AVALIAÇÃO MULTIESCALAR DA SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL

Ana Paula Frazão [1] ; Marcos Roberto Benso [2]; Aline Paiva Moreira[3] & Edna Lizeth Higuera Castro

Palavras-Chave – Ottobacias; Estresse hídrico; Regiões Hidrográficas

INTRODUÇÃO

A segurança hídrica consolidou-se como um conceito central na gestão dos recursos hídricos por integrar aspectos relacionados à disponibilidade de água, qualidade ambiental, infraestrutura, dinâmica econômica e variabilidade climática. Nesse contexto, territórios com disponibilidade hídrica semelhante podem apresentar diferentes níveis de segurança em função de suas características ambientais e socioeconômicas (Grey e Sadoff, 2007; UN-Water, 2013).

Apesar dos avanços conceituais, a avaliação da segurança hídrica ainda enfrenta desafios metodológicos relacionados à escala de análise. Estudos realizados em unidades espaciais muito agregadas tendem a ocultar heterogeneidades internas e dificultar a identificação de áreas prioritárias para intervenção (Doeffinger e Hall, 2021). Dessa forma, abordagens multiescalares têm sido apontadas como alternativas capazes de representar com maior fidelidade os processos hidrológicos e suas relações com fatores ambientais e antrópicos.

No Brasil, a elevada diversidade climática, ambiental e socioeconômica reforça a necessidade de avaliações integradas da segurança hídrica em diferentes escalas espaciais. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a segurança hídrica no território brasileiro por meio da aplicação de um Índice de Segurança Hídrica (ISH) anual, calculado para 2.442 ottobacias de nível 4 da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) e posteriormente agregado para as 12 Regiões Hidrográficas Brasileiras. O índice integra indicadores ambientais, climáticos, econômicos e de infraestrutura, permitindo avaliar padrões espaciais da segurança hídrica em escalas complementares de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado para todo o território brasileiro, utilizando 2.442 ottobacias de nível 4 da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), posteriormente agregadas para as 12 Regiões Hidrográficas Brasileiras definidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essa abordagem permitiu avaliar a segurança hídrica em escalas complementares de análise.

O Índice de Segurança Hídrica (ISH) foi construído a partir de uma abordagem multidimensional, integrando indicadores ambientais, de infraestrutura e econômicos. A dimensão ambiental contemplou cobertura florestal, Índice de Shannon, estresse hídrico, Índice Padronizado de Precipitação (SPI-12) e coeficiente de variabilidade pluviométrica (CV). A dimensão de infraestrutura foi composta pelos indicadores de abastecimento urbano, potabilidade da água e perdas na distribuição. Já a dimensão econômica foi representada pelo Produto Interno Bruto (PIB) e pelo consumo industrial de água.

1) Onseadpta, anapaulafrazao123@gmail.com
2) Escola Superior Luiz de Queiroz, marcosbenso@usp.br
2) Onseadpta, alinepaivamoreira@usp.br
2) Onseadpta, elhiguerac@unal.edu.co

A dimensão Ambiental é composta por cinco indicadores: a Cobertura florestal (%) e o Índice de Shannon, ambos com dados do MapBiomas e relação positiva com o ISH; o Estresse hídrico, obtido da ANA, que possui relação negativa; o SPI-12, extraído do CHIRPS, com relação positiva; e a Variabilidade pluviométrica (CV), também do CHIRPS, com relação negativa.

Na dimensão Infraestrutura, todos os dados provêm do SNIS e englobam três indicadores: o Abastecimento urbano (%) e a Potabilidade (%), que apresentam relação positiva com o ISH, e as Perdas na distribuição (%), que possuem relação negativa.

Por fim, a dimensão Econômica conta com dois indicadores: o PIB, extraído do IBGE e com relação positiva com o ISH, e o Consumo industrial de água, obtido da ANA, cuja relação é negativa.

Devido às diferentes unidades de medida e amplitudes dos indicadores utilizados, todas as variáveis foram normalizadas para uma escala entre 0 e 1 por meio do método Min-Max. Para os indicadores com relação positiva à segurança hídrica foi utilizada a normalização direta, enquanto para os indicadores cuja elevação representa aumento da vulnerabilidade ou redução da segurança hídrica foi aplicada a normalização inversa.

Equação 1. Normalização dos indicadores pelo método Min-Max.

$$\boldsymbol{In = (x - xmin)/(xmax - xmin)} \qquad \mathbf{(1)}$$

Após a normalização, os indicadores foram agregados em três dimensões principais: ambiental, infraestrutura e econômica. A dimensão ambiental foi calculada a partir da média aritmética simples dos indicadores de cobertura florestal, diversidade da paisagem, estresse hídrico, SPI-12 e variabilidade pluviométrica.

Equação 2. Cálculo do Índice Ambiental de Segurança Hídrica.

$$\boldsymbol{ISHambiental = (Floresta + Shannon + Estresse + SPI + CV)/5} \qquad \mathbf{(2)}$$

A dimensão de infraestrutura foi obtida a partir da média aritmética dos indicadores de abastecimento urbano, potabilidade da água e perdas na distribuição. A dimensão econômica foi calculada a partir da média dos indicadores de Produto Interno Bruto (PIB) e consumo industrial de água.O Índice de Segurança Hídrica (ISH) foi obtido pela média aritmética simples das três dimensões, atribuindo pesos equivalentes aos componentes ambiental, infraestrutura e econômico.

Equação 3. Cálculo do Índice de Segurança Hídrica (ISH).

$$ISH = (ISHambiental + ISHinfraestrutura + ISHeconomico)/3 \qquad (3)$$

A adoção de pesos iguais buscou reduzir a subjetividade associada à ponderação dos indicadores e garantir transparência na construção do índice. Os valores do ISH foram classificados em cinco categorias relativas de segurança hídrica (Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta) por meio da técnica de quintis (Q20), permitindo uma distribuição equilibrada das unidades analisadas entre as classes.

Com o objetivo de avaliar a segurança hídrica em escala regional, as variáveis utilizadas na construção do ISH foram agregadas para as doze Regiões Hidrográficas Brasileiras. A partir desses valores médios regionais, os indicadores foram novamente normalizados e o índice foi recalculado

diretamente para cada Região Hidrográfica, seguindo a mesma estrutura metodológica adotada para as ottobacias. Dessa forma, o resultado regional não corresponde à simples média dos índices locais, mas a um novo cálculo realizado a partir dos indicadores agregados em escala regional.

RESULTADOS

O Índice de Segurança Hídrica (ISH) anual foi calculado para 2.442 ottobacias de nível 4 e posteriormente recalculado para as 12 Regiões Hidrográficas Brasileiras a partir da agregação dos indicadores utilizados na construção do índice. A análise multiescalar evidenciou forte influência da escala espacial na interpretação dos padrões de segurança hídrica (Figura 1).

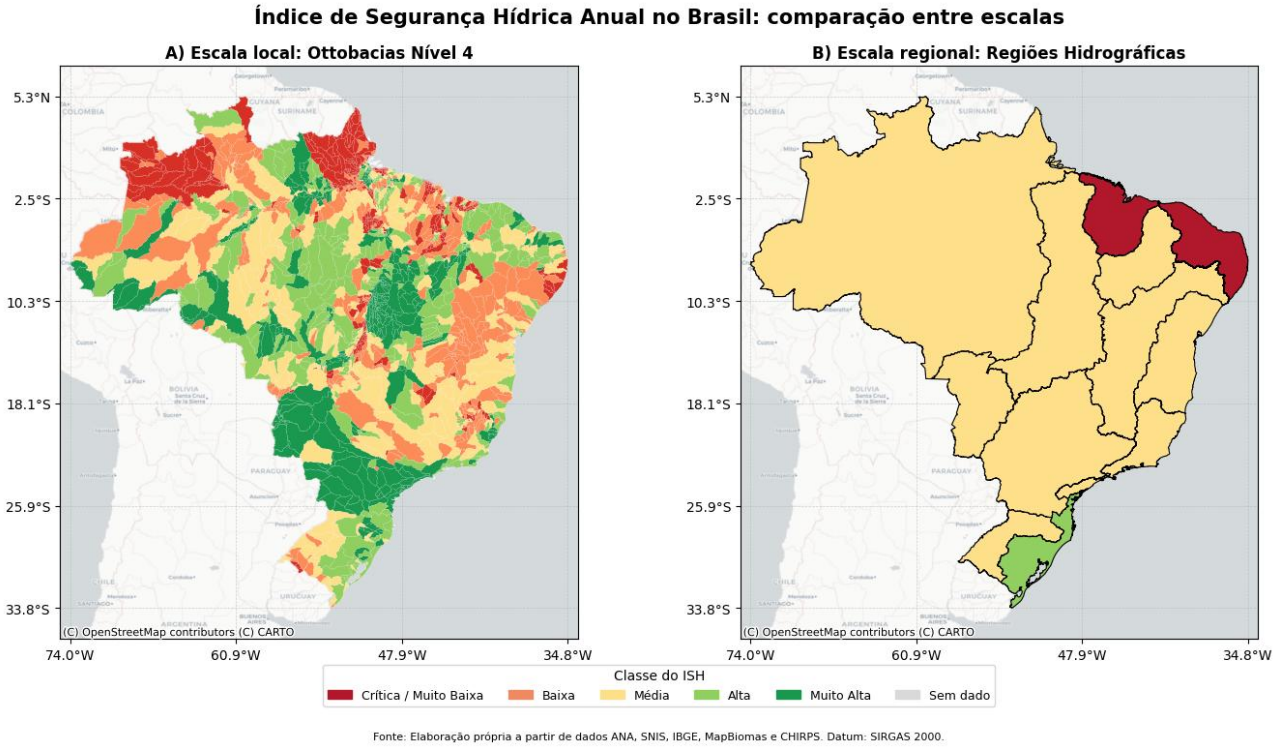


Figura1: Análise Multiescala do Índice de Segurança Hídrica Anual (ISH) no Brasil

Na escala das ottobacias observou-se elevada heterogeneidade espacial, com a ocorrência de classes variando de Muito Baixa a Muito Alta segurança hídrica em praticamente todas as regiões do país. Em contraste, a agregação para as Regiões Hidrográficas produziu um padrão mais homogêneo, reduzindo a variabilidade observada na escala local.

Na escala das ottobacias observou-se elevada heterogeneidade espacial, com a ocorrência de classes variando de Muito Baixa a Muito Alta segurança hídrica em praticamente todas as regiões do país. Em contraste, o recálculo do índice na escala das Regiões Hidrográficas resultou em um padrão regional mais homogêneo, mantendo, entretanto, diferenças importantes entre as grandes unidades de gestão.

O maior valor do ISH foi observado na Região Hidrográfica Atlântico Sul (0,743), classificada como Alta segurança hídrica. Em seguida destacaram-se Tocantins-Araguaia (0,669), Amazônica (0,653), Atlântico Sudeste (0,653), Paraguai (0,652), Paraná (0,644), Uruguai (0,643), Atlântico Leste (0,637), São Francisco (0,612) e Parnaíba (0,602), enquadradas na classe Média. Os menores índices

ocorreram nas Regiões Hidrográficas Atlântico Nordeste Ocidental (0,491) e Atlântico Nordeste Oriental (0,485), classificadas como Críticas.

Os resultados demonstram que o recálculo do ISH diretamente na escala regional preserva as diferenças estruturais entre as Regiões Hidrográficas, enquanto a análise em ottobacias permite identificar as heterogeneidades espaciais internas, evidenciando a complementaridade entre as duas escalas de avaliação.

CONCLUSÕES

O Índice de Segurança Hídrica (ISH) anual permitiu integrar indicadores ambientais, climáticos, econômicos e de infraestrutura em uma abordagem multiescalar aplicada ao território brasileiro. O recálculo do índice para as 12 Regiões Hidrográficas, a partir da agregação dos indicadores e não da simples média dos índices locais, produziu uma representação regional consistente da segurança hídrica nacional.

A comparação entre as escalas demonstrou que as ottobacias são mais adequadas para identificar heterogeneidades locais e áreas prioritárias para intervenção, enquanto as Regiões Hidrográficas fornecem uma visão sintética compatível com o planejamento estratégico e a gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, a metodologia proposta amplia o potencial de aplicação do ISH em diferentes níveis de tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). (2024). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024. Brasília: ANA.

DOEFFINGER, T.; HALL, J. W. (2021). “Water security across scales: A review of approaches, challenges and opportunities”. Water Security, v. 14, p. 100104.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. (2015). “The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations – A new environmental record for monitoring extremes”. Scientific Data, v. 2, p. 150066.

GAIN, A. K.; GIUPPONI, C.; WADA, Y. (2016). “Measuring global water security towards sustainable development goals”. Environmental Research Letters, v. 11, n. 12, p. 124015.

GREY, D.; SADOFF, C. W. (2007). “Sink or swim? Water security for growth and development”. Water Policy, v. 9, n. 6, p. 545–571.

IBGE. (2024). Produto Interno Bruto dos Municípios. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

MAPBIOMAS. (2024). Projeto MapBiomas – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. São Paulo: MapBiomas.

SNIS. (2024). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

UN-WATER. (2013). Water Security and the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief. Hamilton, Canada: United Nations University.