

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO HÍDRICA E PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS – RS

*Bruno Joakinson Böving¹; Jhonny Matheus Marinho Silva²; Luiza Castro de Toledo Piza³; Máira
Martim de Moura⁴; Candice Schauffert Garcia⁵*

Abstract: RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda developed this study for the Secretariat of Environment and Infrastructure of the Government of the State of Rio Grande do Sul (SEMA-RS), within the scope of the State Program for the Revitalization of Watersheds. The Rio dos Sinos Watershed, located in the northeastern region of Rio Grande do Sul, holds significant socioeconomic importance, encompassing 30 municipalities and accounting for 21% of the state's GDP. Divided into Upper, Middle, and Lower Sinos, it presents varying characteristics of water availability, with greater pressure in the downstream sections. This study estimated water availability based on the Q90 flow rate, using the Large Basin Model (MGB-IPH), which was calibrated and validated with data from 2000 to 2024. Consumptive demands were identified using the SEMA-RS Water Use Permit Registry (2024), considering two scenarios: one that included only approved and insignificant permits, and a second that also included pending applications. The water balance, calculated for the second scenario, revealed critical deficits, especially in the Upper Sinos, where demand exceeds the grantable availability by up to 273.62%. As intervention alternatives, both structural and non-structural measures are proposed, highlighting the replacement of surface water permits with groundwater sources, the construction of regulation reservoirs, and extensive practices to increase aquifer infiltration and recharge. The effectiveness of these solutions depends on enhanced monitoring and integrated management, taking into account the specific characteristics of each study unit.

Resumo: Este estudo foi desenvolvido pela RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda para a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA-RS), no âmbito do Programa Estadual de Revitalização de Bacias Hidrográficas. A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, situada na região nordeste do Rio Grande do Sul, possui grande relevância socioeconômica, abrangendo 30 municípios e concentrando 21% do PIB estadual. Dividida em Alto, Médio e Baixo Sinos, apresenta diferentes características de disponibilidade hídrica, com maiores pressões nos trechos a jusante. Este estudo estimou a disponibilidade hídrica com base na vazão Q90, utilizando o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), calibrado e validado para dados de 2000 a 2024. As demandas consuntivas foram levantadas a partir do Cadastro de Outorgas da SEMA-RS (2024), considerando dois cenários: apenas outorgas deferidas e insignificantes, e o segundo, que também inclui processos em análise. O balanço hídrico, calculado para o segundo cenário, revelou comprometimentos críticos, especialmente no Alto Sinos, onde a demanda supera em até 273,62% a

1) RHA Engenharia, Rua Voluntários da Pátria, 400, 14º Andar, Centro, Curitiba-PR, 3232-0732, barragem3@rhaengenharia.com.br

2) RHA Engenharia, Rua Voluntários da Pátria, 400, 14º Andar, Centro, Curitiba-PR, 3232-0732, hidrologia@rhaengenharia.com.br

3) RHA Engenharia, Rua Voluntários da Pátria, 400, 14º Andar, Centro, Curitiba-PR, 3232-0732, meioambiente4@rhaengenharia.com.br

4) RHA Engenharia, Rua Voluntários da Pátria, 400, 14º Andar, Centro, Curitiba-PR, 3232-0732, gerenciatecnica@rhaengenharia.com.br

5) RHA Engenharia, Rua Voluntários da Pátria, 400, 14º Andar, Centro, Curitiba-PR, 3232-0732, csgarcia@rhaengenharia.com.br

disponibilidade outorgável. Como alternativas de intervenção, propõem-se medidas estruturais e não estruturais, destacando a substituição de outorgas superficiais por fontes subterrâneas, a construção de reservatórios de regularização e práticas extensivas para aumentar a infiltração e recarga dos aquíferos. A efetividade dessas soluções depende do reforço no monitoramento e na gestão integrada, considerando as especificidades de cada unidade de estudo.

Palavras-Chave – Gestão de Bacia, Balanço Hídrico, Propostas de Intervenção.

INTRODUÇÃO

A gestão sustentável dos recursos hídricos exige diagnósticos consistentes que articulem a disponibilidade natural de água com as demandas consuntivas decorrentes das diversas atividades humanas. Esse diagnóstico é consolidado por meio do balanço hídrico, entendido como a comparação entre a vazão efetivamente disponível em um sistema e o volume requerido para atender seus múltiplos usos (Zhou et al., 2025).

Quando essa relação evidencia déficits, torna-se imprescindível a implementação de medidas que restabeleçam o equilíbrio entre oferta e demanda, assegurando tanto a manutenção dos usos prioritários quanto a preservação ambiental do sistema hídrico. Da mesma forma, em situações em que estudos apontam riscos de inundações, a adoção de intervenções adequadas é essencial para reduzir vulnerabilidades e impactos socioeconômicos (Canholi, 2014).

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo avaliar o balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, e propor alternativas de intervenção capazes de mitigar os déficits identificados, contribuindo para uma gestão mais resiliente e integrada dos recursos hídricos da região.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Área de estudo

Segundo a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul (SEMA, 2024), a Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos está situada no nordeste do estado, abrangendo aproximadamente 3.694 km², o que corresponde a cerca de 1,3% do território gaúcho. Inserida na Região Hidrográfica do Guaíba, integra-se a outras bacias de relevância regional, como as dos rios Gravataí, Caí, Taquari-Antas e Jacuí.

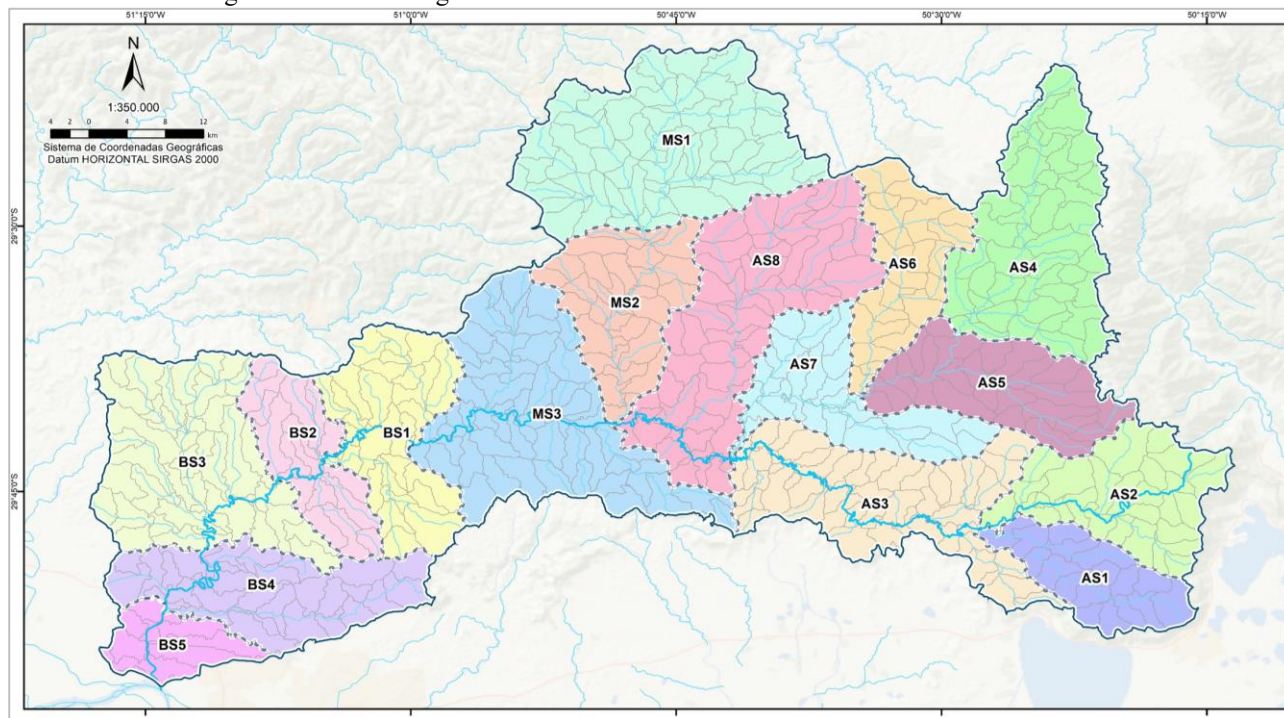
O Rio dos Sinos nasce no município de Caraá, a aproximadamente 600 metros de altitude, e percorre três trechos com características geomorfológicas distintas: o Alto Sinos, marcado por forte declividade e escoamento rápido; o Médio Sinos, com declividade intermediária; e o Baixo Sinos, de relevo mais plano e escoamento lento. Seus principais afluentes são os rios Rolante, Paranhana e da Ilha, desaguando no Delta do Jacuí, área de relevância estratégica para o abastecimento e a geração de energia no estado.

A bacia abrange, total ou parcialmente, 30 municípios, representando cerca de 21% do Produto Interno Bruto estadual e abrigando aproximadamente 1,45 milhão de habitantes, o que equivale a cerca de 12% da população do Rio Grande do Sul. Trata-se de uma das regiões mais densamente urbanizadas e industrializadas do estado, o que impõe elevada pressão sobre seus recursos hídricos e reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de planejamento integrado.

A gestão da bacia é conduzida de forma articulada pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (COMITESINOS), pela SEMA-RS e pela Agência Nacional de Águas

e Saneamento Básico (ANA). A Figura 1 apresenta a subdivisão da bacia em Unidades de Estudo (UEs), distinguindo as regiões do Alto, Médio e Baixo Sinos (AS, MS e BS).

Figura 1: Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos subdividida em Unidades de Estudo.



Disponibilidade e demanda hídrica

A disponibilidade hídrica corresponde ao volume de água efetivamente presente em um sistema hidrológico e passível de uso, considerando tanto as condições naturais quanto as restrições legais. Na gestão de recursos hídricos, esse conceito é frequentemente associado a indicadores de permanência de vazão, como a Q90 ou Q95, que representam a quantidade de água garantida na maior parte do tempo e servem como referência para concessão de outorgas (ANA, 2021).

A determinação da disponibilidade pode ser feita a partir de séries históricas de vazão ou por meio de modelos hidrológicos capazes de simular o comportamento do sistema sob diferentes cenários de clima e uso do solo (Collischonn et al., 2020). Em bacias sujeitas a variações climáticas intensas, como as da região semiárida, essas análises são essenciais para prever períodos de escassez e definir limites de captação.

Já a demanda hídrica refere-se ao volume de água requerido pelos diversos usos consuntivos e não consuntivos, abrangendo abastecimento público, irrigação, usos industriais, dessedentação animal e outros setores produtivos. Trata-se de um indicador-chave para avaliar a pressão das atividades humanas sobre os corpos hídricos, sendo fundamental para o cálculo de balanços hídricos e para o planejamento de gestão (ANA, 2021).

As demandas podem ser classificadas como consuntivas, quando parte significativa da água captada não retorna ao corpo hídrico, ou não consuntivas, quando o retorno ocorre em quantidade e qualidade próximas às originais. A caracterização adequada dessas demandas depende do levantamento integrado de dados de outorga, uso real e projeções futuras, considerando variáveis socioeconômicas, ambientais e climáticas.

Intervenções

Segundo Canholi (2014), as ações e projetos que apresentam como finalidade a correção e prevenção de problemas hídricos, tanto no sentido qualitativo quanto no sentido quantitativo são classificadas, de acordo com sua natureza, em medidas estruturais e medidas não estruturais.

As medidas estruturais consistem em intervenções de engenharia projetadas para minimizar, combater ou prevenir os efeitos de fenômenos climáticos sobre o ambiente e, consequentemente, suas repercussões socioeconômicas. Essas ações contribuem para a melhoria do balanço hídrico diante de situações extremas, tanto em eventos de cheia quanto de escassez, sendo classificadas em dois subgrupos: intensivas e extensivas.

Para Tucci (1997), as medidas estruturais intensivas são aquelas que agem diretamente nos cursos d'água, através da construção de estruturas como diques, muros de contenção, reservatórios de acumulação e retardamento, canais de desvios e obras de engenharia modificadoras da morfologia do curso d'água.

Já para as medidas extensivas, são as medidas que agem na bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão, fazendo com que através de medidas físicas diretas na bacia possa reduzir o coeficiente de escoamento e diminuir os efeitos da erosão e como consequência a diminuição dos riscos de enchente.

Quanto as medidas não estruturais, são aquelas em que se procura reduzir as consequências dos eventos extremos, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta e a conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem.

METODOLOGIA

Disponibilidade hídrica

Conforme descrito no referencial teórico, a disponibilidade representa a quantidade de água efetivamente disponível para uso. Para o presente estudo, a estimativa foi baseada na vazão Q90, definida como aquela igualada ou superada em 90% do tempo de observação, conforme estabelecido pela Resolução CRH nº 141/2014 e pela Deliberação CBH-SINOS nº 046/2014, que determina a utilização de 70% da Q90 como vazão máxima outorgável.

A estimativa das vazões de referência foi realizada por meio de modelagem hidrológica chuva-vazão com o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), uma ferramenta conceitual e distribuída já aplicada em diversas bacias hidrográficas no Brasil. Segundo Collischonn (2020), o modelo considera uma divisão da bacia em unidades menores, denominadas minibacias, que são delimitadas de acordo com a topografia e são constituídos por um único trecho de rio.

Para a obtenção destas minibacias, foi adotada uma abordagem de pré-processamento, utilizando o plugin BHO2MGB, que aproveita os dados da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), fornecida pela ANA, nessa base, cada trecho de curso d'água está associado a uma área de drenagem, chamada Ottobacia. Estas minibacias são ainda subdivididas em Unidades de Resposta Hidrológica (URHs), a partir da categorização de mapas com diferentes características topológicas da bacia.

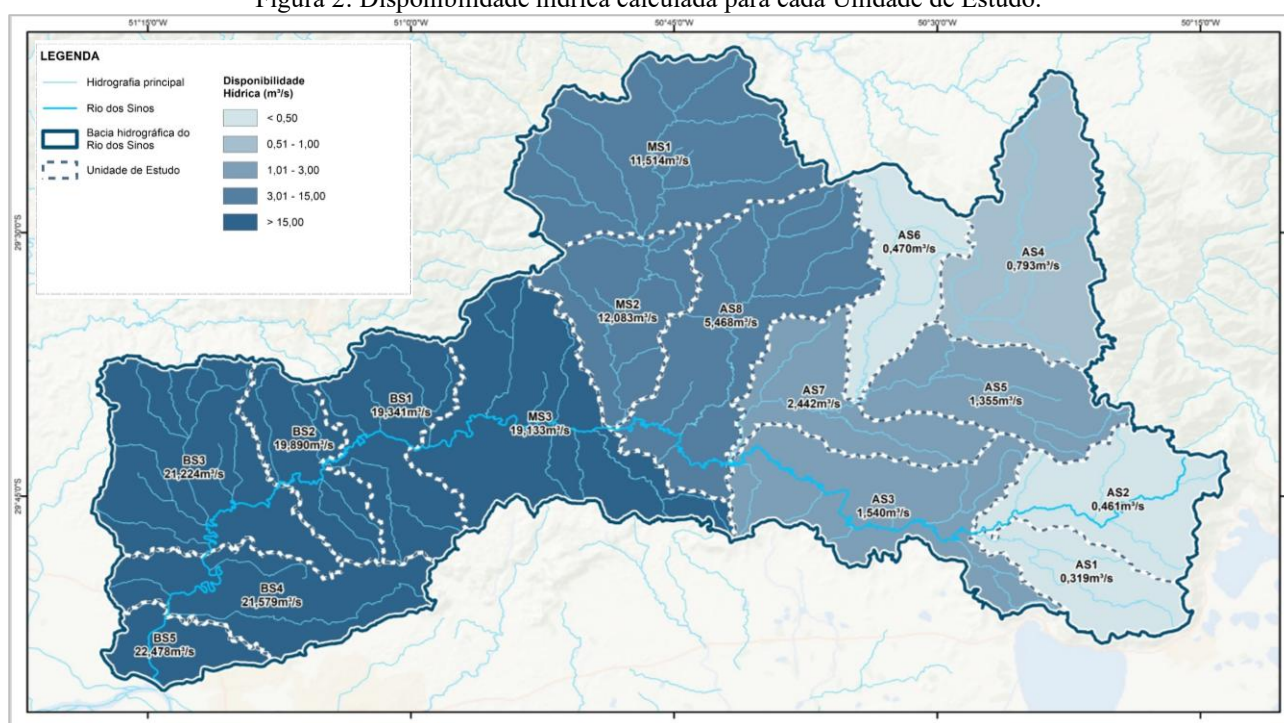
Os dados para a calibração do modelo foram obtidos a partir da pesquisa em bancos de dados públicos, entre eles: ANA (2023), para dados de precipitação, de vazão e modelo de elevação digital; INMET (2024), para dados climatológicos e de precipitação; Mapbiomas (2023), para o uso e ocupação do solo; e IBGE (2006), para o tipo de solo. A calibração levou em conta os dados de vazão

de três estações entre janeiro de 2015 e julho de 2024, enquanto a validação do modelo foi realizada no período de 2000 a 2014.

Para avaliar a eficiência da calibração, as análises dos hidrogramas foram realizadas utilizando métricas estatísticas. Essas métricas de desempenho consistiram em algumas funções objetivo, entre elas estão: o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE); o coeficiente logarítmico de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSELog); o Percent Bias (PBIAS); o coeficiente de determinação ou R^2 ; e o erro da Q90 e Q95.

A partir das séries simuladas, foram calculadas as vazões Q90, tendo sua distribuição espacial para cada Unidade de Estudo (UE) apresentada na Figura 2. Destaca-se que essa disponibilidade hídrica, corresponde aos valores acumulados de montante para jusante.

Figura 2: Disponibilidade hídrica calculada para cada Unidade de Estudo.



De modo geral, as unidades localizadas no Baixo Sinos apresentaram maiores disponibilidades, devido ao acúmulo das áreas de drenagem da UEs a montante. Em contraste, as unidades mais afastadas da foz da bacia, como o AS1, AS2 e AS6, apresentaram disponibilidades hídricas mais restritas, o que as torna prioritárias para ações de gestão e regularização de vazões.

Demanda hídrica

Neste estudo, as demandas consuntivas, como já descritas anteriormente, foram estimadas a partir do Cadastro de Outorgas da SEMA-RS (2024). Concentrando-se a análise nos usos consuntivos, não abordando usos não consuntivos como a navegação ou a geração hidrelétrica a fio d'água.

O Cadastro de Outorgas reúne informações sobre captações superficiais e subterrâneas registradas oficialmente junto aos órgãos gestores. No Rio Grande do Sul, as outorgas são regulamentadas pela Lei Estadual nº 10.350/1994 e visam assegurar o controle do uso e a preservação dos recursos hídricos.

Para a Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, foram disponibilizados 4.762 processos, dos quais, após consistência e filtragem, restaram 751 captações superficiais e 1.995 subterrâneas. Esses processos foram classificados conforme a situação administrativa, entre eles: as outorgas de direito concedidas; os usos insignificantes; e processos em análise.

A consolidação e padronização dos dados consideraram também a redefinição das finalidades de uso, agrupadas em: abastecimento público, consumo humano, irrigação, criação animal, indústria, mineração, aquicultura e outros usos.

Observou-se que, embora os processos subterrâneos representem 73% do total cadastrado, as captações superficiais concentram 85% da vazão outorgada, evidenciando a maior expressividade hídrica dos corpos d'água superficiais para a região.

A distribuição das demandas revelou que a irrigação e o abastecimento público são as principais finalidades de retirada na bacia. A irrigação, fortemente associada ao cultivo de arroz, concentra 41% da vazão superficial outorgada, com destaque para a UE AS6, responsável por 23% da demanda total de irrigação. Já o abastecimento público representa cerca de 25% das demandas, com maior concentração no Baixo Sinos, principalmente na UE BS5, que inclui cidades densamente povoadas como Novo Hamburgo e São Leopoldo.

As demandas para indústria, predominantes no Baixo Sinos e para o consumo humano, predominante no Alto Sinos, também apresentam valores significativos em termos de demanda, enquanto a criação animal e a aquicultura apresentaram valores residuais. A mineração, associada principalmente à dragagem do Rio dos Sinos pós-enchentes de 2024, concentrou-se no Médio Sinos e Baixo Sinos.

Além das demandas diretamente cadastradas, foi incorporada a evaporação líquida de reservatórios, embora sua contribuição para o consumo total tenha sido marginal em função da pequena área superficial das barragens locais.

As captações subterrâneas, embora numericamente superiores, respondem por uma parcela menor da vazão total retirada. A finalidade de consumo humano é predominante (63%), seguida por outros usos (22%) e indústria (8%). O Baixo Sinos concentra cerca de 68% das captações subterrâneas, destacando-se a UE BS4, onde se observa forte dependência de poços para abastecimento doméstico e comercial.

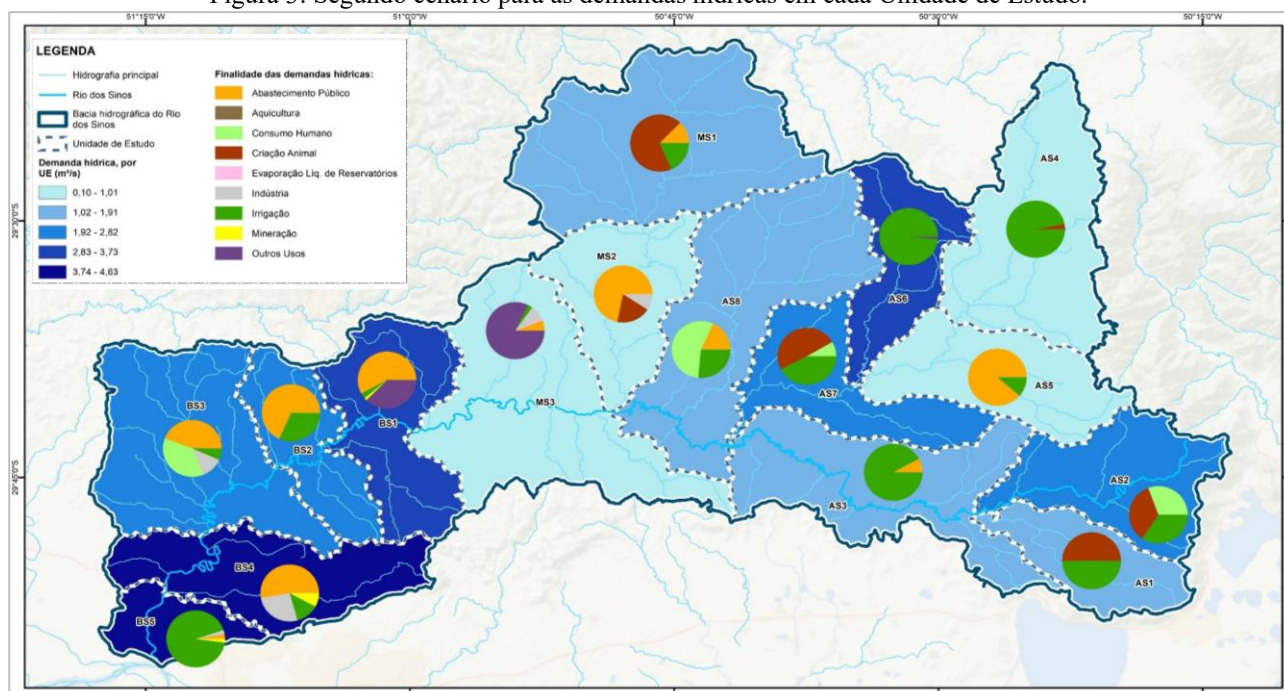
Comparativamente ao levantamento anterior do Plano Sinos (2014), verificou-se um crescimento de 93% nas vazões captadas de águas subterrâneas, refletindo a intensificação da pressão sobre o aquífero local em cerca de 10 anos.

Levando em consideração o crescimento das demandas de utilização dos recursos hídricos na bacia, levou-se em conta dois cenários para a demanda hídrica atual da bacia: o primeiro considerando apenas as outorgas deferidas e usos insignificantes; e o segundo, que além de considerar as vazões do primeiro cenário, também inclui os processos em análise.

Durante a consolidação dos dados de outorgas, quando comparados com outros bancos de dados públicos, tal qual o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), notou-se que uma parcela significativa dos processos em análise na bacia já fazia uso das vazões referentes aos seus pedidos. Sendo assim, adotou-se o segundo cenário para garantir, de forma conservadora, que a demanda hídrica levantada reflita a pressão hídrica atualmente vigente na bacia.

A Figura 3 representa a configuração de demandas para o segundo cenário. As legendas de cores variam de tons pastéis até o azul profundo com a intensidade da demanda na UE, além disso, os gráficos em formato de pizza ilustram os usos consultivos de maior destaque para cada unidade.

Figura 3: Segundo cenário para as demandas hídricas em cada Unidade de Estudo.



De maneira geral, os resultados mostram a forte concentração de demandas no Baixo Sinos, devido à maior densidade populacional e concentração de indústrias, seguido pelo Alto Sinos onde predominam usos referentes a atividade agropecuária.

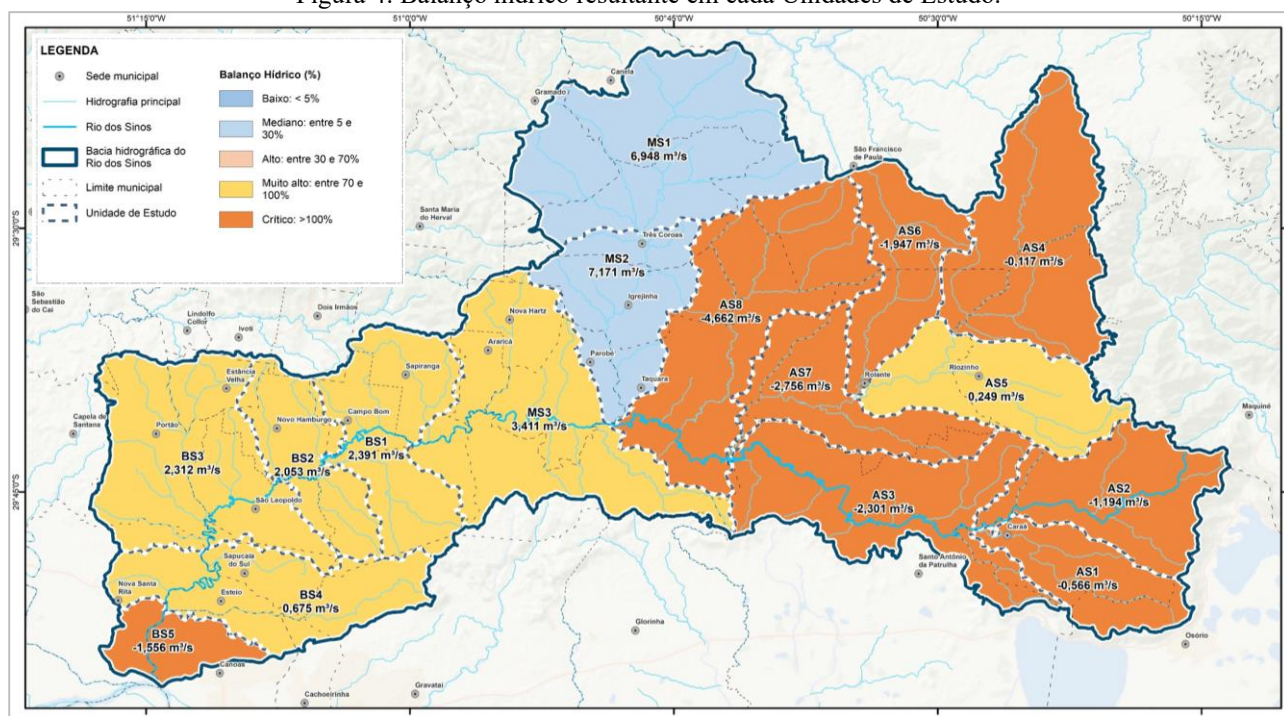
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dando ênfase ao segundo cenário, em razão de sua maior criticidade e das justificativas já apresentadas anteriormente, foi elaborada uma tabela que reúne tanto os valores de disponibilidade hídrica quanto os de demanda para a bacia, resultando nos saldos de balanço hídrico (Tabela 1). Complementarmente, foi elaborada uma figura (Figura 4) para ilustrar visualmente o balanço em cada Unidade de Estudo, utilizando uma legenda de coloração intuitiva.

Tabela 1: Valores de disponibilidade e demanda hídrica combinados no balanço hídrico da bacia

Unidades de Estudo	Disponibilidade		Demandas		Balanço Hídrico	
	Q90	70% Q ₉₀	Retirada	Retorno	Cenário 2	Comprometimento
AS1	0,319	0,223	1,012	0,223	-0,566	226,75%
AS2	0,461	0,323	2,502	0,985	-1,194	191,32%
AS3	1,540	1,078	5,026	1,653	-2,301	184,24%
AS4	0,793	0,555	0,895	0,223	-0,117	115,08%
AS5	1,355	0,949	0,997	0,298	0,249	80,01%
AS6	0,470	0,329	3,069	0,792	-1,947	273,62%
AS7	2,442	1,709	6,124	1,661	-2,756	181,78%
AS8	5,468	3,827	12,993	4,520	-4,662	155,85%
MS1	11,514	8,060	1,626	0,515	6,948	18,98%
MS2	12,083	8,458	2,183	0,897	7,171	23,35%
MS3	19,133	13,393	15,600	5,643	3,411	82,08%
BS1	19,341	13,539	19,070	7,949	2,391	88,87%
BS2	19,890	13,923	20,998	9,156	2,053	91,11%
BS3	21,224	14,857	23,724	11,210	2,312	91,13%
BS4	21,579	15,105	28,888	14,490	0,675	97,72%
BS5	22,478	15,734	32,888	15,630	-1,556	104,96%

Figura 4: Balanço hídrico resultante em cada Unidades de Estudo.



Considerando a situação vigente na bacia, em conjunto com os conceitos de intervenções estruturais e não estruturais, foi possível conjecturar sobre as medidas de maior efetividade e viabilidade para implementação na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, ponderando os fatores e as informações levantadas.

Diante da escassez de vazões superficiais suficientes, especialmente no Alto Sinos, onde não há espaço disponível para reservatórios que supram integralmente a demanda, buscou-se identificar as regiões com maior potencial para exploração sustentável de águas subterrâneas. Para essa análise, foi utilizado o parâmetro de vazão estabilizada dos poços, disponibilizado pelo banco de dados do SIAGAS (2025), que representa o potencial máximo de retirada de água em condições operacionais reais e permite estimar as Unidades de Estudo com maior capacidade de exploração subterrânea.

Adicionalmente, foi determinado que a região mais representativa na captação de águas de aquíferos é o Baixo Sinos. Entretanto, a maior potencialidade de vazão de poços foi identificada no Alto Sinos. Segundo o Plano Sinos (2014), a recarga dos aquíferos na área correspondente à bacia é estimada em aproximadamente 17,00 m³/s. Adotando uma margem ecológica de uso máximo de 50%, a vazão subterrânea utilizável seria de até 8,50 m³/s.

Dessa disponibilidade total, estima-se que atualmente estejam sendo utilizados cerca de 2,97 m³/s, dos quais o Baixo Sinos concentra cerca de 70% de toda a vazão demandada. Essa distribuição evidencia contradições no uso das vazões com origem nos aquíferos, especialmente considerando a desigualdade entre o potencial e a demanda real.

Com os restantes 5,53 m³/s de vazão subterrânea potencialmente disponíveis, recomenda-se que essa disponibilidade seja aproveitada prioritariamente ao longo do Alto Sinos. Em particular, propõe-se a substituição de outorgas de maior porte e que possuem processo em análise, de captação superficial por fontes subterrâneas, visando reduzir as pressões sobre os cursos d'água locais.

Uma vez reduzidas as demandas sobre as vazões superficiais e considerando o acréscimo da vazão de retorno proveniente do uso de águas subterrâneas, propõe-se a implementação de

reservatórios de regularização de vazões. As regiões do Baixo e Médio Sinos não apresentam topografia favorável para a construção de reservatórios, devido à ausência de vales encaixados e à predominância de áreas urbanizadas que dificultam a implantação dessas estruturas. Em contrapartida, o Alto Sinos possui um perfil topográfico que facilita a alocação de reservatórios, com maior potencial de armazenamento e menor conflito com áreas urbanizadas.

Com base nas análises de viabilidade realizadas, foram definidos dois reservatórios que apresentam boa efetividade e impactos ambientais e socioeconômicos aceitáveis. O primeiro, localizado na Unidade de Estudo AS4, terá um volume de aproximadamente 7,34 hm³ e uma área de espelho d'água estimada em 0,62 km², sendo capaz de regularizar uma vazão de 0,97 m³/s para um período crítico de escassez de três meses.

Na Unidade de Estudo AS6, está previsto o segundo reservatório, de dimensões relativamente inferiores, com um volume de 2,50 hm³ e área de espelho d'água de 0,20 km². Essa estrutura deverá ter capacidade para regularizar uma vazão de cerca de 0,32 m³/s no mesmo período crítico. As áreas de contribuição para os reservatórios propostos são de 186,81 km² e 112,15 km², respectivamente.

Além do aumento da vazão disponível para as unidades diretamente atendidas, a primeira estrutura também beneficiará a Unidade de Estudo AS5, localizada imediatamente a jusante. Na transição para a AS7, haverá a confluência de vazões provenientes da primeira estrutura com as vazões regularizáveis pela segunda, aumentando assim a disponibilidade hídrica para a AS8 e para as demais unidades situadas a jusante.

Inicialmente propostas as medidas estruturais intensivas, recomenda-se, em paralelo, a adoção de algumas medidas extensivas, de forma a viabilizar a implementação das primeiras e garantir sua efetividade a longo prazo. O foco dessas intervenções complementares está no aumento da recarga dos aquíferos, considerando que a ampliação das captações subterrâneas exercerá uma pressão maior sobre os mananciais do que a suportada anteriormente. Ressaltando-se a importância de diferenciar as intervenções propostas para áreas urbanas e rurais, dado o contexto e as características intrínsecas de cada ambiente.

Para as áreas urbanas, destacam-se alternativas como a substituição gradual de calçadas convencionais por calçadas permeáveis, a implantação de trincheiras de infiltração e a construção de bacias de percolação. Já para as áreas rurais, as alternativas recomendadas incluem a adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e a construção de açudes de pequeno porte.

Por fim, para garantir a correta implementação das medidas estruturais propostas, é imprescindível a instituição de algumas medidas não estruturais fundamentais. A primeira delas consiste no reforço dos programas de monitoramento quali-quantitativo, contemplando o cadastramento de novos poços destinados à retirada de vazões subterrâneas e a atualização de informações atualmente desatualizadas.

Esse esforço deve ser complementado por campanhas de cadastro de outorgas de uso, assegurando que a maior parte das captações e intervenções estejam devidamente documentadas e em conformidade com os parâmetros exigidos.

Outra medida para o cumprimento do plano de intervenção é a adoção de métodos adequados de acompanhamento das metas estabelecidas. Esses métodos devem viabilizar o monitoramento contínuo e sistemático do andamento das obras de engenharia, tanto das intervenções estruturais intensivas quanto das medidas extensivas de maior porte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos evidencia um cenário de comprometimento hídrico, sobretudo em regiões como o Alto Sinos, onde a demanda supera significativamente a disponibilidade outorgável. No entanto esse cenário não se limita a uma única região da bacia, sendo possível verificar indicativos de comprometimento hídrico elevado em grande parte das Unidades de Estudo caracterizadas.

A partir disso discorreu-se sobre as medidas estruturais e não estruturais passíveis de implementação para o combate ao cenário de escassez hídrica observado, cabendo o aprofundamento em cada uma das proposições em um estudo futuro, focado no impacto dos programas e obras de engenharia concebidos no presente artigo.

REFERÊNCIAS

- ANA (2021). *“Atlas Águas: Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano”*. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).
- ANA (2024). *“Portal Hidroweb: Séries Históricas de Estações”*. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).
- CANHOLI, A. P. (2014). *“Drenagem urbana e controle de enchentes”*. 2. ed. ampliada e atualizada. São Paulo: Oficina de Textos.
- COLLISCHONN, W. *et al.* (2007). *“Simulação hidrológica de grandes bacias”*. Porto Alegre, RS: Revista Brasileira de Recursos Hídricos.
- IBGE (2006). *“Solos – 1:5 000 000”*. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
- INMET (2024). *“Banco de Dados Meteorológicos, BDMEP”*. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).
- MapBiomias (2023). *“Coleção 9 da série anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil”*. Brasília, DF: MapBiomias.
- Marcuzzo, F. F. M. *et al.* (2021). *“estimativa da produção de sedimentos utilizando a curva-chave de sedimentos”*. Porto Alegre, RS: Ciência e Natura.
- Plano Sinos (2014). *“Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos”*. Rio Grande do Sul: Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (Pró-Sinos).
- SEMA (2024). *“Base de dados do cadastro de outorga dos direitos de uso de recursos hídricos”*. Porto Alegre, RS: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA-RS).
- SIAGAS (2025). *“Base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)”*. Brasília, DF: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).
- TUCCI, C. E. M. (1997). *“Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção”*. Porto Alegre, RS: Revista Brasileira de Recursos Hídricos.
- Zhou, P. *et al.* (2025). *“Sustainable Water Resource Management: Challenges and Opportunities”*. *Environments* 2025, 12, 268.