-2020. Para essa nova versão do índice, seis indicadores foram adaptados com novas bases de dados (3.1, 3.2, 4.2, 5.1, 6.2 e 6.4), tendo em vista que alguns dados adotados pela ANA no índice original não estão disponíveis ou não apresentam séries temporais completas para refletir as variações no tempo. Os outros cinco indicadores restantes (4.1, 5.2, 5.3, 6.1 e 6.3) se mantiveram estáticos ao longo do período analisado, devido à ausência de dados para contemplar a validação temporal. A principal referência para o novo índice foi a base de dados CAMELS-BR (Chagas *et al.*, 2020), por meio dela, foi possível utilizar a série histórica de vazões, a localização dos exutórios e as áreas das respectivas bacias hidrográficas. Outras bases de dados também foram utilizadas como o Manual de Usos Consuntivos da ANA, dados de cobertura de rede de abastecimento do SINISA, dados populacionais e econômicos do IBGE e séries anuais de precipitação de Xavier *et al.* (2022).

Para o cálculo dos indicadores 3.1, 4.2 e 5.1, foi necessário realizar o balanço hídrico, razão da demanda com a disponibilidade. Para estimar a demanda, as vazões de consumo dos municípios foram divididas pela respectiva área municipal, resultando na densidade de consumo. Com esses valores, foi gerado um *raster* com resolução de 500 x 500 metros. Em seguida, os dados foram transferidos para as áreas das bacias hidrográficas com base na média das quadrículas que as compõe. No caso da disponibilidade, optou-se por utilizar a Q<sub>95</sub> referente ao período da década. Com as informações de demanda e disponibilidade disponíveis por bacia, foi possível realizar balanço hídrico e atribuir os resultados aos exutórios de cada bacia. O próximo passo foi realizar o processo de krigagem para espacializar o balanço hídrico em todo o território nacional. Antes de aplicar a krigagem, as bacias com área superior a 100.000 km<sup>2</sup> foram excluídas, a fim de evitar distorções na interpolação causadas pela grande variação interna dessas bacias. Com o objetivo de padronizar a krigagem entre as décadas, alguns parâmetros foram fixados: modelo exponencial, range de 500 e block de tamanho 100.

Para o cálculo do indicador 3.1, o valor de balanço hídrico foi atribuído a cada município com base na quadrícula correspondente ao seu centroide. Esse valor foi então transferido para a malha censitária urbana do município e multiplicado pela respectiva população urbana. O cálculo do indicador 3.2 ocorreu de forma direta: os valores do Índice de Atendimento Urbano de Água, disponíveis na plataforma SIDRA do IBGE, foram selecionados para os anos de 2000, 2010 e 2020.

Em seguida, esses valores foram associados às malhas censitárias urbanas de cada município. O indicador 4.2 também se baseou no resultado do balanço hídrico, assim como no indicador 3.1, o valor ao município com base na quadrícula correspondente ao seu centroide. No entanto, em vez de multiplicá-lo pela população, utilizou-se o Valor Agregado Bruto referente ao setor industrial. O último indicador que utilizou os resultados do balanço hídrico foi o 5.1. Nesse caso, o valor foi atribuído ao centroide da ottobacia. Como o indicador visa representar a vazão remanescente, foi calculada a diferença entre 100% e o valor do balanço hídrico.

Para o cálculo do indicador 6.2, inicialmente foram determinadas as vazões de referência  $Q_{95}$  e  $Q_{MLT}$  para cada década, com base na série histórica de vazões. A  $Q_{95}$  foi calculada a partir do 5º percentil das vazões diárias, desconsiderando os valores ausentes. Em seguida, calculou-se a razão de  $Q_{95}$  E  $Q_{MLT}$  para cada exutório. Para espacializar essa razão em todo o território nacional, optou-se novamente pela krigagem. Os parâmetros da krigagem adotados para este caso foram: modelo exponencial, range igual a 800 e block igual a 100.

O último indicador quantificado foi o 6.4. Para seu cálculo, utilizou-se o conjunto de dados de chuva diária com resolução de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , elaborada para todo o território nacional por Xavier *et al.* (2022). A partir desses dados, foram recortados os períodos das respectivas décadas, sobre o qual se calcularam a precipitação anual para cada célula da grade espacial. Em seguida, foram obtidos a média e o desvio padrão para o período de cada década. O coeficiente de variação (CV) foi calculado como a razão do desvio padrão e a média. Os resultados do CV foram transferidos para os centroides das ottobacias.

Por fim, os indicadores são classificados em cinco classes, sendo o grau 5 correspondente ao nível mais elevado de segurança hídrica e o grau 1 ao mais baixo. Em seguida, calcularam-se as dimensões e o ISH geral, seguindo a mesma metodologia descrita no Manual Metodológico do ISH (ANA, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

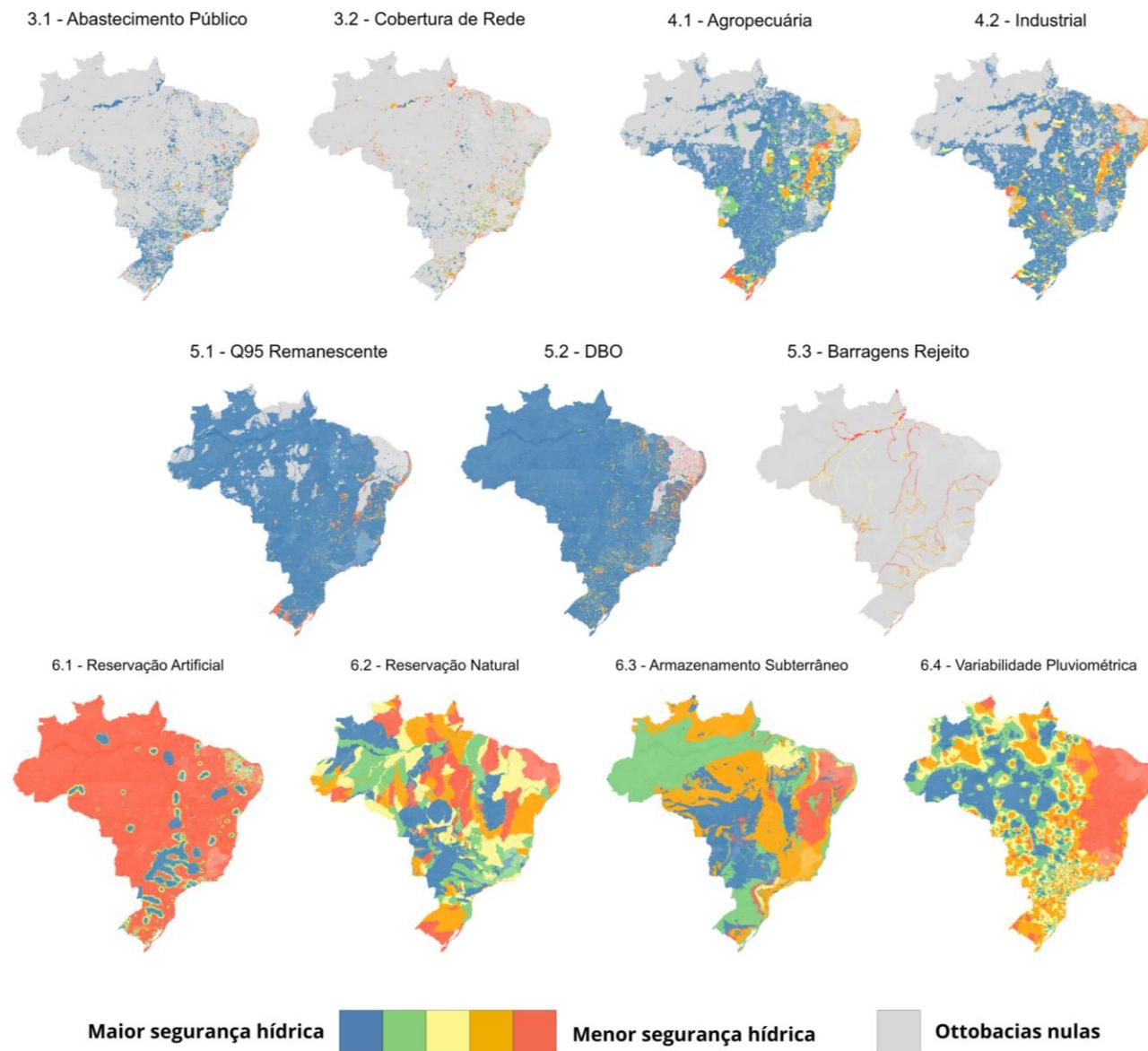
### Análise espacial

A Figura 1 apresenta os 11 indicadores do ISH de forma espacial. Destaca-se a presença de diversas ottobacias com valores nulos nos indicadores da dimensão humana. Isso se deve ao fato de que essa dimensão é calculada com base na malha censitária urbana, sendo posteriormente transferida para ottobacias – o que faz com que apenas os territórios urbanos sejam considerados no cálculo. Outro indicador com elevado número de ottobacias nulas é o 5.3, uma vez que o seu cálculo se restringe às ottobacias com a presença de barragens de rejeitos de mineração e aos trechos a jusante. Esse resultado levanta o questionamento sobre a representatividade desses indicadores na composição do índice, já que uma parcela significativa das ottobacias não é contemplada por essas variáveis.

Com relação ao padrão espacial dos indicadores, nota-se uma alta variabilidade nos graus de segurança hídrica e na distribuição dos indicadores ao longo das ottobacias. Os indicadores 5.1 e 5.2, por exemplo, apresentam a maioria das ottobacias na coloração azul, correspondente ao grau máximo de segurança hídrica. O indicador 6.2 demonstra ser homogêneo, com uma distribuição espacial equilibrada ao longo do território. Essa aparente uniformidade, contudo, pode ser explicada pelo método de classificação adotado para esse indicador, em que os graus de segurança hídrica são definidos em cinco quantis. Ainda na dimensão resiliência, o indicador 6.1 apresenta um padrão espacial fragmentado e por vezes desconectado do comportamento hidrológico. Isso se deve à metodologia adotada para o cálculo desse indicador, que utiliza raios de 50 km ao redor dos reservatórios para estimar a influência da reserva artificial. Essa abordagem ignora a dinâmica de

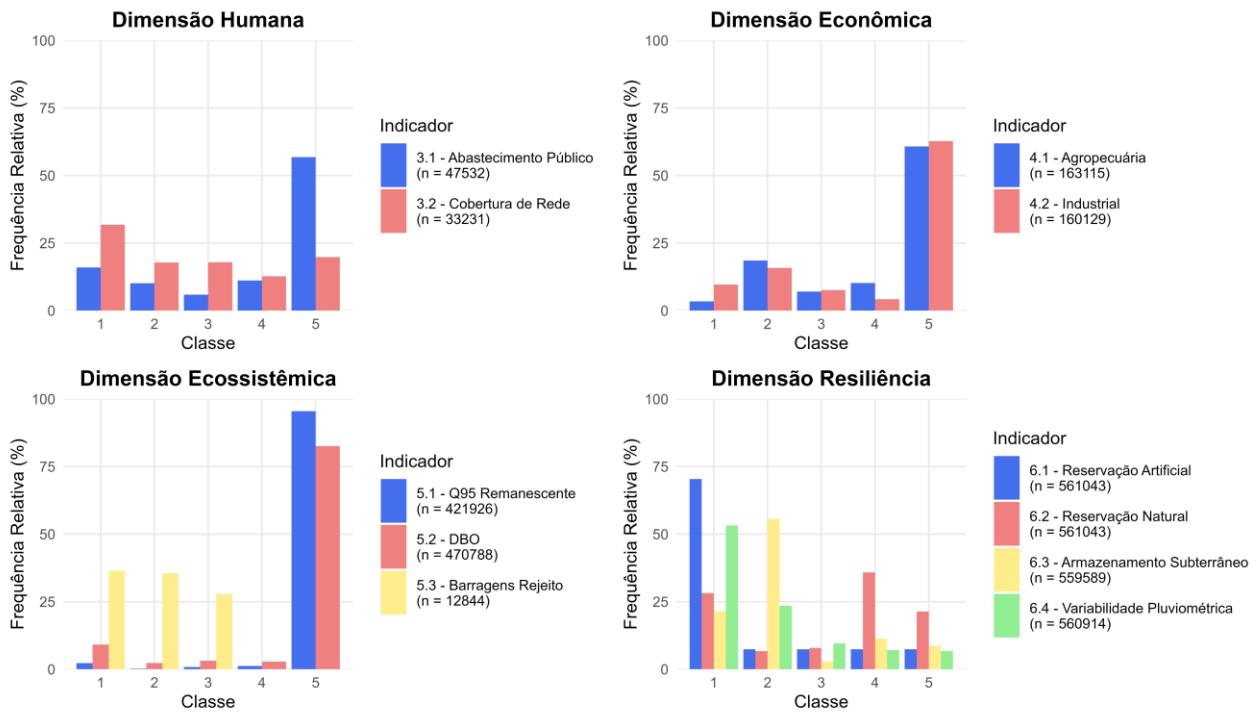
acumulação de reservatórios, de jusante a montante, e a sua real capacidade de garantir segurança hídrica em escala de ottobacias.

Figura 1 – Indicadores do ISH reproduzidos espacialmente



A interpretação espacial é reforçada pelos histogramas dos indicadores, conforme apresentado na Figura 2. De modo geral, observa-se que os indicadores das dimensões humana, econômica e ecossistêmica concentram-se predominantemente nas classes mais altas de segurança hídrica. Em especial, os indicadores 3.1, 4.1, 4.2, 5.1 e 5.2 apresentam distribuição assimétrica, com maior ocorrência nas classes 4 e 5. Já na dimensão resiliência, nota-se a maior dispersão entre classes. Essa heterogeneidade sugere uma maior variabilidade nas condições associadas à capacidade de resistir e recuperar das ottobacias.

Figura 2 – Histograma: Indicadores do ISH



## Análise temporal

Os seis novos indicadores calculados apresentaram comportamentos distintos ao longo das três décadas. A Figura 3 ilustra três desses indicadores, 3.2, 5.1 e 6.2. O indicador 3.2 na primeira década, apresentou um grande número de ottobacias com valor nulo, cerca de 97% de todas as ottobacias. Na segunda década, houve um aumento na quantidade de ottobacias com informação desse indicador, diminuindo o valor de ottobacias nulas para 92%, ainda assim, muitas ottobacias apresentavam baixos graus de segurança hídrica. Já na terceira década, o número de ottobacias nulas reduziu apenas para 91%, no entanto, verificou-se uma melhora nos valores. O grau máximo de segurança hídrica na primeira década correspondia a 2% das ottobacias, na terceira década esse valor aumentou para 5%. Esse resultado demonstra um avanço na infraestrutura de cobertura de rede de abastecimento público ao longo dos últimos 30 anos.

O indicador 5.1 demonstrou uma redução relevante na segurança hídrica. O grau mínimo, por exemplo, na primeira década correspondia a menos de 1% da ottobacias, já na terceira década, esse número aumentou para 21% das ottobacias, cerca de um quinto do território nacional. A Região Nordeste concentrou o maior número de ottobacias responsáveis por essa diminuição na segurança hídrica, em termos de magnitude e extensão espacial. Outra região de alerta é o sul do Rio Grande do Sul que com o tempo notoriamente piorou a segurança hídrica.

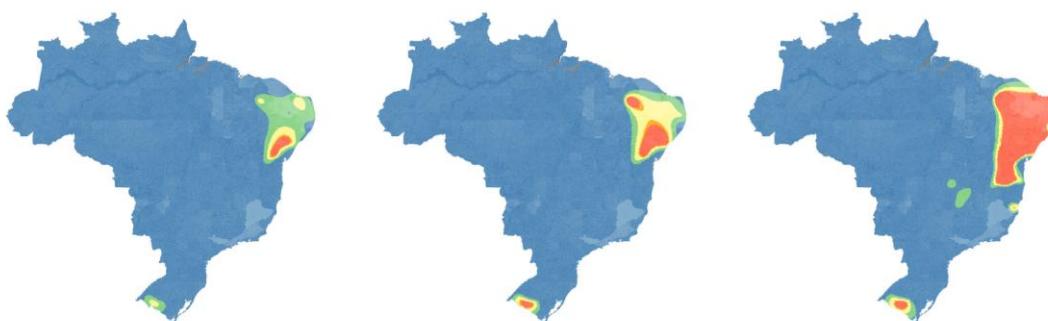
O indicador 6.2 demonstra relativa estabilidade ao longo das três décadas. A região do leste de Minas Gerais e o Espírito Santo apresentaram uma redução na segurança hídrica ao longo do tempo. No entanto, apesar de pequenas variações em algumas regiões, o padrão espacial geral permaneceu com certa uniformidade. Essa constância pode ser interpretada como um ponto de atenção, uma vez que a manutenção dos mesmos valores ao longo do tempo pode indicar uma limitação do indicador em captar mudanças significativas no cenário da segurança hídrica.

Figura 3– Indicadores do ISH variando no tempo

### **Indicador 3.2 - Cobertura de Rede de Abastecimento**



### Indicador 5.1 - Vazão Remanescente



## Indicador 6.2 - Reservação Natural

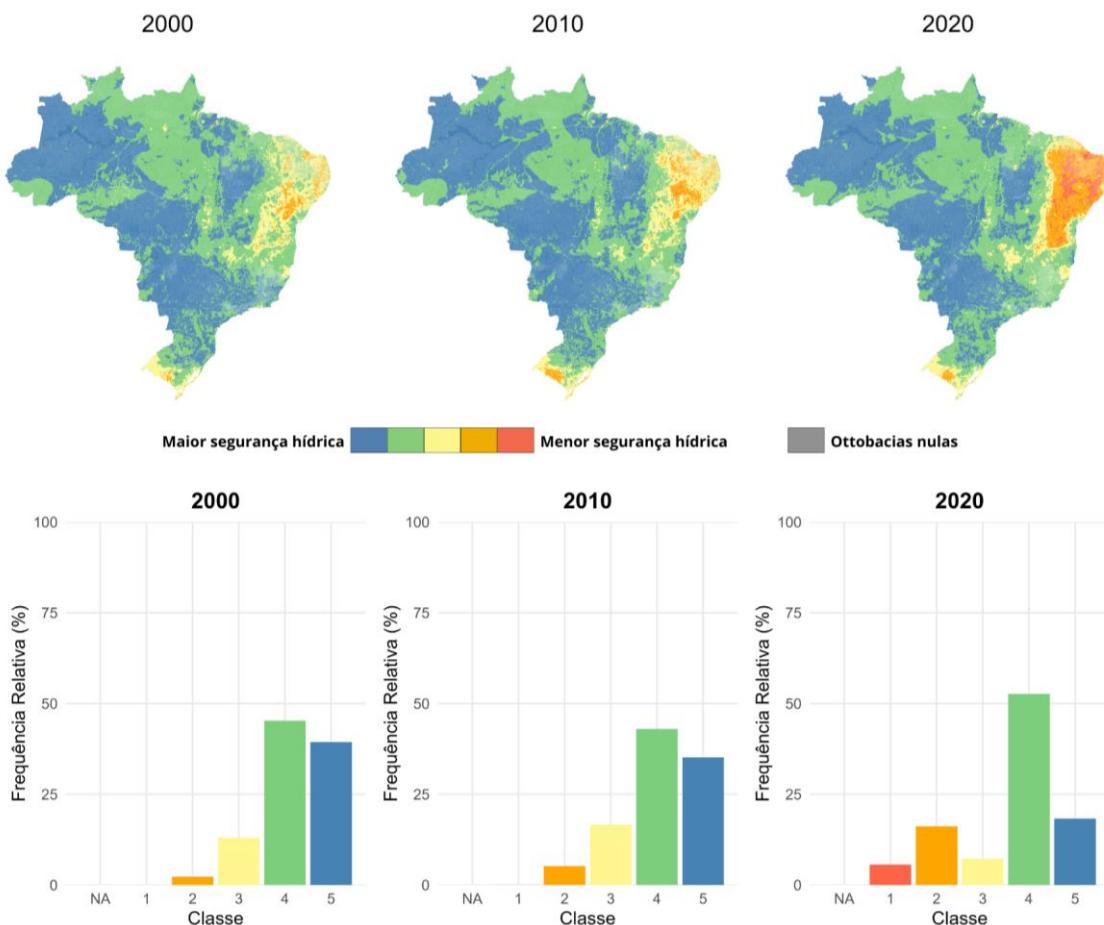


**Maior segurança hídrica**  **Menor segurança hídrica**  **Ottobacias nulas**

## Ottobacias nulas

Por fim, o ISH geral, com sua variação temporal, é apresentado na Figura 4. Observou-se uma tendência de negativa nas condições de segurança hídrica. O grau máximo de segurança hídrica reduziu-se de 39% para 18% das ottobacias ao longo das três décadas. Por outro lado, o grau mínimo aumentou de menos de 1% para 6%. Nas regiões Norte e Centro-Oeste o ISH se mantém estável ao longo das três décadas, apresentando graus próximos ao máximo. Já na Regiões Sul e Sudeste, nota-se uma leve redução na segurança hídrica em área específicas, especialmente em zonas costeiras, refletindo pressões crescentes sobre os recursos hídricos.

Figura 4– ISH geral variando no tempo



De forma geral, o ISH possui a capacidade de identificar alterações nas condições de segurança hídrica ao longo do tempo. Indicadores como o 3.2 ou 5.1 evidenciam mudanças significativas nos diferentes períodos analisados, refletindo transformações nas condições estruturais e hidrológicas das regiões. Em contraste, o indicador 6.2 apresentou estabilidade ao longo das três décadas, com pouca variação, o que sugere menor sensibilidade às transformações nas condições reais e levante questionamentos sobre sua relevância dentro do índice. Observou-se, ainda, a influência recorrente do balanço hídrico em múltiplos indicadores, o que resultou em certa sobreposição de informações entre eles, indicando a necessidade de atenção à independência entre os parâmetros que integram o índice.

## CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou o ISH de forma espacial e temporal. Do ponto de vista espacial, notou-se que os indicadores das dimensões humana, econômica e ecossistêmica apresentam altos graus de segurança hídrica em boa parte do território nacional. A exceção foi a dimensão resiliência em que uma maior variabilidade foi constada nos indicadores. Para a análise temporal foi utilizada uma versão análoga de seis indicadores do índice. Ao longo do tempo, observou-se uma piora na segurança hídrica de forma geral no país, com destaque para a Região Nordeste e o sul do Rio Grande do Sul. Regiões como o leste de Minas Gerais e o Espírito Santo também sofreram uma redução em suas respectivasseguranças hídrica, em especial na última década. De forma geral, os indicadores do ISH possuem informações relevantes, entretanto, podem ser revisados na forma com que são ponderados

e espacializados no ISH. Isso possibilitaria uma melhor caracterização da segurança hídrica e aplicabilidade na gestão dos recursos hídricos no Brasil.

**AGRADECIMENTOS** – Os autores agradecem ao apoio financeiro do Núcleo de Inteligência Territorial - Itaipu e Itaipu Parquetec, da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ).

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA) (2019). “Manual metodológico para a construção do Índice de Segurança Hídrica (ISH)”. *Brasília: ANA*. Disponível em: [https://metadados.snhirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia\\_ISH.pdf](https://metadados.snhirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia_ISH.pdf). Acesso em: 7 dez. 2024.
- BRAGA, B.P.F. *et al.* (2009). “Integrated water resources management in a federative country: the case of Brazil”. *International Journal of Water Resources Development* 25(4), pp. 611–628.
- CHAGAS, V.B.P. *et al.* (2020). “CAMELS-BR: Hydrometeorological time series and landscape attributes for 897 catchments in Brazil”. *Earth System Science Data* 12(3), pp. 2075–2096.
- FALKENMARK, M.; LUNDQVIST, J.; WIDSTRAND, C. (1989). “Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches”. *Natural Resources Forum* 13(4), pp. 258–267.
- GETIRANA, A.; LIBONATI, R.; CATALDI, M. (2021). “Brazil is in water crisis — it needs a drought plan”. *Nature* 600(7888), pp. 218–220.
- HANNAH, D.M. *et al.* (2022). “Illuminating the ‘invisible water crisis’ to address global water pollution challenges”. *Hydrological Processes* 36(3).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2024). “Produto Interno Bruto dos Municípios”. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municípios.html?edicao=35881&t=downloads>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2011). “Censo demográfico 2010”. *Rio de Janeiro: IBGE*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=downloads>. Acesso em: 8 abr. 2025.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. (2016). “Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity”. *Science Advances* 2(2).
- SAVENIJE, H.H.G. (2000). “Water scarcity indicators; the deception of the numbers”. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 25(3), pp. 199–204.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS) (2024). “Índice de Atendimento Urbano de Água (SINISA)”. Disponível em: <https://basedosdados.org/dataset/2a543ad8-3cdb-4047-9498-efe7fb8ed697?table=df7cf198-4889-4baf-bb77-4e0e28eb90ca>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- SRINIVASAN, V.; KONAR, M.; SIVAPALAN, M. (2017). “A dynamic framework for water security”. *Water Security* 1, pp. 12–20.
- UN-WATER (2013). “Water Security and the Global Water Agenda: An UN-Water Analytical Brief”. Hamilton: United Nations University. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-and-global-water-agenda>. Acesso em: 22 out. 2024.
- VÖRÖSMARTY, C.J. *et al.* (2010). “Global threats to human water security and river biodiversity”. *Nature* 467(7315), pp. 555–561.
- XAVIER, A.C. *et al.* (2022). “New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)”. *International Journal of Climatology* 42(16), pp. 8390–8404.