



INTEGRAÇÃO DE GÉMEOS DIGITAIS NO SISTEMA DE INFORMAÇÃO FLUVIAL DO DOURO

Filipe Martins

Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL)

filipe.martins@apdl.pt

Resumo

A operação da via navegável do Douro, com os seus mais de 200 km navegáveis em Portugal, envolve uma complexa rede de infraestruturas críticas — eclusas, barragens, pontes, cais e sistemas de apoio à navegação — geridas por diversas entidades com responsabilidades distintas. Esta realidade coloca desafios significativos à coordenação operacional, sobretudo em contextos de perturbação, como eventos meteorológicos extremos ou intervenções de manutenção não coordenadas.

Neste enquadramento, a integração de gémeos digitais no Sistema de Informação Fluvial (RIS) surge como uma solução inovadora, capaz de oferecer uma visão operacional partilhada e em tempo real sobre o estado da infraestrutura e das condições de navegabilidade. Cada entidade (como a EDP nas barragens, a Infraestruturas de Portugal nas pontes, e a APA na monitorização ambiental) mantém o seu próprio gémeo digital, partilhando dados críticos com a plataforma RIS através de interfaces normalizados e seguros. Este modelo federado permite preservar a autonomia institucional e, ao mesmo tempo, fomentar a interoperabilidade e a confiança entre os diversos intervenientes.

A arquitetura proposta permite a integração de dados dinâmicos, como os níveis de água, o estado de funcionamento das eclusas, intervenções em curso ou alertas de erosão, e suporta um conjunto de funcionalidades avançadas. Estas incluem a deteção antecipada de constrangimentos à navegação, a emissão de alertas preditivos baseados em modelos de degradação, a recomendação de velocidades adaptadas com o objetivo de mitigar os impactos nas margens do rio, bem como a articulação operacional entre as necessidades de navegação e os ciclos de produção hidroelétrica, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos disponíveis.

Este novo modelo de RIS, centrado em gémeos digitais interoperáveis, transforma o sistema de uma plataforma de informação estática num verdadeiro centro de coordenação digital. Alinha-se com os objetivos da nova Diretiva RIS, do Pacto Ecológico Europeu e da Estratégia Europeia de Dados, e é escalável a outras vias navegáveis interiores com realidades operacionais similares. O caso do Douro representa um piloto robusto para testar esta abordagem integrada e colaborativa, com forte potencial de replicação e adaptação a outras geografias.

Os resultados preliminares evidenciam melhorias na previsibilidade, na segurança da navegação e na resiliência face a eventos disruptivos, reforçando o papel dos sistemas de informação fluvial como instrumento central da transição digital e ecológica do setor portuário e das vias navegáveis interiores.

Introdução

Os Serviços de Informação Fluvial (River Information Services – RIS) constituem um instrumento fundamental para a gestão da navegação e da infraestrutura associada às vias navegáveis interiores na União Europeia. Criados para melhorar a segurança, a eficiência operacional e a interoperabilidade transfronteiriça, os RIS têm vindo a evoluir de sistemas essencialmente orientados à troca de informação entre embarcações e autoridades, para plataformas mais abrangentes de apoio à gestão integrada do tráfego e da infraestrutura (CESNI, 2023; UNECE, 2022).



A nova Diretiva RIS (2024/2846/UE) introduz uma visão reforçada de integração de dados, interoperabilidade e alinhamento com a Estratégia Europeia de Dados, enquadrando os RIS como elementos centrais da transição digital e ecológica do transporte fluvial (EPRS, 2024; Conselho da UE, 2024). Neste contexto, torna-se essencial explorar abordagens inovadoras que permitam ampliar as capacidades dos RIS, incorporando dados em tempo real e novas funcionalidades de análise preditiva e coordenação operacional.

Uma dessas abordagens é a integração de gémeos digitais — modelos virtuais dinâmicos que representam, de forma sincronizada, infraestruturas físicas, sistemas de apoio e condições ambientais. A aplicação de gémeos digitais às vias navegáveis interiores oferece vantagens significativas: aumenta a previsibilidade operacional, apoia a gestão da resiliência face a eventos disruptivos (como cheias ou falhas de infraestrutura) e promove a sustentabilidade, permitindo otimizar a articulação entre navegação e outros usos da água, como a produção hidroelétrica (CDBB, 2018; PIANC WG264, 2023; PIANC WG257, 2025).

O rio Douro constitui um caso particularmente relevante para testar esta abordagem. A sua gestão envolve múltiplas entidades com responsabilidades distintas — como a APDL enquanto autoridade da via navegável, a EDP nas barragens, a Infraestruturas de Portugal nas pontes e a APA na monitorização ambiental. Esta diversidade institucional torna o Douro um laboratório natural para validar modelos federados de partilha de dados, em que cada entidade mantém o seu próprio gémeo digital, mas partilha informação crítica através do RIS de forma segura, normalizada e interoperável.

O presente artigo apresenta o conceito de evolução do RIS do Douro através da integração de gémeos digitais e da introdução de uma abordagem orientada ao asset management de infraestruturas críticas para a navegação. Esta visão, iniciada no âmbito do projeto europeu ReNEW, encontra-se em fase de desenvolvimento e visa reforçar a coordenação operacional entre entidades, promover a interoperabilidade de dados e aumentar a resiliência da via navegável. Para além do contributo imediato para o Douro, esta abordagem pretende constituir-se como modelo replicável para outras vias navegáveis interiores com desafios institucionais e técnicos semelhantes (Mulligan et al., 2024).

Metodologia

A metodologia seguida para o desenvolvimento do conceito de integração de gémeos digitais no Sistema de Informação Fluvial (RIS) do Douro assenta em três princípios fundamentais: modelo federado de partilha de dados, interoperabilidade técnica e orientação para o asset management.

Modelo federado de partilha de dados

Reconhecendo que as várias entidades que operam no Douro — APDL, EDP, Infraestruturas de Portugal, APA, entre outras — possuem sistemas próprios de monitorização e gestão, o modelo adotado parte do princípio da autonomia institucional. Cada entidade mantém o controlo do seu próprio gémeo digital, representando os ativos sob a sua responsabilidade (eclusas, barragens, pontes, estações ambientais, cais, etc.). A integração faz-se através da partilha seletiva de dados críticos com a plataforma RIS, mediante interfaces normalizados e seguros. Esta abordagem federada garante confiança entre os intervenientes e evita duplicação de sistemas (RIS COMEX, 2022).

Interoperabilidade técnica

Para assegurar a integração entre sistemas heterogéneos, a arquitetura proposta apoia-se em normas abertas e protocolos interoperáveis, em linha com as orientações da Diretiva RIS e da Estratégia Europeia de Dados. A partilha de informação decorre através de APIs padronizadas, permitindo a troca de dados em tempo quase real sobre variáveis como níveis hidrológicos, estado de funcionamento das eclusas, restrições à navegabilidade, intervenções de manutenção em curso ou alertas de erosão (UNECE, 2022; CESNI, 2023).



Enfoque na gestão de ativos críticos para a navegação

Um elemento diferenciador deste conceito é a incorporação de uma perspetiva sistemática de gestão de ativos críticos. Os gémeos digitais não se limitam a representar o estado atual da infraestrutura, mas integram também modelos preditivos de degradação, informação histórica e planos de manutenção, em linha com as orientações da ISO 55000 sobre gestão de ativos (ISO, 2014). Desta forma, o RIS deixa de ser apenas uma plataforma de informação para se tornar num instrumento de planeamento e coordenação, permitindo antecipar falhas, otimizar intervenções e articular necessidades de navegação com a operação hidroelétrica.

Iteração no âmbito do ReNEW

O desenvolvimento deste conceito foi iniciado no âmbito do projeto europeu ReNEW, no qual o Douro serviu de Living Lab para testar novas soluções digitais de monitorização ambiental e coordenação da navegabilidade. A experiência adquirida no ReNEW constitui a base para a presente evolução, agora centrada na expansão para gémeos digitais interoperáveis e na integração de funcionalidades de asset management.

Resultados e Discussão

Os resultados preliminares da abordagem desenvolvida apontam para ganhos significativos na previsibilidade operacional, na segurança da navegação, no controlo da erosão das margens e na resiliência da infraestrutura face a eventos disruptivos. Embora ainda numa fase conceptual e de discussão com os vários stakeholders, a evolução do RIS do Douro com base em gémeos digitais interoperáveis e orientados ao asset management evidencia várias mais-valias.

Em primeiro lugar, a integração de modelos dinâmicos permite antecipar constrangimentos à navegabilidade. A análise preditiva baseada em dados de níveis de água, estados de eclusas e previsões meteorológicas pode gerar alertas antecipados sobre riscos de inundações, secas ou congestionamentos operacionais. Esta capacidade de antecipação constitui um avanço face aos sistemas tradicionais, que operam maioritariamente de forma reativa.

Em segundo lugar, a partilha federada de informação entre entidades promove uma visão operacional partilhada, reduzindo a fragmentação institucional. O acesso comum a dados críticos, em tempo quase real, permite alinhar a operação de barragens, pontes e eclusas com as necessidades de navegação, melhorando a coordenação interinstitucional. Esta dimensão colaborativa é essencial para reforçar a confiança entre os intervenientes e para aumentar a transparência perante os utilizadores da via navegável.

Em terceiro lugar, a incorporação de funcionalidades de asset management oferece um contributo relevante para a gestão sustentável da infraestrutura. Importa sublinhar que cada entidade mantém todo o controlo sobre os seus planos de manutenção preventiva e corretiva, assegurando a autonomia institucional. O que se prevê é a disponibilização, através do RIS, de uma visibilidade partilhada sobre o estado dos ativos e sobre a execução (ou não) dos planos de manutenção, de forma a agilizar a circulação de informação e a aumentar a previsibilidade para os operadores de navegação. Esta transparência operacional contribui para reduzir impactos de intervenções não coordenadas, evitar constrangimentos imprevistos e melhorar a fluidez da navegação.

Por fim, o enquadramento europeu reforça a pertinência da abordagem. O conceito desenvolvido para o Douro alinha-se com a nova Diretiva RIS (2024/2846/UE), com a Estratégia Europeia de Dados e com os objetivos do Pacto Ecológico Europeu, constituindo-se como uma referência para futuras evoluções dos sistemas de informação fluvial na Europa. A escalabilidade do modelo a outras vias navegáveis interiores, como o Reno ou o Danúbio, representa um potencial relevante para a harmonização de práticas e a replicação de soluções digitais interoperáveis.



Conclusões

A integração de gémeos digitais no RIS Douro representa um passo decisivo na evolução destes sistemas para além da função tradicional de partilha de informação. A abordagem proposta, de natureza federada e baseada em normas abertas, demonstra o potencial de reforçar a previsibilidade, a resiliência e a sustentabilidade da operação da via navegável, sem comprometer a autonomia das entidades responsáveis pelos diferentes ativos.

Os resultados conceptuais obtidos até ao momento evidenciam ganhos claros: maior capacidade de antecipação de constrangimentos à navegação, melhoria da coordenação interinstitucional e reforço da confiança através da disponibilização de informação crítica em tempo quase real. A incorporação de funcionalidades de asset management acrescenta ainda uma dimensão de transparência e previsibilidade, assegurando que o estado das infraestruturas e os planos de manutenção são considerados de forma integrada na gestão da navegabilidade.

Este conceito, desenvolvido a partir da experiência do projeto europeu ReNEW, encontra-se em fase de concepção e abre caminho a uma nova geração de RIS, mais colaborativos e orientados à gestão integrada de ativos críticos. Para além do Douro, o modelo apresenta forte potencial de replicação em outras vias navegáveis europeias com desafios institucionais semelhantes, contribuindo para a implementação prática da nova Diretiva RIS e para os objetivos do Pacto Ecológico Europeu.

Referências Bibliográficas

- CDBB – Centre for Digital Built Britain, (2018). “The Gemini Principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework”. University of Cambridge. Disponível em: <https://www.cdbb.cam.ac.uk> [acedido em setembro de 2025].
- CESNI – European Committee for drawing up standards in the field of inland navigation (2023). “European Standard for River Information Services (ES-RIS)”. Strasbourg: CESNI Secretariat.
- Conselho da União Europeia, (2024). “Directive (EU) 2024/2846 on River Information Services – Position of the Council. Brussels: Council of the EU”.
- EPRS – European Parliamentary Research Service, (2024). “Revision of the River Information Services (RIS) Directive. Brussels: European Parliament”.
- ISO, (2014). “ISO 55000: Asset management – Overview, principles and terminology. International Organization for Standardization”. Geneva.
- Mulligan, C., Morsfield, S., e Cheikosman, E. (2024). “Blockchain for sustainability: A systematic literature review”. *Marine Policy*, 160, 105908. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.105908>
- PIANC InCom WG264, (2023). “Digitalisation of Hydraulic Structures – Terms of Reference”. Brussels: PIANC.
- PIANC InCom WG257 (2025). “Digital Twin Technology in Inland Waterways – Terms of Reference”. Brussels: PIANC.
- ReNEW Consortium (2025). “Deliverable D4.11 – Living Lab 2: Douro River Waterway”. Horizon Europe Project 101069682.
- RIS COMEX (2022). “Final Project Results and EuRIS Platform. Brussels: CEF Transport Programme.
- UNECE – United Nations Economic Commission for Europe, (2022). “Notices to Skippers (NtS) and Inland ENC Standards for River Information Services”. Geneva: UNECE Transport Division.