TRANSFORMAÇÃO DIGITAL SOB O OLHAR DA GESTÃO DA ÁGUA: ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO SOCIAL DA TECNOLOGIA

Iara Regina Grilo Papais
Gestora ambiental (USP), Licenciada em Matemática (Univesp), Mestra em Sustentabilidade (USP), Doutoranda em Gestão de Operações e Sustentabilidade (FGV), Pós-graduada em Engenharia Ambiental e Saneamento (Anhanguera), Encarregada de Gestão de Contratos (Sabesp).
Hyslan Silva Cruz
Licenciado em Matemática (Univesp), Mestrando em Sistemas Complexos (USP), Técnico de Saneamento (Sabesp).

Endereço: Rua Benjamin Constant, 1980 – Centro – Suzano – São Paulo – CEP 08674-010 – Brasil - +5511972089818 – e-mail: iara.grilo.papais@gmail.com

RESUMO

Este estudo tem como finalidade analisar a gestão da água sob a ótica da transformação digital e dos compromissos ESG. O objetivo é investigar como tecnologias digitais são legitimadas como soluções sustentáveis no setor de saneamento brasileiro. Fundamentada na Teoria da Construção Social da Tecnologia (SCOT), a pesquisa adota uma abordagem qualitativa exploratória através da análise documental de Relatórios de Sustentabilidade (2020-2024) de empresas de saneamento listadas na B3. Os resultados indicam que ferramentas como a *IoT*, Inteligência Artificial e Gêmeos Digitais são interpretadas como meios para eficiência operacional e legitimidade institucional. No entanto, revela-se uma visão predominantemente tecnocêntrica, com lacunas na integração de dimensões sociais, como equidade e diversidade. Conclui-se que o fechamento e a estabilização dessas tecnologias são parciais, evidenciando tensões entre o discurso organizacional e a prática efetiva de sustentabilidade. O estudo ressalta a necessidade de alinhar a inovação tecnológica aos aspectos humanos e contextuais para garantir uma gestão hídrica verdadeiramente resiliente.

PALAVRAS-CHAVE: *Gestão da água, Transformação Digital, Saneamento 4.0.*

INTRODUÇÃO

A gestão da água (*Water Management* - WM) é um desafio global de sustentabilidade e um componente essencial dos compromissos ESG (Ambiental, Social e de Governança). O conceito engloba estratégias sistêmicas de monitoramento, controle da poluição e regulação para garantir acesso seguro e contínuo ao recurso, protegendo a saúde pública e os ecossistemas (Chauhan et al., 2025; Mallick & Poddar, 2025; Sharma et al., 2023). Sua efetividade depende diretamente de planejamento estratégico, infraestrutura adequada e processos como o rastreio de vazamentos e o reuso de águas residuais (Singh et al., 2025; Zhang & Tang, 2019).

Embora o uso da água seja um direito humano e um ativo estratégico (Nações Unidas Brasil, 2025), a humanidade atravessa um ponto crítico na sua gestão. Até 2030, a demanda deve superar a oferta em 40%, impulsionada pelas mudanças climáticas, urbanização acelerada, consumo insustentável e má gestão (Jica & Boston Consulting Group, 2025). Esse cenário reforça a urgência de alinhar a WM ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) da ONU (Nti et al., 2022; Sandhwar et al., 2025).

Diante dessa escassez, a crescente adoção de inovações tecnológicas revela um paradoxo ambiental. Apesar de essenciais para a transformação digital, os *data centers* usados para o treinamento de modelos de Inteligência Artificial e para o processamento de grandes volumes de dados, possuem uma pegada hídrica massiva, exigindo milhões de litros de água para resfriamento e alto consumo energético. Esse custo representa um desafio socioambiental crítico, especialmente em regiões já vulneráveis, evidenciando uma contradição entre os benefícios prometidos pela digitalização e a sustentabilidade prática de sua infraestrutura física (Li et al., 2023; Siddik et al., 2021).

Para encarar a complexidade da gestão hídrica, tecnologias digitais vêm consolidando conceitos como *Digital Water* e *Water 4.0* (Bennich et al., 2025). A Internet das Coisas (IoT) fornece dados em tempo real, enquanto a Inteligência Artificial (IA) e a análise de *Big Data* (BDA) processam essas informações para identificar padrões, prever demandas e otimizar a distribuição de forma dinâmica (Expósito & Díez Cebollero, 2025; Pant & Singh, 2025; Vadruccio et al., 2024). O uso de redes neurais artificiais, por exemplo, supera métodos estatísticos tradicionais, aumentando a acurácia da previsão da qualidade da água e do fluxo de reservatórios em diversos contextos globais (Kaur et al., 2025; Patel et al., 2023). É esperado também, que empresas adotem práticas sustentáveis de WM e divulguem as estratégias e o desempenho às partes interessadas (Farooq et al., 2025) visto que se trata de um recurso natural fundamental e sua gestão é dimensão-chave da sustentabilidade. A gestão responsável é crucial para mitigar riscos ambientais (Stojkovic Zlatanovic et al., 2018).

Simultaneamente, Gêmeos Digitais (*Digital Twins* - DT) criam modelos virtuais dinâmicos para simulação preditiva e otimização operacional (Gümüş et al., 2026; Jia et al., 2024), enquanto o *blockchain* garante a segurança e a integridade dos dados compartilhados entre as partes interessadas (Frikha et al., 2024; Mohammed et al., 2024). O monitoramento por sensoriamento remoto e telemetria tem reduzido falhas e perdas operacionais em regiões da Itália, Gana e Singapura (Amankwaa et al., 2024; Féry, 2022; Wu et al., 2023), da mesma foram que a integração entre IA e IoT tem prevenido transbordamentos e poluição em redes de esgoto no Reino Unido (Féry, 2022). No Brasil, iniciativas como a instalação de 4 milhões de hidrômetros inteligentes em São Paulo reforçam a integração de IoT e IA no mercado corporativo (IPEA; IAS, 2026)

Essa digitalização é fundamental para alinhar a WM aos princípios ESG. Ambientalmente, melhora a resiliência e a eficiência diante da escassez; socialmente, amplia o engajamento, a equidade e o acesso (Expósito & Díez Cebollero, 2025; Walter, 2024; Kurniawan et al., 2024); e, na governança, facilita a transição de estratégias reativas para proativas por meio de monitoramento verificável (Expósito & Díez Cebollero, 2025). O mercado de capitais utiliza esses critérios para pressionar as empresas a integrarem práticas responsáveis e mitigarem riscos socioambientais (Eccles et al., 2014; Li et al., 2021; Stojkovic Zlatanovic et al., 2018).

Contudo, a adoção dessas soluções permanece lenta, frequentemente fragmentada e esbarra em barreiras como altos custos, qualidade limitada de dados, resistência cultural e riscos de cibersegurança (Bennich et al., 2025). Ademais, nota-se que a orientação tecnológica (como nos Gêmeos Digitais) muitas vezes foca exclusivamente em desafios operacionais, negligenciando a inclusão e as dimensões sociais do ESG (DiCarlo et al., 2023; Sharma & Gupta, 2024). Historicamente, a gestão da água também reflete uma perspectiva euro-americana que pode se mostrar inadequada aos desafios locais (Abdalla & Faria, 2017).

Apesar dos avanços, permanece uma lacuna empírica na compreensão de como essas inovações se traduzem em práticas efetivas no contexto urbano brasileiro. Diante disso, surge a seguinte questão de pesquisa: as tecnologias digitais são construídas e legitimadas como soluções sustentáveis na gestão da água? Sob a lente da Teoria da Construção Social da Tecnologia (SCOT), este estudo busca analisar como as inovações digitais contribuem para a efetividade do setor de saneamento ambiental.

A relevância científica desta pesquisa reside na aplicação inédita da SCOT à governança hídrica e na conexão direta entre sustentabilidade, digitalização e o contexto brasileiro. Do ponto de vista prático, o estudo fornece subsídios para a formulação de estratégias corporativas e políticas públicas baseadas em dados, contribuindo para as métricas ESG. A urgência do déficit hídrico exige soluções além da infraestrutura física, sendo crucial que a transparência corporativa feche a lacuna entre o discurso estratégico e a prática no campo, garantindo que a inovação entregue real valor público.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A teoria *Social Construction of Technologies* (SCOT) foi introduzida por Trevor Pinch e Wiebe Wijker, considera que o desenvolvimento tecnológico é definido por um processo sociotécnico interativo, onde o design, a aceitação e o significado de um artefato são moldados por negociações entre diversos grupo sociais (Bijker et al., 1993; Pinch & Bijker, 1984). Ao contrário do determinismo tecnológico, que considera a tecnologia como força autônoma que dita o progresso social, a SCOT considera que a tecnologia não evolui de forma linear e

independente, sendo um produto da agência humana e de contextos políticos, econômicos e culturais (Madsen et al., 2017; Poschmann, 2025).

A SCOT fundamenta-se em conceitos centrais como os Grupos Sociais Relevantes (GSR), que são os indivíduos que compartilham uma interpretação comum e atribuem o mesmo conjunto de significados ao artefato técnico, como produtores, usuários, políticos ou investidores (Madsen et al., 2017). A Flexibilidade Interpretativa estabelece que um artefato pode ter significados diferentes para grupos distintos, demonstrando que existem diversos caminhos técnicos para o desenvolvimento de uma inovação (Madsen et al., 2017; Poschmann, 2025).

Deve ser considerado como fundamento da SCOT ainda o fechamento (*closure*) e a estabilização que ocorre quando as controvérsias entre os grupos e as soluções tecnológicas são resolvidas e atendem a um consenso social, tornando-se estável e integrado às estruturas sociais (Bijker et al., 1993; Madsen et al., 2017). O quadro tecnológico (*Technological Frame*) está associado às metas, teorias, estratégias e práticas de uso que estruturam as interações em um grupo social e guiam os atores que avaliam a tecnologia. O funcionamento de uma tecnologia, segundo esta teoria, é um consenso socialmente alcançado quando grupos relevantes deixam de perceber problemas no artefato (Bennich et al., 2025; Klein & Lee Kleinman, 2002; Nilsson, 2016).

As tecnologias digitais podem auxiliar a tradução de princípios abstratos da sustentabilidade em resultados concretos de gestão, trazendo transparência e confiança com a segurança de dados e rastreabilidade, reduzindo conflitos de uso e aumentando a confiança de investidores focados em ESG com uso de IoT, IA, ML e *blockchain*, e permitindo tomadas de decisão baseadas em dados com *softwares* de análise e gêmeos digitais, alinhando ao conceito de *Water* 4.0 (Féry & Basani, 2022; Leng et al., 2024; Wu et al., 2023). Apesar do potencial das tecnologias digitais, é preciso ter cautela técnica. No uso da inteligência artificial em modelos baseados em LLMs (*Large Language Model)*, como os modelos ChatGPT da OpenAI, Gemini da Alphabet e Claude da Anthropic, embora populares, possuem limitações consideráveis para uma superestimação entre a abstração emergente com capacidade de generalizar conceitos e de regras superficiais não intencionais, ou seja, um raciocínio abstrato rigoroso e processamento neural profundo, desta forma, carecem de precisão substancial para processamento neural não intencional e não apenas sua acurácia geral de processamento (Beger et al., 2025), o que pode gerar uma superestimação de sua precisão técnica em contextos críticos como a engenharia de recursos hídricos.

Como sistemas de monitoramento, são identificadas tecnologias de sensores físicos conectados que coletam dados continuamente, como sensores de pressão, vazão, nível e temperatura da água em tubulações e reservatórios, detecção de vazamentos por acelerômetros e sensores acústicos (Rousso et al., 2024), medição avançada que registram o consumo, detecção de vazamento e rastreio de padrões de consumo (Amorim, 2025b; DiCarlo et al., 2023; Gan et al., 2024; Rousso et al., 2024; Shu, 2011).

Para análise e inteligência aplicadas à WM, mecanismos que transformam dados coletados em informações para suporte à decisão. Através de Gêmeos Digitais, modelos virtuais dinâmicos replicam o comportamento físico do sistema hídrico em tempo real, permitindo simular cenários de falhas, otimizar a distribuição e prever comportamentos sob estresse (Dui et al., 2025; Fan et al., 2025; Ma et al., 2025; Wu et al., 2023). Previsão de demanda, identificação de anomalias e automatização de manutenção preditiva podem ser processadas através de algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais artificiais, IA e ML (Bach et al., 2025; Li et al., 2022; Ma et al., 2025; Rousso et al., 2024; Sandhwar et al., 2025; Walter, 2024).

Por garantir rastreabilidade, integridade e imutabilidade dos dados coletados, a tecnologia do *Blockchain* aumenta a confiança entre reguladores, consumidores e operadoras, além de facilitar a gestão de direitos da água (Frikha et al., 2024; Giamberardino et al., 2024; Mohammed et al., 2024; Singh et al., 2025; Wamba et al., 2024).

O monitoramento e operação depende de estruturas físicas como satélites e radares, mas é a tecnologia digital que permite a agilidade e modernização no setor. Sistemas como o SINISA – Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, plataformas interativas como o Observatório do Marco Legal, o Painel IAS e o portão AdaptaBrasil integram dados e indicadores (IPEA; IAS, 2026).

Apesar do apoio das tecnologias digitais, a gestão da água enfrenta desafios complexos e barreiras financeiras, técnicas, humanas, organizacionais e políticas. Restrições estruturais tornam a implementação mais

lenta em comparação a outras indústrias (Bennich et al., 2025; Rousso et al., 2024). São barreiras financeiras e econômicas, como os altos custos de investimento e manutenção, visto que a aquisição de *hardware*, infraestrutura de comunicação e centros de dados exige investimento de capital (*capex*) substancial, e os custos operacionais (*opex*) para manutenção, treinamento de pessoal e atualização de *software* são limitantes para organizações com orçamentos reduzidos (Expósito & Díez Cebollero, 2025; Fong et al., 2024; Goh et al., 2024; Rousso et al., 2024; Sandhwar et al., 2025). Gestores apontam dificuldades em quantificar os benefícios a longo prazo de forma a justificar o Retorno sobre o Investimento (ROI), como por exemplo o baixo valor econômico da água em relação à medição inteligente (Expósito & Díez Cebollero, 2025; Fong et al., 2024; Rousso et al., 2024).

Desafios técnicos e de infraestrutura são apontados quando a eficácia de ferramentas como a IA depende de dados de alta qualidade e resolução, sem a preservação adequada de registros históricos e de dados distribuídos em sistemas isolados. Em áreas rurais ou remotas, falta de internet de alta velocidade impede a transmissão de dados em tempo real, e sensores instalados em ambientes hostis, como as redes de esgoto, são sujeitos a falhas e degradação, ocasionando falta de padrões operacionais comuns e dificuldade de integração entre plataformas (Bennich et al., 2025; Parra-López & Carmonak-Torres, 2026; Patel et al., 2023; Wu et al., 2023; Sanders & Masri, 2016).

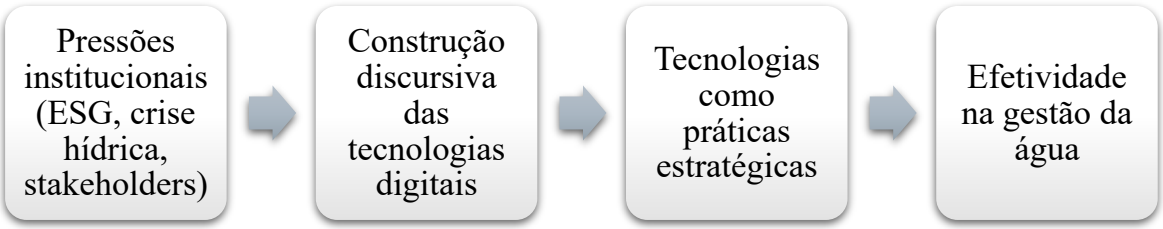
Barreiras humanas e organizacionais decorrem de uma lacuna significativa de profissionais com conhecimento em tecnologias digitais e em engenharia ambiental ou hidráulica. O setor hídrico requer estabilidade e confiabilidade, sendo tradicionalmente avesso ao risco, e os gestores resistem à mudança e à inovação. Empresas de saneamento devem equilibrar a eficiência das operações com a necessidade da transformação digital (Bennich et al., 2025; Ma et al., 2025; Rousso et al., 2024).

Em relação aos riscos de segurança e privacidade, a digitalização abre caminho para ataques cibernéticos e para a infraestrutura crítica, devendo ser reforçada a proteção de dados sensíveis e contra invasões que comprometam a qualidade da água. Coleta de dados dos cidadãos requer atenção às questões éticas e conformidade com regulamentações (Bach et al., 2025; Girotto et al., 2024; Huzzat et al., 2025; Oberascher et al., 2022; Wu et al., 2023), como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD).

O risco de que as tecnologias digitais beneficiem apenas as grandes empresas ou áreas urbanas ricas existe e deve ser considerado. A divisão digital prevê a exclusão e a exacerbação das desigualdades, criadas por barreiras que marginalizam comunidades rurais e sistemas locais (Expósito & Díez Cebollero, 2025; Goh et al., 2024; Parra-López, Abdallah, et al., 2025). A transição para a Água 4.0 não requer apenas novas ferramentas, mas também uma mudança profunda na cultura organizacional, investimentos massivos em capacitação e o estabelecimento de padrões de segurança e de governança de dados. A propriedade dos dados entre múltiplos *stakeholders* e governos cria obstáculos ao compartilhamento efetivo de informações essenciais (Donnelly et al., 2020; Parra-López & Carmona-Torres, 2026; Sandhwar et al., 2025).

As proposições teóricas focam em que a transformação digital parte da estratégia organizacional, mas devem ser consideradas as capacidades digitais como recursos estratégicos, uma forma de reconfiguração organizacional e resposta a pressões ambientais. A Figura 1 apresenta o escopo da relação institucional analisada.

Figura 1: Relação institucional analisada para a gestão da água



Fonte: Elaborado pelos autores

O foco nas empresas de saneamento atuantes no Brasil se justifica pela produção e consumo caracterizados por perdas significativas na distribuição, crescente demanda e projeções de aumento de consumo futuro influenciado pelas mudanças climáticas (Instituto Trata Brasil, 2025a, 2025b).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho visa avaliar o uso das tecnologias digitais emergentes na gestão das águas a partir dos Relatórios de Sustentabilidade (RS) apresentados pelas empresas de saneamento listadas na bolsa de valores brasileira (B3) e estabelecer o estado conforme a construção social da tecnologia.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia deste estudo adota uma abordagem qualitativa exploratória e interpretativa, orientada pela SCOT, a partir da análise documental dos Relatórios de Sustentabilidade (RS) de caráter interpretativo.

Foram analisados os RS publicados entre 2020 e 2024 pelas empresas de saneamento listadas na bolsa de valores brasileira, a B3. Para selecionar as empresas, buscou-se o setor de atuação Utilidade Pública, o subsetor Água e Saneamento e o segmento Água e Saneamento. Foram listadas 14 empresas, sendo que a Orizon Meio Ambiente S.A. e Orizon Valorização de Resíduos S.A. utilizam a mesma fonte de informações para a relação com investidores, sendo, neste estudo, relacionada como “Orizon”, assim como as empresas Equipav Saneamento S.A., Parsan S.A. e Regenera Rio S.A. estão consolidadas como Aegea. A Tabela 1 relaciona as empresas.

Tabela 1 – Empresas listadas na B3 – segmento Água e Saneamento

CHAVE	RAZÃO SOCIAL	ATIVIDADE PRINCIPAL
AEGEA	EQUIPAV SANEAMENTO S.A.	Participação e administração de investimentos em sociedades cujas atividades estejam relacionadas a serviços de saneamento.
AEGEA	PARSAN S.A.	Holdings de instituições não financeiras.
AEGEA	REGENERA RIO S.A	Gestão de resíduos sólidos; captação. tratamento e comercialização de biogás; produção e comercialização de créditos de carbono; serviço de tratamento de chorume; operação de aterro sanitário etc.
ORIZON	ORIZON MEIO AMBIENTE S.A.	Atuação na cadeia de gestão de resíduos: tratamento e destinação final de resíduos; exploração do biogás. energia e créditos de carbono; beneficiamento de resíduos; e serviços de engenharia ambiental.
ORIZON	ORIZON VALORIZACAO DE RESIDUOS S.A.	Atuação na cadeia de gestão de resíduos: tratamento e destinação final de resíduos; exploração do biogás. energia e créditos de carbono; beneficiamento de resíduos; e serviços de engenharia ambiental.
BRK	BRK AMBIENTAL - REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ S.A	Explorar serviços públicos de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário.
CASAN	CIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAM.- CASAN	Atuar como instituição integrante do sistema de saneamento básico e de saúde do Estado de Santa Catarina através dos serviços de captação. Tratamento e distribuição de água e tratamento de esgoto.
SABESP	CIA SANEAMENTO BASICO EST SAO PAULO	Abastecimento de água. Esgotamento sanitário. Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Limpeza urbana. Manejo de resíduos sólidos e energia.

COPASA	CIA SANEAMENTO DE MINAS GERAIS-COPASA MG	Planejar. executar. ampliar. Remodelar e explorar serviços públicos de saneamento básico. Envolvendo abastecimento de água potável. Esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.
IGUÁ	IGUA SANEAMENTO S.A.	Prestação de serviços públicos de água e esgoto.
VITAL	VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S.A.	Gestão de resíduos (limpeza pública. coleta. transporte. tratamento e destinação final de resíduos e implantação e gerenciamento de aterros sanitários). Abastecimento de água e esgotamento sanitário.
SANEPAR	CIA SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR	Exploração de serviços públicos e de sistemas privados de abastecimento de água, de coleta, de remoção e de destinação final de efluentes e de resíduos sólidos domésticos e industriais, e de seus subprodutos.
CONASA	ÁGUAS DO SERTÃO S.A.	O principal ramo de atividade da Companhia é a prestação regionalizada de atividades integradas que compreendem a totalidade dos serviços a serem prestados pela Companhia nos termos do Contrato de Concessão.
AMBIPAR	AMBIPAR PARTICIPAÇÕES E EMPREENDIMENTOS S.A.	Gerenciamento e valorização de resíduos. Prestação de serviços de atendimento a emergência.

Fonte: elaboração própria dos autores a partir da B3

A partir dos RS disponibilizados pelas empresas listadas na Tabela 1, foram realizadas a identificação e a sistematização de categorias analíticas relacionadas às tecnologias digitais e aos significados atribuídos a elas. Como apoio à análise, foram elaboradas matrizes de concorrência e de códigos por documento, permitindo identificar padrões de associação entre tecnologias digitais, sustentabilidade e elementos discursivos presentes nos relatórios, permitindo a visualização de recorrências e cruzamentos temáticos e contribuindo na identificação de enquadramentos atribuídos às tecnologias digitais, como eficiência operacional, de sustentabilidade e legitimidade institucional.

A análise foi conduzida de forma interpretativa, buscando compreender como esses significados são construídos e estabilizados no discurso organizacional, em linha com os pressupostos da SCOT, especialmente no que se refere à flexibilidade interpretativa e aos processos de fechamento (*closure*), o que permite articular elementos empíricos e teóricos. Os códigos foram atribuídos conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Codificação dos grupos e itens

CÓDIGO	CHAVE	ITENS
T1	Digitalização e automação	Tecnologias como GIS, telemetria, Scada, IA, IoT, drones
T2	Tecnologias ambientais	Inovações em tratamento de água/esgoto, energias renováveis e economia circular
G1	Grupos sociais – comunidades e clientes	Foco no impacto social, diálogo, saúde e universalização
G2	Grupos sociais – colaboradores e gestores	Capacitação, cultura de inovação e segurança do trabalho
G3	Grupos sociais – reguladores e investidores	Conformidade legal, auditoria e *frameworks* (GRI/SASB)
P1	Flexibilidade interpretativa – ganhos de eficiência	Tecnologia vista como ferramenta de produtividade e redução de custos
P2	Flexibilidade interpretativa – inclusão e legitimidade	Tecnologia vista como meio de transparência e licença social para operar

Fonte: elaboração própria dos autores a partir dos Relatórios de Sustentabilidade

RESULTADOS OBTIDOS

O quadro tecnológico ainda está arraigado a modelos ocidentais, soluções e inovações para as massas não atendidas ainda representam uma lacuna (Bennich et al., 2025). A infraestrutura é construída física e socialmente, associando a água a um direito humano, a uma mercadoria ou a um risco a ser gerido (Bell, 2018).

Com base nos códigos adotados na Tabela 2, a frequência temática dos RS é apresentada na Tabela 3. A gradação foi estabelecida com base na importância estratégica do tema, conforme apresentado nos documentos.

Tabela 3: frequência temática dos Relatórios de Sustentabilidade

EMPRESA / ANO	T1	T2	G1	G2	G3	P1	P2
AEGEA (2020-2024)	High	Med	High	High	High	High	Med
AMBIPAR (2020-2023)	Med	High	Med	Med	High	Med	Med
BRK (2020-2024)	High	Med	High	High	Med	Med	Med
CASAN (2021-2024)	Med	Med	Med	Med	Med	High	Med
COPASA (2020-2024)	High	Med	High	High	Med	Med	High
IGUÁ (2020-2024)	Med	Med	High	Med	High	Med	Med
ORIZON (2020-2024)	Med	High	High	Med	Med	Med	Med
SABESP (2020-2024)	High	Med	High	Med	High	Med	High
SANEPAR (2020-2024)	Med	Med	Med	High	Med	High	High

Fonte: elaboração própria dos autores

Para extrair a métrica de relevância estratégica na Tabela 3, foram considerados os discursos dos RS publicados pelas empresas de saneamento listadas, sendo que para atender a gradação "*High*", o RS apresentou o tema explicitamente, trazendo como tema material descrito na Tabela 2 como prioritário, com conteúdo presente e relatada a forma de gestão, componentes e evolução do tema. Para a gradação "*Med*", os temas não se apresentam como eixos centrais da estratégia, mas apresentaram volume significativo de evidências operacionais, como um caso de sucesso, um projeto piloto ou um investimento específico, podendo ter indicador tático não atrelado diretamente à remuneração variável da alta gestão ou metas corporativas. Já a gradação "*Low*", a menção é apenas tangencial, sem detalhamento da gestão estratégica ou impacto financeiro ou socioambiental.

A tabela 4 relaciona as principais tecnologias digitais utilizadas por empresa conforme os RS.

Tabela 4: Matriz de Tecnologias Digitais disponibilizadas nos Relatórios de Sustentabilidade por Empresa

EMPRESA	IA E ML	BIM, GD E DRONES	IOT E HIDRÔMETROS INTELIGENTES	PLATAFORMAS DE CLIENTE E APPS	GOVERNANÇA DIGITAL E ERP
AEGEA	Otimização da dosagem de químicos em Estação de Tratamento de Água	Programa INFRA INTELIGENTE	Sensores de IoT integrados ao COI	ÁGUAS APP e IA no WhatsApp	SAP e Oracle Field Services (OFS)
AMBIPAR	Software LEGAL para conformidade normativa	Drones para reflorestamento e manutenção	-	Plataforma AMBIFY (blockchain)	Gerenciamento de Resíduos 4.0, SOME, Ludos PRO
BRK	PROJETO GALÁXIA para localização de vazamentos	ArcGIS para automatização de cadastro de redes	Telemedição para grandes consumidores	Agência MINHA BRK e Mobile Coleta	Sistema MYLIMS e painéis de BI
CASAN	Hastes eletrônicas com IA para vazamentos	Software WATERCARD para simulação	-	Aplicativo Casan SC	CASAN SEM PAPEL
CONASA	-	-	-	Canais Omnichannel	Robô para esteira de notas fiscais
COPASA	IA para análise de obras via drones	Monitoramento de barragens e obras	Expansão de equipamentos IoT	ASSISTENTE CHICO e Copasa Digital	Migração SAP e tecnologia BPMS
IGUÁ	ML para predição de fraudes em ligações	Prospecção via fóruns TAG (Technology Approval Group)	Unidade FLUXX (IoT e medição remota)	DIGI IGUÁ e CRM Salesforce	Plataforma Atlas Governance
ORIZON	-	Drones para segurança de aterros	-	-	Plataforma de requisitos legais
SABESP	INTEGRA 4.0 (IA para manutenção proativa)	Metodologia e Manual BIM	Medição inteligente para 161 mil clientes	SABESP MOBILE e Net@Suite	Sistema Siis (SAP/GRC)
SANEPAR	IA e satélite para vazamentos não visíveis	Robôs para inspeção de redes	Monitoramento 4.0 e IoT	SANEPAR MOBILE e SaneIdeias	PDTEC (Plano Diretor Digital)

Fonte: elaboração própria dos autores

A descrição dos itens apontados na tabela 4 segue as informações fornecidas pelas empresas nos Relatórios de Sustentabilidade fornecidos.

A AEGEA cita em seus RS que utiliza IA e ML para aumentar a segurança e a eficiência de seus processos operacionais. Em parceria com a startup brasileira Kunumi, a IA é utilizada para determinar a dosagem exata de produtos químicos necessários para o tratamento nas ETAs, reduzindo em até 30% o consumo do insumo. Para detecção de vazamentos não visíveis, utiliza tecnologia israelense Takadu, com algoritmos que identificam comportamento anômalo na rede, além de modelos preditivos para antecipar a demanda de água em períodos de seca.

No programa Infra Inteligente, os ativos físicos da AEGEA são geridos através de drones e câmeras 360º para realizar o inventário e o mapeamento digital das instalações, como reservatórios e estações de tratamento. O BIM (Building Information Modeling) cria modelos virtuais 3D inteligentes que otimizam investimentos em novas obras e permitem visitas técnicas remotas. Os Gêmeos Digitais simulam cenários operacionais através de cópias exatas das instalações físicas, permitindo o direcionamento de manutenção preditiva e redução de custos operacionais e de paradas do sistema.

A AEGEA monitora continuamente pressão e vazão da rede enviando dados para o Centro de Operações Integradas (COI), direcionando ações preditivas ou reparos ágeis. O uso de hidrômetros telemedidos permite o acompanhamento do consumo em tempo real e disparo automático de aviso sobre vazamentos internos, evitando perdas de água. A jornada do cliente ocorre por aplicativo gratuito que centraliza os principais serviços (Águas App), além de utilizar inteligência cognitiva no WhatsApp para autoatendimento, representando mais de 60% dos contatos recebidos e elevando a satisfação do cliente em 15%.

Para suportar a estratégia de crescimento e compliance, a AEGEA investe em sistemas de gestão robustos, como Oracle Field Services (OFS), software em nuvem para gestão de ordens de serviço, que utiliza IA para roteirizar as equipes de campo de forma automática e mais eficiente. Plataformas globais como SAP, Ariba e Projuris padronizam processos financeiros, jurídicos e de compras, enquanto ACL Analytics, um software de auditoria contínua utiliza robôs para monitorar processos em tempo real, eliminando o uso de arquivos físicos e aumentando a precisão da auditoria internal O SESuite automatiza o monitoramento de licenças, outorgas e prazos regulatórios em portal de gestão ambiental. Por fim, o Ecossistema GISAegea centraliza o cadastro técnico, incluindo mapas de redes e inteligência espacial para todo o grupo em ferramenta de geoprocessamento.

A Ambipar utiliza IA no software Legal para mapear, captar e atualizar continuamente as legislações e normas aplicáveis a cada negócio em tempo real e analisar riscos jurídicos. IA também é integrada a projetos de automação no gerenciamento de resíduos, garantindo fluidez dos dados e melhoria da performance operacional, além de sistemas integrados de ESG, com plataformas avançadas de integração de dados e otimização de tomada de decisão estratégica.

Com drones utilizados para o plantio aéreo de biocápsulas sustentáveis, a Ambipar busca recuperação de áreas degradadas. Ao empregar robôs e drones em operação de reparo e manutenção, aumenta a segurança dos colaboradores e garante que locais de difícil acesso ou alto risco sejam mantidos.

Com a plataforma Ambify, a Ambipar utiliza blockchain para cálculo e compensação de pegada de carbono e na plataforma Gênio Tracking para rastrear a cadeia de resíduos.

O Sistema Operacional de Materialidade Estratégica (SOME) foi desenvolvida para que seu ecossistema tenha análises críticas dos resultados ESG. A plataforma Ludos PRO garante treinamento dos colaboradores e terceirizados em temas de ética, compliance e sustentabilidade de forma gamificada.

Com o projeto Galáxia, a BRK utiliza IA e ML em iniciativa inovadora, em parceria com a Finep, para localizar vazamentos no sistema de distribuição, gerando mapas de calo que reduzem a área de pesquisa e otimizam as inspeções em campo. Também utiliza IA para mapear comportamento de clientes e customizar as réguas de cobrança.

Com ArcGIS, automatiza cadastro técnico de redes e ramais de abastecimento e coleta, garantindo confiabilidade das informações espaciais e auxiliando na programação de manutenções preventivas.

Ao utilizar a telemedição com IoT, o monitoramento remoto e a precisão na medição permitem o acompanhamento remoto do consumo e reduzem erros de faturamento. A BRK também utiliza ferramentas digitais para monitorar as barragens com indicadores técnicos de segurança e níveis de pluviometria.

A BRK investe em sistemas para garantir a rastreabilidade e integridade dos dados com o Sistema myLIMS®, um software de gerenciamento de dados laboratoriais que automatiza a extração de indicadores de qualidade e eficiência. É integrado ao SISAGUA (Ministério da Saúde) e elimina etapas manuais de digitação e aumenta a confiabilidade dos dados enviados aos órgãos reguladores.

O atendimento ao cliente da BRK oferece agência virtual com mais de 15 serviços digitais, que representaram 86% dos atendimentos em 2024. Com lojas Phygital, integra atendimento físico ao digital com totens e especialistas para orientar os clientes a utilizar as plataformas de autoatendimento. Para apoiar equipes técnicas em campo no lançamento de resultados de amostragem de água e esgoto, o Mobile Coleta integra os dados instantaneamente.

Ao centralizar análises críticas de desempenho, segurança do trabalho e gestão financeira em painéis de Business Inteligence (BI), a BRK otimiza a tomada de decisão. Plataformas digitais como Gestão Legal (SOGI e Onegreen) garantem o monitoramento contínuo de legislações, licenças ambientais e cumprimento de condicionantes regulatórias. Adicionalmente, a BRK destaca o uso da Tecnologia Nereda® em suas estações de tratamento que utiliza algoritmos internos para otimizar o consumo de oxigênio e energia, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa.

A Casan investe no uso de hastes eletrônicas equipadas com IA para aprimorar a pesquisa ativa de vazamentos não visíveis, filtrando ruídos no subsolo com maior precisão do que os geofones tradicionais. Com o software WaterCAD, realiza simulações hidráulicas em seus sistemas de abastecimento, diagnostica o comportamento da rede e planeja ações para a redução de perdas.

O Aplicativo CASAN SC permite que o usuário visualize o histórico de consumo, receba avisos sobre interrupções no abastecimento, solicite consertos de vazamentos e acesse faturas. A empresa informatizou todos os seus atendimentos, simplificando processos via site institucional e redes sociais, garantindo que 100% dos serviços possam ser acessados remotamente.

CASAN Sem Papel (SGP-e) é o projeto central de governança digital da companhia, que utiliza o Sistema de Gestão de Processos Eletrônicos (SGP-e) para eliminar o uso de papel. Até 2024, o sistema já havia digitalizado 525 mil processos e economizado 175 mil horas de trabalho de servidores em atividades de protocolo e transporte.

A Conasa utiliza conciliação robotizada através de sistema baseado em IA que integra os módulos fiscal, financeiro e contábil, realizando a conciliação automática de dados durante a noite e gerando relatórios de inconsistências para revisão humana. Utiliza um robô para identificar documentos emitidos por fornecedores, validar as informações capturadas e verificar a existência de pedidos de compra aprovados. Caso os dados estejam corretos, o sistema realiza o lançamento para pagamento de forma 100% automática.

Com canais Omnichannel, o atendimento ao cliente é unificado via site, aplicativo, e-mail e WhatsApp, utilizando comunicação digital automatizada.

A Copasa monitora obras, barragens e redes utilizando algoritmos de IA e ML integrado a drones, identificando mudanças e anomalias de forma automática. Também utiliza drones para o acompanhamento remoto de unidades operacionais e fiscalização de obras, gerando relatórios integrados ao sistema de gestão. Com integração de imagens de satélites e scanners 3D com a metodologia BIM, aprimora o planejamento de infraestrutura. Gêmeos digitais são utilizados para a simulação de cenários futuros e identificação de desvios operacionais, permitindo uma manutenção proativa e redução de riscos.

O projeto Copasa 4.0 foi focado na padronização da automação e na busca por tecnologias emergentes de Internet das Coisas (IoT). Foi introduzida telemetria em 2.580 unidades de consumo e realiza a aplicação substancial de hidrômetros inteligentes, permitindo a leitura remota e uma cobrança mais precisa para os clientes.

Com o Sistema COPASIS (SCADA) - Sistema Integrado de Supervisão - centraliza dados remotos de pressão, vazão e nível de reservatórios, tornando-os acessíveis via smartphones para engenheiros e técnicos em campo.

A jornada do cliente Copasa utiliza o Assistente Virtual Chico**,** Chatbot e webchat que oferece uma vasta gama de serviços automáticos via WhatsApp e agência virtual, proporcionando agilidade e produtividade, representando cerca de 85% das demandas atendidas. Com o Aplicativo Copasa Digital**,** os usuários acessam histórico de consumo, faturas, comunicam vazamentos e realizam pagamentos via PIX ou cartão de crédito.

Buscando eficiência administrativa e conformidade regulatória, o Projeto Copatec foi **g**rande investimento na migração para a versão mais atual do software de gestão SAP (S/4 Hana), visando integrar processos empresariais e comerciais de forma transparente. A tecnologia BPMS (Business Process Management Suite) foi implementada via Escritório de Processos de Negócio (BPMO) para automatizar, integrar e controlar fluxos de trabalho internos.

A Iguá utiliza algoritmos avançados para aprimorar a gestão comercial e a eficiência operacional através de predição de fraudes. A companhia implementou um modelo de ML preditivo para identificar comportamentos anômalos de consumo, gerando planos de fiscalização direcionados para as matrículas com alta probabilidade de irregularidades. O case "Smart-Metering e Machine Learning" utiliza IA para realizar a projeção do consumo diário de água, permitindo uma gestão mais eficiente da rede e otimização da produção. Algoritmos de IA são integrados ao sistema de medição remota para identificar rapidamente vazamentos e perdas não visíveis na rede de distribuição.

Com o TAG (Technology Approval Group), a Iguá testa e valida novas tecnologias através de fóruns de avaliação tecnológica para analisar soluções globais aplicáveis. O Iguá Lab é programa de inovação aberta que conecta a companhia a centenas de startups para o desenvolvimento de soluções disruptivas.

A Iguá digitaliza a medição através de sua unidade de negócios especializada, a Fluxx, que utiliza Medição Remota em Larga Escala, representando o maior percentual de clientes com medição remota no Brasil, utilizando tecnologia IoT para garantir precisão no faturamento e economia de custos operacionais. Com hidrômetros ultrassônicos, os medidores com tecnologia de ultrassom e módulos de telemetria permitem o acompanhamento do consumo em tempo real. Os dispositivos inteligentes permitem a supressão e o restabelecimento do abastecimento de forma remota, aumentando a segurança das equipes de campo;

A transformação digital da jornada do cliente é um pilar central da estratégia da Iguá. A Iguá foi a primeira do setor no Brasil a adotar esta plataforma global CRM Salesforce de gestão de relacionamento, permitindo uma visão 360° do cliente e atendimentos altamente personalizados. O portal Digi Iguá oferece serviços como pagamento via PIX, consulta de histórico de consumo e alertas diários de vazamentos para os usuários.

A Plataforma Atlas Governance da Iguá é sistema com acesso criptografado utilizado para gerir governança corporativa, realização de reuniões de diretoria, votações eletrônicas e assinaturas digitais de atas. A infraestrutura sistêmica suporta a transparência e a conformidade da organização. A implementação ddo ERP SAP buscou padronizar processos financeiros e administrativos em todas as operações. Ao utilizar a plataforma centralizada SoftExpert, garante o controle de políticas internas e procedimentos de compliance. A plataforma H2ON é ambiente virtual de educação corporativa que oferece trilhas de aprendizagem on-line sobre inovação, segurança da informação e temas técnicos.

A Orizon utiliza drones equipados com softwares especializados para captar e processar imagens dos aterros, convertendo em dados geoespaciais. É tecnologia fundamental para monitorar aterros e permite análises precisas da segurança estrutural e ambiental. Em 2024, passou a integrar projetos de inovação voltados ao desenvolvimento de tecnologias como gêmeos digitais e computação verde, visando a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

A Orizon adota plataforma digital dedicada à gestão de requisitos legais de Saúde, Meio Ambiente e Segurança (SMS), monitorada e atualizada para assegurar a conformidade normativa, fornecendo suporte para a transparência e conformidade regulatória.

Em 2024 a Orizon lança o programa Inova Orizon para estimular os colaboradores a registrarem ideias e projetos de melhoria contínua e otimização de processos internos. Com a Universidade Corporativa e Telemedicina, conteúdos educacionais on-line são disponibilizados e oferece aos colaboradores acesso a uma plataforma de telemedicina (Teladoc) para consultas virtuais e suporte psicológico.

A Sabesp utiliza IA e ML em processos como o projeto Integra 4.0, tecnologia premiada que combina inteligência de negócios e artificial para o monitoramento proativo e manutenção da rede de saneamento, em recrutamento inovador com uso de IA em etapa de entrevistas de candidatos via WhatsApp, agilizando processos seletivos internos.

Pioneira no uso do BIM para criar modelos digitais 3D integrados de obras, a Sabesp busca planejar, construir e operar as redes de forma mais eficiente. Desenvolveu o Manual BIM (BIM Mandate) e implementou um Ambiente Comum de Dados (CDE) corporativo para gestão online de modelos e documentos.

A tecnologia de sensores é central para o conceito de Saneamento 4.0 na Sabesp. Até o final de 2023, foram instalados 161.027 hidrômetros inteligentes com tecnologia IoT, permitindo que grandes consumidores acompanhem o consumo via smartphone. Em projeto piloto com sensores que coletam dados de pressão, vazão, cloro e turbidez, transmitindo-os em tempo real para plataformas de gestão online foi implementado o Monitoramento Saneamento 4.0.

A digitalização da jornada do cliente Sabesp atingiu 83% de adesão nos canais eletrônicos. Com o Sabesp Mobile, centraliza serviços como pagamento, consulta de histórico e comunicação de vazamentos. Via WhatsApp, a Atendente virtual Sani realizou mais de 1 milhão de atendimentos em 2022. A plataforma comercial modular Net@Suite permite a transformação digital e integração de IA e IoT. Plataforma de vistorias digitais como o Willy permite que cidadãos cadastrados via modelo de uberização coletem imagens de vazamentos e irregularidades para agilizar o reparo.

Sistemas robustos suportam a tomada de decisão baseada em dados e a conformidade na Sabesp. O Sistema SiiS (SAP/GRC), Sistema Integrado de Informações Sabesp gerencia riscos corporativos e controles internos. O SSD (Sistema de Suporte à Decisão) é ferramenta que armazena dados de sensores e os transforma em gráficos e mapas em tempo real para gestão de recursos hídricos. O EiMob é sistema digital exclusivo para o atendimento e tramitação de processos de empreendedores imobiliários.

A Sanepar utiliza tecnologia israelense para analisar imagens de radar via satélite com algoritmos de IA para identificar vazamentos não visíveis em grandes extensões de rede. Em parceria com Amanco-Wavin e Takadu, utiliza algoritmos de IA integrados a sistemas de monitoramento para processar dados de telemetria e SCADA, identificando anomalias na rede e orientando reparos de forma proativa.

O Plano Diretor Integrado de Tecnologias Digitais (PDTEC) da Sanepar busca modernização da engenharia. Com a metodologia BIM, integra projetos de TI com as áreas de Engenharia e Operações, permitindo um planejamento de investimentos mais preciso. Utiliza tecnologia robotizada móvel para fiscalização e diagnóstico interno de redes coletoras de esgoto, além de equipamentos de filmagem para telediagnóstico em poços de visita, além de empregar drones e dados de satélite para aumentar a precisão das previsões meteorológicas e gerenciar a segurança hídrica.

A digitalização do relacionamento com o cliente Sanepar visa a mobilidade e a educação socioambiental. Com o Sanepar Mobile e WhatsApp, ferramentas digitais desenvolvidas internamente permitem ao cliente solicitar mais de 20 serviços de forma virtual, como atualização cadastral, consulta de débitos e aviso de falta d'água. O App Bora Sanepar é jogo virtual educativo com interface acessível que aborda temas como pegada hídrica e consumo consciente para o público infantil. A plataforma corporativa SaneIdeias fomenta a cultura de inovação, permitindo que empregados registrem e compartilhem boas práticas e ideias inovadoras.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O discurso predominante nos Relatórios de Sustentabilidade analisados apresenta as tecnologias digitais predominantemente como instrumento de eficiência operacional, como detecção de vazamentos, manutenção preditiva, redução de perdas, planejamento de obras, redução de custos e automação operacional.

As empresas de saneamento buscam ampliar a capacidade de enxergar o sistema, melhorar a gestão através de acesso aos dados. Ao aplicar as tecnologias como instrumentos de governança e compliance através dos softwares corporativos destacados, a tecnologia passa a ser construída como mecanismo de transparência e legitimidade institucional.

Ao citarem o uso de tecnologia como transformação na relação entre cliente e empresa, passa a ser construída como ferramenta de proximidade com o usuário. Como plataforma de inovação organizacional e aprendizagem, o artefato tecnológico passa a ser considerado como produtor de mudança e cultura organizacional.

O objeto central do discurso dos RS não é a tecnologia utilizada e sim sua função social atribuída.

Os Grupos Sociais Relevantes (GRS) são fundamentais para a definição da materialidade e para a construção estratégica das companhias. Nos RS analisados, apresentaram evolução na representação, partindo de categorias genéricas para mais detalhadas e inclusivas demonstram um ecossistema social cada vez mais complexo.

As empresas citaram clientes e usuários, segmentados em públicos e privados, em grandes consumidores e na população vulnerável. Colaboradores e força de trabalho, incluindo funcionários próprios, gestores, administradores e, de forma crescente, trabalhadores terceirizados, aprendizes e estagiários. Sindicatos e entidades de classe são citados como grupos de diálogo estratégico para manutenção. Fornecedores e parceiros comerciais, que abrangem toda a cadeia de suprimentos, e parceiros institucionais e de negócio também foram citados. Comunidades locais e a sociedade civil são representadas por lideranças comunitárias, ONGs, associações de moradores, especialistas socioambientais e a sociedade em geral.

A partir de 2022, os RS passam a apresentar um detalhamento mais aprofundado de grupos minorizados e vulneráveis, tratados anteriormente como “comunidade”. A exemplo, povos indígenas (Conasa - Águas do Sertão SA, 2025), comunidades quilombolas (Sanepar - Cia Saneamento do Paraná, 2024) e grupos de diversidade, com foco crescente em mulheres na liderança, pessoas negras, refugiados e pessoas com deficiência (BRK Ambiental, 2023; Iguá Saneamento S.A., 2024; Sanepar - Cia Saneamento do Paraná, 2024).

Outro grupo relevante foi o de investidores, acionistas e o mercado financeiro, definidos como proprietários do capital, analistas financeiros, bancos e credores. O poder público e os reguladores abrangem os poderes concedentes (prefeituras e governos), agências reguladoras estaduais, como a ARSESP (Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo) e a AGEPAR (Agência Reguladora do Paraná), órgãos de fiscalização e controle e o poder legislativo. Imprensa e Academia ganham relevância como canais de transparência e inovação (Aegea Saneamento e Participações S.A., 2023; Sabesp - Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2021, 2025).

A flexibilidade interpretativa modela o artefato em significados e *designs* distintos, de acordo com a percepção de grupos distintos. Sob a perspectiva de gestores e investidores, a tecnologia é interpretada como ferramenta de redução de custos, melhoria nos processos e ganho de competitividade (Aegea Saneamento e Participações S.A., 2021; BRK Ambiental, 2024; Iguá Saneamento S.A., 2023; Oliveira, 2021; Sabesp - Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2022). Para usuários e comunidades, é instrumento de transparência, diálogo e inclusão social (Ambipar Participações e Empreendimentos S.A., 2021; BRK Ambiental, 2021; Kato et al., 2008; Sanepar - Cia Saneamento do Paraná, 2023, 2024).

Órgãos de fiscalização como a ARSESP, AGEPAR e ANA (Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico) assumem o significado de validação de dados e garantia de cumprimento das metas contratuais, promovendo conformidade e controle.

Artefatos tecnológicos recebem múltiplas interpretações. O uso de hidrômetros inteligentes, integrados à IoT, para as empresas representa redução de perdas e aumento de receita, enquanto, para a sociedade, representa precisão na medição e no acompanhamento do consumo. A digitalização para a empresa significa economia administrativa, com redução de papel e de espaço de armazenamento, e, para a sociedade, indica sustentabilidade e agilidade na gestão pública. A flexibilidade interpretativa nos RS demonstra que as tecnologias são construídas adaptando a narrativa de que a inovação atende tanto à lógica do lucro e da eficiência aos investidores quanto à lógica de impacto social e de preservação às comunidades.

No fechamento e estabilização, o artefato tecnológico deixa de ser controverso e passa a ter funcionalidade definida por consenso entre os grupos sociais e torna-se estável (Bijker et al., 1993; Pinch & Bijker, 1984). Aegea indica estabilização por meio de replicação e padronização por meio do Manual Operacional e Infra inteligente (uso de drones e *softwares* de simulação hidráulica) há mais de cinco anos (Aegea Saneamento e Participações S.A., 2022, 2023a; Oliveira, 2021). Sabesp e Copasa apresentam telemetria em formato 4.0 (Amorim, 2025a; Copasa - Cia Saneamento de Minas Gerais, 2025; Sabesp - Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2025.

Programas de promoção à inovação interna na Orizon, Sabesp, Copasa e Iguá atuam como mecanismos de fechamento ao capacitar colaboradores a serem coautores das soluções, reduzindo resistências internas e consolidando a inovação como valor cultural. Sanepar estabelece que a tecnologia deve estar a serviço da sociedade, institucionalizando o Saneamento 5.0, uma evolução do Saneamento 4.0 com foco humano-cêntrico e sustentável, integrando as tecnologias digitais à saúde planetária, com o elemento humano de volta ao centro das decisões tecnológicas na gestão das águas.

O cenário de fechamento e estabilização é parcial. Há ferramentas maduras, mas ainda faltam padrões e acessos. Cenários como uso de *blockchain* e gêmeos digitais, embora promissores, são experimentais e aguardam validação técnica padronizada (Bach et al., 2025; Expósito & Díez Cebollero, 2025; Parra-López & Carmona-Torres, 2026; Wu et al., 2023). Há evidências de experimentação, com o uso de tecnologias em projetos-piloto. Aegea instalou seu primeiro gêmeo digital em 2019, passou a utilizar drones e BIM em 2020 e estabilizou esta tecnologia em 2024 para gestão de ativos em 126 municípios. BRK acelerou a digitalização dos canais de atendimento em 2020 devido à pandemia, reduzindo a interação humana para 30%. Em 2024, implementa políticas de IA e reduz o tempo de espera em 80%.

Buscam estabilização por meio de grupos sociais relevantes, ao oferecer prêmios de inovação a colaboradores da Aegea, da BRK e da Sabesp. O uso de parcerias entre *startups* e universidades na Copasa, Iguá e Sabesp direciona a tecnologia para um ecossistema colaborativo, atendendo à demanda do mercado e do social.

Os RS demonstram que as empresas não operam isoladamente e devem apresentar eficiência técnica, responsabilidade climática e alinhamento aos valores éticos e de sustentabilidade, respondendo às pressões institucionais, que direcionam as estratégias das companhias. Reconhecem que a agenda ESG, embora voluntária, é uma resposta ao mercado financeiro. Aegea, BRK, Sabesp e Casan relacionam-se diretamente à atração de investidores e mitigação de riscos. Copasa assume como mecanismo de inteligência competitiva. A escassez hídrica é citada como um dos maiores riscos operacionais e impacta diretamente o faturamento e os custos operacionais. Sanepar relata que, em 2020 e 2021, enfrentou uma das piores crises hídricas. Sabesp descreve a crise de 2014/15 como um legado que impulsionou a resiliência e a integração de sistemas para enfrentar novas secas extremas.

Considerando os estágios do modelo linear do processo de inovação da SCOT (Bijker et al., 1993) – pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico, desenvolvimento da produção, produção e uso, as tecnologias digitais apresentadas nos RS se apresentam nos dois últimos estágios.

Tecnologias como o GIS e a telemetria aparecem como estabilizadas nos RS, deixando de ser inovações para se tornarem tecnologias básicas de conformidade regulatória. O uso de BIM e DT reflete um novo patamar de conhecimento técnico compartilhado para lidar com as metas de universalização imposta pelo Marco Legal do Saneamento (IPEA; IAS, 2026).

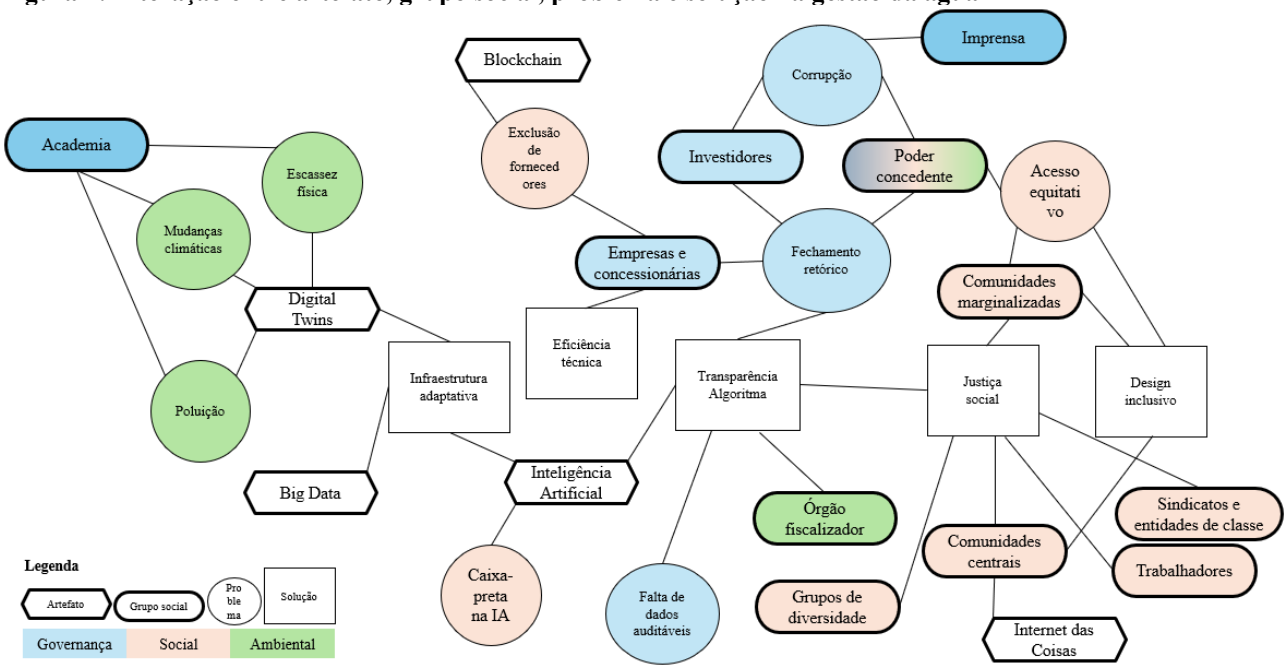
Pinch e Bijker (1984) propõem um modelo multidimensional da SCOT em oposição aos modelos lineares tradicionais de inovação, que descrevem o progresso tecnológico como uma sucessão de etapas (invenção → desenvolvimento → inovação). Para os autores, o desenvolvimento de um artefato envolve alternância complexa

de variação e seleção com múltiplas trajetórias possíveis e simultâneas com lógica de contingência e negociação social, trazendo a tecnologia como um consenso social e não apenas um fato técnico absoluto.

O modelo destaca que o sucesso de uma tecnologia tem múltiplos resultados possíveis. Através da flexibilidade interpretativa, diferentes grupos sociais podem ver o mesmo objeto de formas distintas, gerando designs conflitantes. Integrando aspectos que tradicionalmente eram tratados de forma isolada, os fatores técnicos, sociais, econômicos e políticos são entrelaçados em uma trama sem costura. Utilizando hexágonos para representar artefatos técnicos, ovais para os grupos sociais relevantes, círculos para os problemas percebidos pelos atores em relação ao artefato e quadrados para as soluções, variantes de soluções ou designs alternativos, um mapa de ramificações é gerado, onde várias versões da mesma tecnologia competem entre si.

Ao associar a gestão das águas, as tecnologias digitais e os GSR descritos pelos RS, é possível considerar que o aspecto ambiental deve ser acrescentado. A Figura 1 apresenta uma proposta como contribuição à SCOT, nesta circunstância associando também os aspectos ESG à gestão das águas, visto que os aspectos ambientais, sociais e de governança não são explicitados no *framework* trazido por Pinch & Bijker (1984). A sugestão é incorporar tais aspectos na análise estrutural da SCOT, onde a interação entre o artefato, o problema, a solução e o grupo social relevante tenham designação da matriz ESG.

Figura 1: Interação entre artefato, grupo social, problema e solução na gestão da água



Fonte: Elaboração própria dos autores

A partir da representação da Figura 1, elaborada com base nos RS analisados, é possível verificar que a trama proposta apresenta problemas relevantes da gestão das águas direcionados para o aspecto ambiental, como poluição, mudanças climáticas e escassez física que podem ser associados a artefatos como digital twins para direcionar a uma infraestrutura adaptativa, com auxílio da academia. Outro caminho possível na trama é observar soluções como a transparência algoritma surge a partir de que problemas sociais como exclusão de fornecedores e falta de acesso equitativo e podem ter artefatos como IA e blockchain no encaminhamento para a solução.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Este estudo analisou a construção e a legitimação das tecnologias digitais como estratégias orientadas para a sustentabilidade na gestão de recursos hídricos, com base no discurso encontrado em relatórios de sustentabilidade publicados entre 2020 e 2024 por empresas de saneamento listadas na B3. As tecnologias digitais são apresentadas como soluções para eficiência, monitoramento e otimização operacional através da

lente da Construção Social da Tecnologia (SCOT), que mostra a existência de correlação positiva entre as tecnologias e os benefícios socioambientais e de governança.

No entanto, o estudo revela que essa construção discursiva tem uma lente tecnocêntrica, percebendo as tecnologias meramente como soluções para problemas de forma neutra e universal, sem atenção às dimensões sociais, institucionais e contextuais da gestão da água. Assim, há uma desvantagem em incluir elementos relacionados à equidade, participação social e diversidade de contextos que deveriam formar componentes cruciais por trás de uma abordagem sustentável.

O fechamento e estabilização das tecnologias fornecidas pelos relatórios de sustentabilidade é parcial, padrões e a disponibilidade de ferramentas promissoras para a gestão da água integral ainda são escassos. Como implicação, este estudo destaca que a tecnologia na gestão da água não deve ser concebida meramente como uma ferramenta para operações, mas como um artefato socialmente construído estrategicamente e implantado dentro do discurso organizacional.

Teoricamente, fortalece o valor das perspectivas sociais e ambientais na compreensão da transformação digital em setores críticos. É implicada a necessidade de melhor alinhamento entre discurso e prática, particularmente na incorporação dos aspectos sociais da sustentabilidade. Como limitação, este estudo foca apenas em dados documentais criados por empresas como fonte, deixando espaço para pesquisas futuras que analisem os RS ao longo do tempo, que incorporem entrevistas semiestruturadas com grupos sociais relevantes e outros tipos de evidências empíricas para melhor compreender a construção e o uso de tecnologias digitais na gestão da água, além de aprofundar a análise discursiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDALLA, M. M., & FARIA, A. (2017). Em defesa da opção decolonial em administração/gestão. *Cadernos EBAPE.BR*, *15*(4), 914–929. https://doi.org/10.1590/1679-395155249
2. BENNICH, A., BERGION, V., & NILSSON, D. (2025). Digital solutions in search of a problem? Balancing short-term and long-term needs in water utilities. *Utilities Policy*, *96*. https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.102036
3. CHAUHAN, A., MEHTA, P., & SRIVASTAV, A. L. (2025). Enhancing water quality management through artificial intelligence and machine learning technologies. In *Computational Automation for Water Security: Enhancing Water Quality Management* (pp. 69–88). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33321-7.00022-6
4. DICARLO, M., BERGLUND, E. Z., KAZA, N., GRIESHOP, A., SHEALY, L., & BEHR, A. (2023). Customer complaint management and smart technology adoption by community water systems. *Utilities Policy*, *80*. https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101465
5. ECCLES, R. G., IOANNOU, I., & SERAFEIM, G. (2014). The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes and Performance. *Management Science*, *60*(11), 2835–2857.
6. EXPÓSITO, A., & DÍEZ CEBOLLERO, E. (2025). How the digital revolution is reshaping water management and policy: A focus on Spain. *Utilities Policy*, *96*. https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.102020
7. FAROOQ, M. B., NAVEED, K., KHALID, F., NARAYAN, A. K., & KHUDIR, I. M. (2025). Examining the extent and quality of corporate water management disclosures in extremely high-water stress countries. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, *16*(3), 705–735. https://doi.org/10.1108/SAMPJ-01-2024-0054
8. GÜMÜŞ, D., ALVER, A., & AKBAL, F. (2026). Development of a digital twin framework for hybrid adsorption-ultrafiltration systems in drinking water treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, *205*, 108182. https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.108182
9. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA); INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO (IAS). Cinco anos da mudança no Marco Legal do Saneamento Básico: perspectivas da universalização? Brasília: Ipea; São Paulo: IAS, 2026.

10. JIA, Y., CUI, L., SU, J., WU, L., AKTER, S., & KUMAR, A. (2024). Digital servitization in digital enterprise: Leveraging digital platform capabilities to unlock data value. *International Journal of Production Economics*, *278*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109434

11. JICA & BOSTON CONSULTING GROUP. (2025). *Digital Transformation for Growing Water Utilities: Bringing Safe and Reliable Water to All*.

12. KURNIAWAN, T. A., MOHYUDDIN, A., CASILA, J. C. C., SARANGI, P. K., AL-HAZMI, H., WIBISONO, Y., KUSWORO, T. D., KHAN, M. M. H., & HADDOUT, S. (2024). Digitalization for sustainable wastewater treatment: a way forward for promoting the UN SDG#6 'clean water and sanitation' towards carbon neutrality goals. *Discover Water*, *4*(1). https://doi.org/10.1007/s43832-024-00134-5

13. LI, T. T., WANG, K., SUEYOSHI, T., & WANG, D. D. (2021). Esg: Research progress and future prospects. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(21). https://doi.org/10.3390/su132111663

14. MALLICK, R., & PODDAR, S. (2025). Future directions in water quality management: integrating advanced technologies and sustainable practices. In *Computational Automation for Water Security: Enhancing Water Quality Management* (pp. 215–227). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33321-7.00020-2

15. NAÇÕES UNIDAS BRASIL. (2025). *Relatório Anual 2024*. https://brasil.un.org/sites/default/files/2025-04/RelatorioAnualONUBrasil2024.pdf

16. PANT, M., & SINGH, J. (2025). Integrating AI, machine learning, and nanotechnology: shaping the future of water quality management. In *Computational Automation for Water Security: Enhancing Water Quality Management* (pp. 111–134). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-33321-7.00006-8

17. PARRA-LÓPEZ, C., BEN ABDALLAH, S., GARCIA-GARCIA, G., HASSOUN, A., TROLLMAN, H., JAGTAP, S., GUPTA, S., AÏT-KADDOUR, A., MAKMUANG, S., & CARMONA-TORRES, C. (2025). Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future outlook. In *Agricultural Water Management* (Vol. 309). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109347

18. PINCH, T. J., & BIJKER, W. E. (1984). The social construction of facts and artefacts: or How the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. Social studies of science, 14(3), 399-441. https://doi.org/10.1177/030631284014003004

19. SANDERS, K. T., & MASRI, S. F. (2016). The energy-water agriculture nexus: The past, present and future of holistic resource management via remote sensing technologies. *Journal of Cleaner Production*, *117*, 73–88. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.034

20. SHARMA, M., GUPTA, V., & GUPTA, D. (2023). Advancement in technologies of water management in rural areas. In *Water Resources Management for Rural Development: Challenges and Mitigation* (pp. 117–126). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.00019-2

21. SHARMA, R., & GUPTA, H. (2024). Leveraging cognitive digital twins in industry 5.0 for achieving sustainable development goal 9: An exploration of inclusive and sustainable industrialization strategies. *Journal of Cleaner Production*, *448*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141364

22. SINGH, S., NITIMA, R., GYANENDRA, M., VIMAL, K., & EDITORS, G. (2025). *Water Informatics for Water Resource Management Unleashing the Power of Blockchain and IoT for Water Informatics*.

23. STOJKOVIC ZLATANOVIC, S., STOJKOVIC, M., & MITKOVIC, M. (2018). Current state and perspective of water management policy in terms of climate change: Case study of the Velika Morava River. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, *10*(5), 796–811. https://doi.org/10.1108/IJCCSM-07-2017-0151

24. VADRUCCIO, R., SALVADORI, G., & TUMINO, A. (2024). Smart metering and Internet of Things for efficient water management. *Procedia Computer Science*, *239*, 1498–1505. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.324

25. WALTER, C. (2024). Digital Technologies for the Future of the Water Sector? Examining the Discourse on Digital Water. *Geoforum*, *148*. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2023.103918

26. WU, Z. Y., CHEW, A., MENG, X., CAI, J., POK, J., KALFARISI, R., LAI, K. C., HEW, S. F., & WONG, J. J. (2023). High Fidelity Digital Twin-Based Anomaly Detection and Localization for Smart Water Grid Operation Management. *Sustainable Cities and Society*, *91*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104446

27. ZHANG, L., & TANG, Q. (2019). Corporate water management systems and incentives to self-discipline. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, *10*(3), 592–616. https://doi.org/10.1108/SAMPJ-09-2018-0258

28. BEGER, C.; YI, R.; FU, S.; DENTON, K.; MOSKVICHEV, A.; TSAI, S. W.; RAJAMANICKAM, S.; MITCHELL, M. (2025). Do AI Models Perform Human-like Abstract Reasoning Across Modalities?. https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.02125

29. SIDDIK, M. A. B., SHEHABI, A., & MARSTON, L. (2021). The environmental footprint of data centers in the United States. *Environmental Research Letters*, 16(6), 064017. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfba1

30. LI, P., YANG, J., ISLAM, M. A., & REN, S. (2023). Making AI Less "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.03271