TRANSPARÊNCIA E INTELIGÊNCIA TERRITORIAL NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: SISTEMA WEB PARA MONITORAMENTO DE OUTORGAS NO TOCANTINS

Thálison Dourado de Oliveira [1]; Alexandre Chibebe Nicolella [2]; Josiley Dantas Batista[3]; Rogério Noleto Passos[4] & Mateus Chagas dos Santos[5]

RESUMO – Este trabalho apresenta um Painel Gerencial de Outorgas, sistema web interativo de código aberto que integra dados públicos de 2009 a 2026 dos 139 municípios do Tocantins. A plataforma reúne mapeamento geoespacial, indicadores automáticos, filtros cruzados e exportação de dados em módulos de outorgas superficiais e subterrâneas. A metodologia combinou análise documental, aquisição de dados via API, definição de requisitos orientada por cenários de uso e validação funcional preliminar. Foram consolidados 20.956 registros, identificadas 3.632 outorgas superficiais com prazo expirado e constatado que apenas 87 dos 4.744 registros subterrâneos, correspondentes a 1,8%, possuem dados de qualidade da água. A integração de mapas, filtros, indicadores e classificação de vigência em um único ambiente evidencia potencial para apoiar fiscalização, planejamento e transparência, embora seus impactos institucionais ainda dependam de validação empírica com equipes técnicas.

ABSTRACT– This study presents a Water Permit Management Dashboard, an open-source interactive web system that integrates public data from 2009 to 2026 for all 139 municipalities in Tocantins, Brazil. The platform combines geospatial mapping, automated indicators, cross-filtering, and data export in separate surface water and groundwater modules. The methodology included documentary analysis, API-based data acquisition, requirements definition based on use scenarios, and preliminary functional validation. A total of 20,956 records were consolidated, including 3,632 surface water permits with expired validity periods. Only 87 of the 4,744 groundwater records, corresponding to 1.8%, contained water quality data. By integrating maps, filters, indicators, and permit validity classification into a single environment, the system shows potential to support inspection, planning, and transparency, although its institutional impacts still require empirical validation with technical teams.

Palavras-Chave – Gestão de Recursos Hídricos; Outorgas de Uso dos Recursos Hídricos; Sistemas de Suporte à Decisão.

[1]) Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Palmas-TO, (63) 9132-8122, thalison.dourado@usp.br
[2]) Universidade de São Paulo - USP, São Paulo-SP, (16) 9796-3213, nicolella@usp.br
[3]) Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, Palmas-TO, (63) 8121-5488, josileydantas@gmail.com
[4]) Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, Palmas-TO, (63) 8401-6336, rognoleto@gmail.com
[5]) Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental - PPGEA, (63) 9111-8913, mateus.semarh@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O Brasil concentra cerca de 12% das reservas de água doce superficial do planeta e ocupa posição singular no contexto hídrico global. Paradoxalmente, a capacidade institucional de monitorar e fiscalizar o uso efetivo desse recurso permanece, em muitos estados, aquém das exigências impostas pelo crescimento da demanda agrícola, industrial e urbana (ANA, 2024; UNESCO, 2024). Nesse contexto, a outorga de direito de uso de recursos hídricos, instrumento central da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) instituída pela Lei n.º 9.433/1997 (BRASIL, 1997), é o mecanismo pelo qual o Estado autoriza e controla captações de água e lançamentos de efluentes. Cabe destacar que sua eficácia depende, entre outros fatores, da capacidade do órgão gestor de transformar registros administrativos em informação gerencial acionável.

O Estado do Tocantins exemplifica essa tensão com precisão. Com cerca de 278 mil km² de território, 139 municípios e posição estratégica sobre a bacia Tocantins-Araguaia, o estado convive com pressão hídrica crescente associada à expansão agrícola, à urbanização e à diversificação dos usos da água (TOCANTINS, 2022). Desde 2009, o estado acumula expressivo acervo de dados de outorgas emitidas pelo Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), disponibilizado em formato aberto pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Entretanto, esse acervo permanece analiticamente inacessível, gerenciado predominantemente em planilhas eletrônicas e com consultas fragmentadas, sem ferramentas de visualização espacial ou filtragem dinâmica, inviabilizando o uso estratégico da informação pela equipe técnica e pela sociedade civil (CARDOSO, 2025; GARCIA-CHEVESICH et al., 2025).

A literatura sobre sistemas de suporte à decisão em gestão hídrica é uniforme em um ponto: o simples acesso a dados brutos não gera capacidade de governança, mas é a transformação desses dados em visualizações interativas e indicadores acionáveis que pode produzir impacto real, ampliar a compreensão dos padrões territoriais e apoiar processos decisórios, desde que associada à qualidade das bases, à capacitação institucional e ao uso efetivo das informações (MUKHTAROV; DIEPERINK; DRIESSEN, 2018; COLLINS; TROWSDALE, 2024).

Nesse sentido, o presente trabalho responde à seguinte pergunta de pesquisa: como um sistema web interativo pode converter o acervo histórico de outorgas do Tocantins em instrumento efetivo de transparência, monitoramento e fiscalização hídrica?

O trabalho se insere no eixo temático “Qualidade da Água, Monitoramento e Inovação Tecnológica”, no sub-tema “Inteligência territorial, IA e modelagem preditiva” do XVIII SRHNE.

Sua contribuição é dupla: empírica, ao descrever uma solução tecnológica aplicada ao contexto tocantinense; e analítica, ao discutir suas funcionalidades, limitações e condições necessárias para futura institucionalização.

2 METODOLOGIA

2.1 Abordagem e Estratégia de Pesquisa

A pesquisa adota abordagem qualitativa-exploratória com elementos propositivos, combinando análise documental e desenvolvimento tecnológico fundamentado em design thinking e engenharia de software (BROWN, 2010; GIL, 2026). A opção pela abordagem exploratória justifica-se pela necessidade de investigar um problema multifacetado (técnico, institucional e político) para o qual não existem soluções consolidadas no contexto tocantinense.

O processo metodológico foi estruturado em cinco fases. A Fase 1 (Diagnóstico Documental e Institucional) compreendeu a análise da legislação hídrica federal e estadual, de relatórios da ANA, dos documentos do PROGESTÃO e de publicações do NATURATINS e da SEMARH, visando identificar lacunas e requisitos funcionais. A revisão de literatura foi conduzida nas bases Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar, com busca dos descritores *water governance, water permit management, decision support systems, GIS water resources e open data water management.*

Na Fase 2 (Aquisição e Processamento de Dados), os dados de outorgas superficiais e subterrâneas do Tocantins foram obtidos por meio de APIs disponibilizadas no Portal de Dados Abertos da ANA, cobrindo o período 2009-2026 (ANA, 2026a; ANA, 2026b). A Fase 3 (Definição de Requisitos) organizou funcionalidades a partir das rotinas de consulta e fiscalização identificadas nos documentos institucionais e em cenários de uso. A Fase 4 (Proposição Tecnológica) definiu a arquitetura do sistema a partir de bibliotecas abertas. A Fase 5 (Validação Funcional Preliminar) executou cinco cenários: localizar um registro; aplicar filtros territoriais e por finalidade; verificar vigência; consultar atributos subterrâneos; e exportar resultados. Compararam-se a disponibilidade de recursos e as etapas operacionais do painel com o fluxo baseado em planilhas. Não foram coletados tempos de execução nem avaliações formais de usabilidade, limitação considerada na interpretação dos resultados.

2.2 Base de Dados e Variáveis-Chave

Em março de 2026, a base da ANA registrava, para o Tocantins, 16.212 outorgas superficiais emitidas, das quais 12.580 classificadas como vigentes, e 4.744 registros subterrâneos,

totalizando 20.956 registros. Para as outorgas superficiais, foram utilizadas variáveis de período de vigência, município, coordenadas, corpo hídrico, situação, tipo de captação, intervenção, finalidade e uso. Para as subterrâneas, consideraram-se profundidade, vazão média, tipo de aquífero, parâmetros de qualidade da água e características construtivas do poço. A integração das duas bases em uma única plataforma constitui o principal diferencial técnico da solução.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Arquitetura em Camadas do Painel Gerencial de Outorgas

O Painel Gerencial de Outorgas é um sistema web interativo de código aberto, projetado para operar sem instalação local e ser acessado por dispositivos conectados à internet. Sua arquitetura é organizada em quatro camadas funcionais integradas: (i) Ingestão de Dados, responsável pelo tratamento, normalização e separação dos conjuntos provenientes da API da ANA; (ii) Processamento Analítico, que realiza agregações estatísticas, classificação de vigência e organização por município, finalidade e tipo de uso; (iii) Visualização Geoespacial, que integra mapa georreferenciado e clusterização dinâmica por meio da biblioteca Leaflet/MarkerCluster; e (iv) Interface e Interação, composta por filtros cruzados, gráficos responsivos em Chart.js, tabela pesquisável e exportadores nos formatos CSV, XLSX e PDF.

A adoção de bibliotecas abertas, como Leaflet, Chart.js, jsPDF e SheetJS, reduz os custos de licenciamento, favorece a manutenção pelas equipes estaduais e amplia as possibilidades de adaptação do código. Conforme Arnell, Miltell e Olsson (2023), interoperabilidade, documentação e capacidade de atualização são condições relevantes para a longevidade das plataformas digitais aplicadas à gestão da água.

3.2 Módulo de Outorgas Superficiais

O módulo de outorgas superficiais é estruturado em torno de um mapa interativo que exibe os pontos com geolocalização disponível por meio de clusterização dinâmica. A Figura 1 apresenta a tela inicial do módulo, com todos os filtros desativados, composta por indicadores de vigência, gráfico por finalidade de uso, tabela de atributos e distribuição espacial dos registros. Essa visualização permite identificar áreas com maior concentração de outorgas nas regiões central e norte do estado, mas não deve ser interpretada, isoladamente, como medida de pressão hídrica, uma vez que, nesta etapa, o sistema não incorpora dados de disponibilidade hídrica, vazões efetivamente captadas ou balanço hídrico.

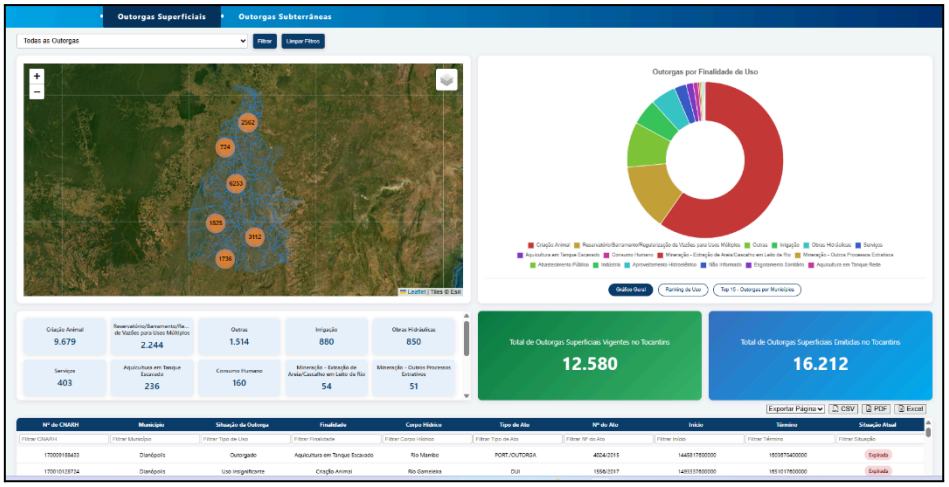


Figura 1 – Painel de Outorgas Superficiais: mapa interativo com clusters dinâmicos, gráfico por finalidade de uso e indicadores automáticos de vigência.

Os indicadores-chave diferenciam automaticamente o total de outorgas superficiais emitidas (16.212) do total classificado como vigente (12.580), resultando em 3.632 registros com prazo expirado. Esse resultado não comprova, por si só, uso irregular da água, mas permite localizar registros que demandam verificação administrativa, renovação ou fiscalização complementar. O gráfico por finalidade mostra a predominância de criação animal (9.679), seguida por reservatórios e barramento (2.244), irrigação (880) e obras hidráulicas (850), entre outras categorias. O ranking dos 15 municípios com maior número de registros complementa o panorama territorial.

Cada marcador do mapa é clicável e abre uma janela informativa com os principais atributos da outorga selecionada: número do CNARH, município, finalidade, situação, corpo hídrico, ato administrativo e período de vigência. A Figura 2 demonstra esse recurso de raio-X do ponto de captação para uma outorga em Miracema do Tocantins.

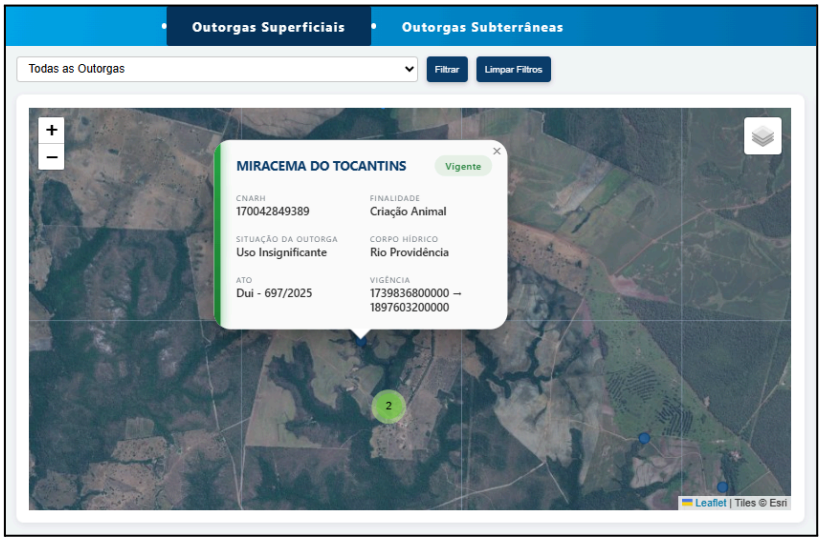


Figura 2 – Janela informativa de outorga em Miracema do Tocantins: acesso imediato a atributos completos do ponto de captação diretamente no mapa.

3.3 Módulo de Outorgas Subterrâneas

O módulo subterrâneo foi concebido para organizar informações de poços, cujos dados construtivos, hidráulicos e de qualidade da água frequentemente se encontram dispersos ou incompletos. A Figura 3 apresenta o estado inicial do módulo, com 4.744 registros carregados e indicadores específicos para profundidade, vazão e disponibilidade de dados qualitativos.

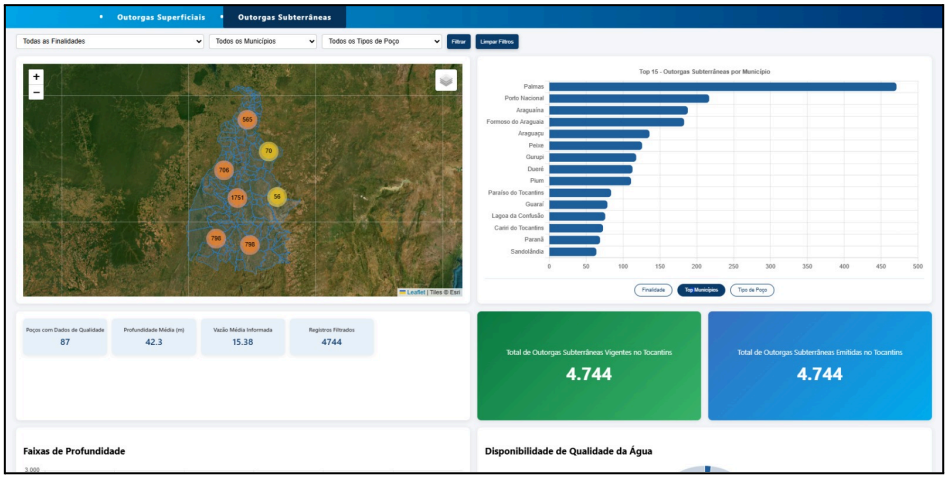


Figura 3 – Painel de Outorgas Subterrâneas: mapa de distribuição territorial, ranking de municípios e indicadores específicos de gestão de poços tubulares.

O módulo apresentado na Figura 3 calcula a profundidade média dos poços (42,3 m), a vazão média informada (15,38 m³/h), o número de registros filtrados e o percentual de poços com dados de qualidade da água. Apenas 87 dos 4.744 registros apresentam esse atributo preenchido (1,8%), evidenciando uma importante lacuna de monitoramento qualitativo. Ao tornar o déficit visível e filtrável, o painel disponibiliza informações que podem subsidiar a definição de prioridades de campo e ações de qualificação cadastral no CNARH.

3.4 Inteligência Territorial: Filtros Dinâmicos e Planejamento de Fiscalizações

A filtragem cruzada por município, finalidade de uso e tipo de poço constitui um dos principais recursos analíticos do sistema. Ao selecionar um município, indicadores, gráficos, mapa e tabela são recalculados, produzindo um recorte territorial da distribuição dos registros. A Figura 4 ilustra o recurso para Araguaçu-TO, onde 136 registros subterrâneos são isolados e os indicadores são atualizados automaticamente.

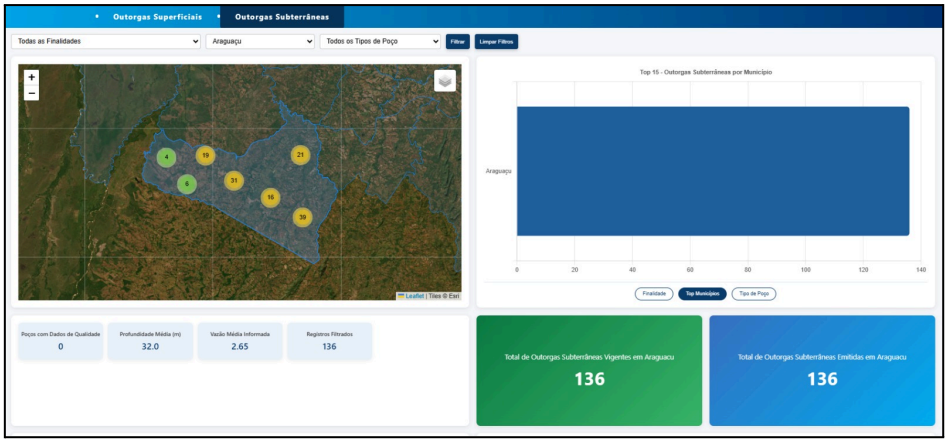


Figura 4 - Filtro municipal aplicado a Araguaçu-TO, com 136 registros subterrâneos do município.

Esse recurso altera a forma de acesso às informações ao oferecer suporte ao planejamento territorial orientado por dados. Em vez de depender exclusivamente de denúncias e consultas fragmentadas, a equipe técnica pode localizar municípios com maior concentração de registros expirados, áreas com elevada densidade de pontos e finalidades predominantes. Tais informações podem auxiliar a priorização de vistorias e, quando combinadas com critérios hidrológicos e logísticos, apresentam potencial para reduzir deslocamentos desnecessários.

3.5 Indicadores Específicos para Águas Subterrâneas

O módulo subterrâneo incorpora gráficos de profundidade dos poços e de disponibilidade de dados de qualidade da água, tal qual apresentado na Figura 5.

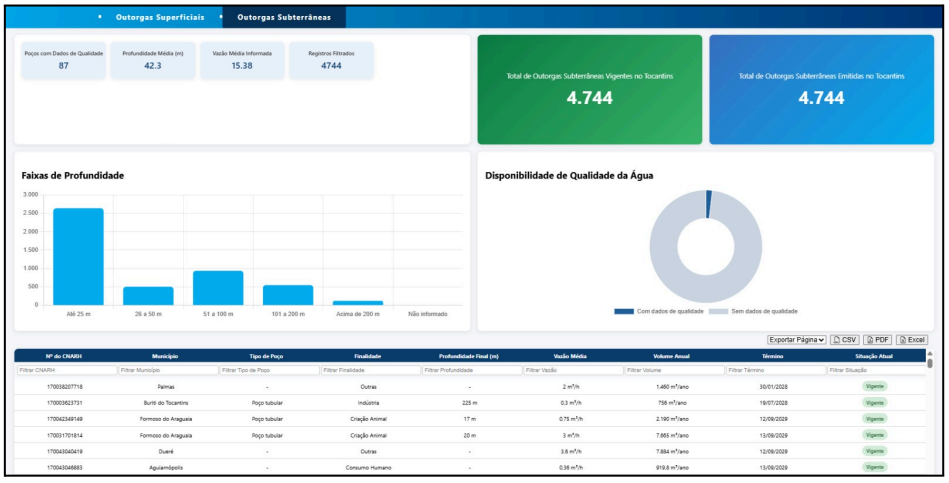


Figura 5 - Indicadores do módulo subterrâneo.

O gráfico de profundidade indica que a maior parcela dos poços cadastrados se concentra na faixa inferior a 25 m, com redução progressiva nas faixas mais profundas. Poços rasos podem apresentar maior sensibilidade à contaminação superficial e à sazonalidade, o que recomenda análises complementares de vulnerabilidade e qualidade. O segundo gráfico evidencia o principal

déficit da base: somente 1,8% dos registros contêm parâmetros de qualidade da água. Esse resultado pode subsidiar ações relacionadas à melhoria da consistência cadastral e às metas de conformidade do PROGESTÃO, sem substituir avaliações hidrogeológicas ou laboratoriais.

3.6 Validação Funcional Preliminar e Comparação dos Fluxos

A validação preliminar foi conduzida por meio de cinco cenários representativos de consulta. Em cada cenário, comparou-se o fluxo baseado em planilhas e fontes separadas com as funcionalidades disponibilizadas no painel, conforme apresentado no Quadro 1. A análise considerou a integração de recursos e o número de operações necessárias, mas não incluiu medição cronometrada nem questionário de experiência do usuário.

Quadro 1 – Comparação entre o fluxo anterior de consulta e as funcionalidades implementadas no Painel Gerencial de Outorgas.

Cenário	Fluxo anterior	Painel web
Localizar uma outorga	Busca em planilha e consulta paralela a mapa ou processo.	Filtro ou pesquisa, marcador no mapa e janela de atributos na mesma interface.
Verificar vigência	Comparação manual entre datas e situação administrativa.	Classificação automática e identificação de 3.632 registros superficiais expirados.
Produzir recorte territorial	Filtros, somas e mapas elaborados separadamente.	Mapa, indicadores, gráfico e tabela recalculados por município e finalidade.
Analisar poços	Atributos construtivos e qualitativos dispersos.	Profundidade, vazão e disponibilidade de dados de qualidade reunidas no módulo subterrâneo.
Reutilizar resultados	Cópia e formatação manual dos dados selecionados.	Exportação direta em CSV, XLSX e PDF.

Fonte - Elaborado pelos autores (2026).

Os cinco cenários puderam ser executados no sistema, que consolidou 20.956 registros em dois módulos e expôs lacunas antes pouco visíveis, como a presença de dados de qualidade em somente 1,8% dos registros subterrâneos. A comparação demonstra ganho de integração funcional e redução de etapas de consulta. Entretanto, não permite afirmar redução de tempo, aumento de produtividade ou impacto institucional, pois essas dimensões dependem de testes controlados e da avaliação de técnicos em contexto real de trabalho.

3.7 Desafios de Implementação e Condições para Impacto Institucional

A qualidade técnica da plataforma não garante, por si só, impacto institucional (COLLINS; TROWSDALE, 2024). O primeiro desafio é a atualização dos dados: o painel utiliza a base da ANA, atualizada periodicamente, mas não em tempo real. A integração direta com o sistema

estadual de outorgas dependerá de acordos de interoperabilidade. O segundo desafio é a qualidade cadastral; a baixa disponibilidade de parâmetros de qualidade da água limita parte das análises, ao mesmo tempo que evidencia prioridades de melhoria.

O terceiro desafio é a capacitação institucional: treinamento, definição de fluxos de trabalho e reconhecimento formal da ferramenta são necessários para sua incorporação às rotinas administrativas (PAHL-WOSTL et al., 2012). O quarto é a manutenção tecnológica, que requer documentação, atualização de bibliotecas e definição de responsabilidades. O quinto desafio consiste em validar o sistema com usuários potenciais, por meio de tarefas padronizadas, métricas de tempo e acurácia, questionários de usabilidade e entrevistas sobre sua utilidade para fiscalização, planejamento e transparência.

4 CONCLUSÃO

O Painel Gerencial de Outorgas demonstrou a viabilidade técnica de integrar dados administrativos dispersos em uma plataforma web desenvolvida com bibliotecas abertas e sem custos de licenciamento. O sistema consolidou 20.956 registros dos 139 municípios do Tocantins, permitiu identificar 3.632 outorgas superficiais com prazo expirado e evidenciou que apenas 1,8% dos registros subterrâneos apresentam dados de qualidade da água.

A validação funcional mostrou que cinco cenários de consulta podem ser executados em um único ambiente, reunindo mapa, filtros, indicadores, classificação de vigência, tabela e exportação de dados. Esses resultados demonstram integração funcional e redução da fragmentação das consultas, mas não comprovam, isoladamente, aumento de produtividade, melhoria da fiscalização ou ampliação da transparência, pois tais impactos dependem do uso continuado e da validação empírica com equipes técnicas.

O sistema apresenta potencial para apoiar a triagem administrativa, o planejamento territorial e a identificação de lacunas cadastrais, funcionando como instrumento complementar às bases e aos processos oficiais do NATURATINS e da SEMARH. Recomenda-se, em estudos futuros, realizar testes de usabilidade, integrar dados estaduais com atualização mais frequente, incorporar critérios de disponibilidade e balanço hídrico e avaliar a aplicação da solução em outras unidades federativas.

AGRADECIMENTOS - A Deus, pela vida, sabedoria e força concedidas ao longo desta jornada. Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), à Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (SEMARH) e à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), pelo apoio institucional e pela disponibilização dos dados que subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2024*. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). (2026a). *Outorgas estaduais superficiais*. Portal de Dados Abertos da ANA. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/. Acesso em: 20 mar. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). (2026b). *Outorgas estaduais subterrâneas*. Portal de Dados Abertos da ANA. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/. Acesso em: 20 mar. 2026.

ARNELL, M.; MILTELL, M.; OLSSON, G. (2023). "*Making waves: a vision for digital water utilities*". Water Research X, v. 19, p. 100170. https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100170.

BRASIL. *Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BROWN, T. (2010). *Design Thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias*. Rio de Janeiro: Elsevier.

CARDOSO, J. P. (2025). "D*isputas científicas e políticas na gestão das águas subterrâneas no Brasil*". Caderno CRH, Salvador, v. 38, p. 1-18. https://doi.org/10.9771/ccrh.v38i0.53696.

COLLINS, K.; TROWSDALE, S. (2024). "*Decision support tools for sustainable water management: lessons learned from two decades of using MULINO-DS*S". Cambridge Prisms: Water, v. 2, e3. https://doi.org/10.1017/wat.2024.1.

GARCIA-CHEVESICH, P. A. et al. (2025). "*Editorial: water governance across management scales*". Frontiers in Water, v. 7, p. 1623330. https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1623330.

GIL, A. C. (2026). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 8. ed. São Paulo: Atlas.

MUKHTAROV, F.; DIEPERINK, C.; DRIESSEN, P. (2018). "*The influence of information and communication technologies on public participation in urban water governance*". Environmental Science & Policy, v. 89, p. 430-438. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.08.015.

PAHL-WOSTL, C. et al. (2012). "*From applying panaceas to mastering complexity: toward adaptive water governance in river basins*". Environmental Science & Policy, v. 23, p. 24-34. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.014.

TOCANTINS. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH). (2022). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins - PERH-TO*. Palmas: SEMARH.

UNESCO. (2024). *World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace*. Paris: UNESCO. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388952>.