



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

NOVAS TECNOLOGIAS NA MONITORIZAÇÃO E GESTÃO DE SISTEMAS AQUÁTICOS: DIGITALIZAÇÃO E ROBÓTICA DE ENXAME

A. Bio, I. Iglesias, R. Ozorio, F. Arenas, R. Rocha, G. Ferreira, M. Couceiro

Índice

- Enquadramento
- Desafios
- Soluções propostas
- Conclusão

Enquadramento

Zonas costeiras e estuarinas combinam atividades económicas estratégicas, relevância ambiental e social

São sistema aquáticos complexos que sofrem fortes pressões o que coloca desafios à sua gestão, que visa **compatibilizar eficiência, competitividade e sustentabilidade na Economia Azul**



Enquadramento

A **transição digital e ambiental da Economia Azul** é essencial para alavancar a sua eficiência, competitividade e sustentabilidade

A **digitalização** envolve

- **sensorização** e recolha de **dados em tempo real**
- processamento com técnicas de **aprendizagem automática** e **inteligência artificial**
- **gémeos digitais** que integram observações e modelos para apoiar decisões preditivas e intervenções mais eficazes.



O projeto REMORA

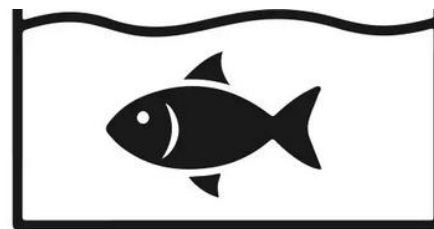
Consórcio



O projeto REMORA

Objetivo principal

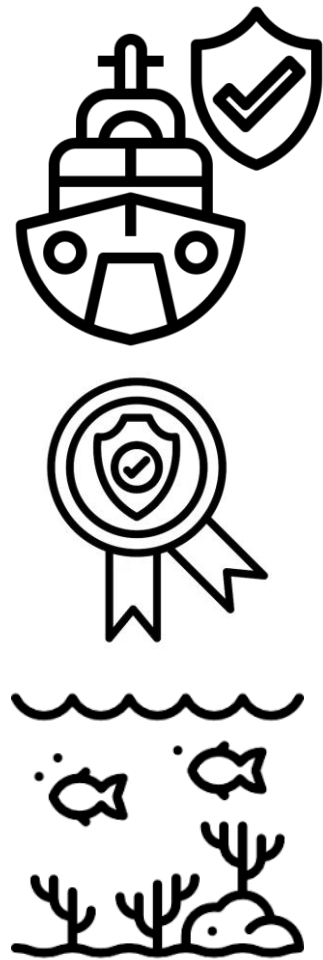
- Transformar a **monitorização e a gestão de ecossistemas aquáticos** através da **combinação de robótica de enxame, inteligência artificial (IA) e gémeos digitais (GD)**
- **Desenvolver um ecossistema de robôs aquáticos autónomos**, com sensores multiparamétricos, para **monitorização e atuação, e para alimentar o GD**
- **Demonstração em contexto real:** Marina do Freixo & piscicultura Marinha Barrigueiras



Desafios: Portos e Marinas

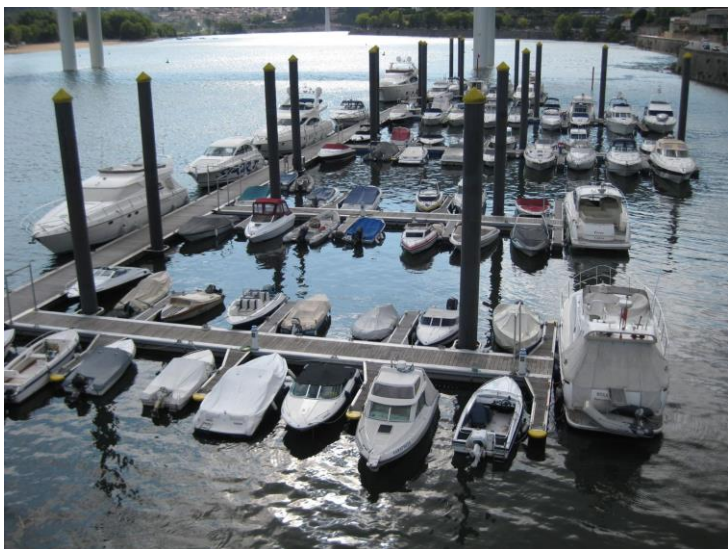
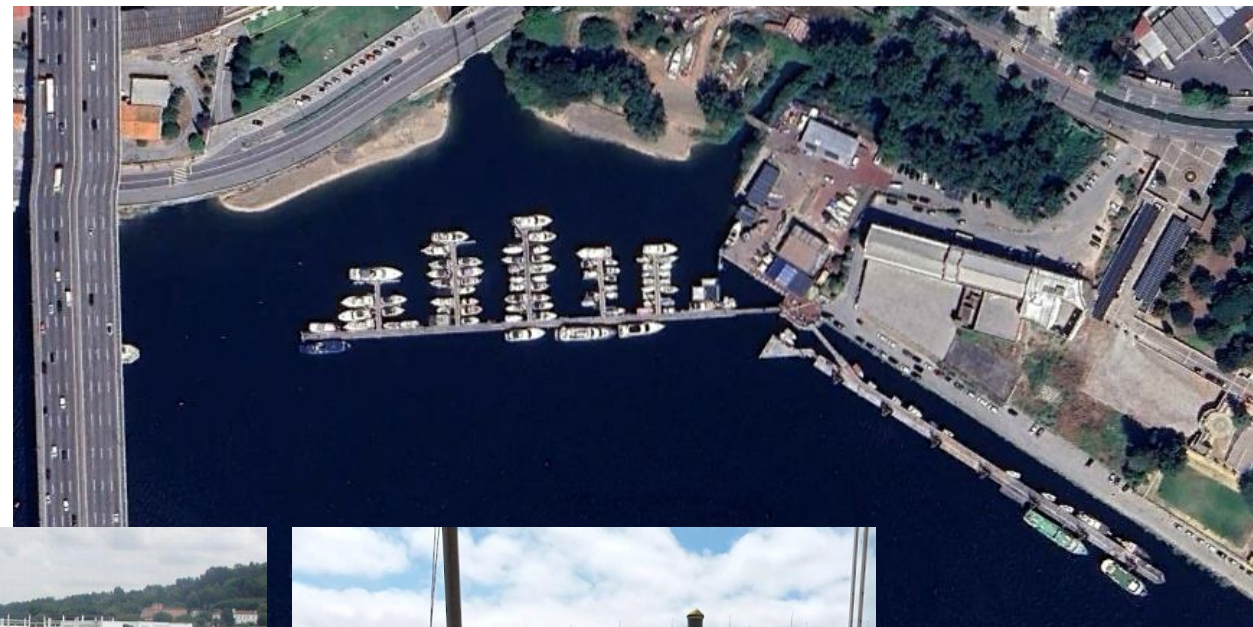
As questões mais relevantes são:

- **Segurança de navegação**, i.e. manutenção de profundidades adequadas
- **Segurança das instalações**, embarcações e equipamento, contra furtos, vandalismo e outros danos
- **Controlo de utilização e boas práticas**, evitar danos e poluição
- **Condições hidrodinâmicas** para manobrabilidade das embarcações
- **Monitorização ambiental**, qualidade de água, ecossistemas, espécies invasoras



Marina do Freixo

- Estuário do Rio Douro, a 9 km da foz
- Lugar para 76 embarcações ≤ 16 m
- Acostagem de embarcações ≤ 100 m
- Rampa, apoio técnico
- Balneários, cafetaria e restaurante



Marina do Freixo: soluções

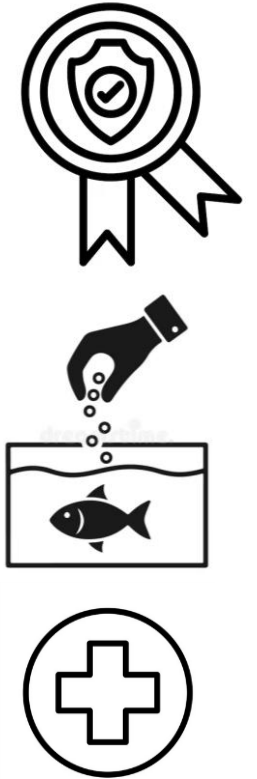
- **Segurança de navegação** ⇒ deteção de **obstáculos** e **batimetria** regular com **sonar**
- **Segurança das instalações** ⇒ **monitorização** das instalações com **câmaras** (coluna de água e superfície) e **sonar**
- Controlo de **utilização e boas práticas**, evitar poluição ⇒ **monitorização** da **qualidade de água** com **sensores**
- **Condições hidrodinâmicas** para manobrabilidade das embarcações ⇒ **monitorização** das condições e do tráfego com **câmaras e sonar**
- **Monitorização ambiental** ⇒ monitorização da **qualidade de água** com **sensores**, observação de **ecossistemas** e **espécies invasoras** com **câmara**



Desafios: Pisciculturas

As questões mais relevantes são:

- **Otimização das condições de cultivo**, i.e. monitorização da qualidade de água, especialmente da oxigenação
- **Otimização da alimentação**, reduzindo custos e desperdício com quantidades e timings adequados
- **Controlo do peixe em cultivo**, com deteção rápida e não-invasiva de doenças e comportamentos de stress, e avaliação do crescimento



Piscicultura: Marinha Barrigueiras

- Ria de Aveiro
- Piscicultura semi-intensiva com ca. 4ha
- Renovação da água usando o ciclo da mare
- Robalo



Piscicultura Marinha Barrigueiras: soluções

- Otimização das **condições de cultivo** $\Rightarrow$ **monitorização da qualidade de água com sensores**, observação de **predadores com câmara**
- Otimização da **alimentação** $\Rightarrow$ **monitorização do comportamento dos peixes** com câmara, durante a alimentação
- **Controlo do peixe em cultivo** $\Rightarrow$ **monitorização do estado físico, do tamanho (crescimento) e do comportamento** dos peixes com **câmara e sonar**



Soluções propostas

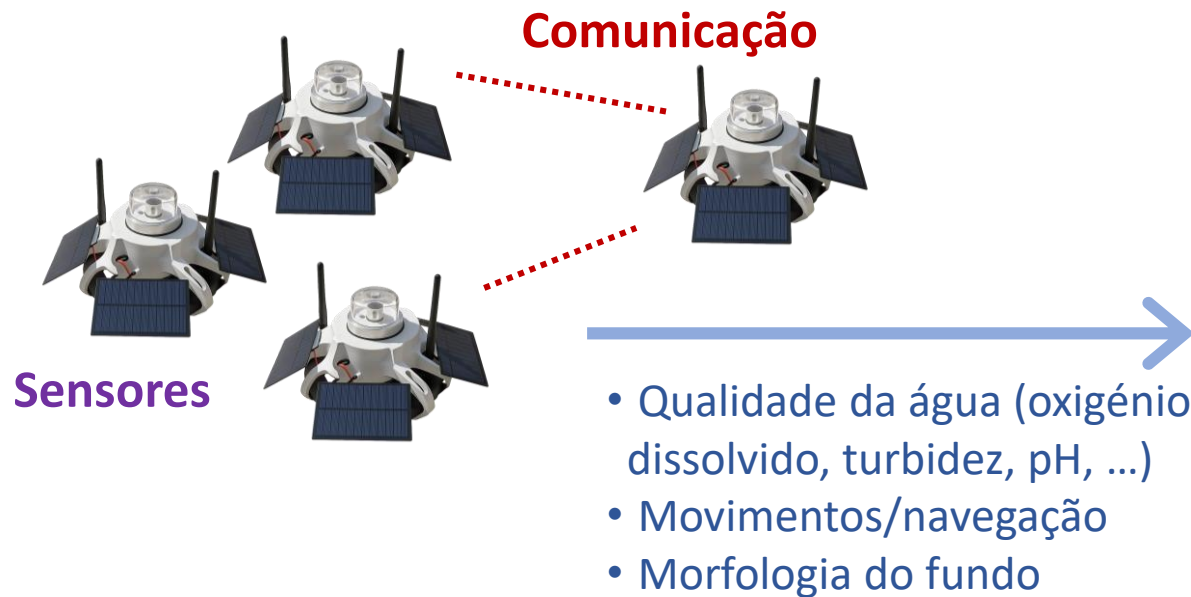
ECHIBOT



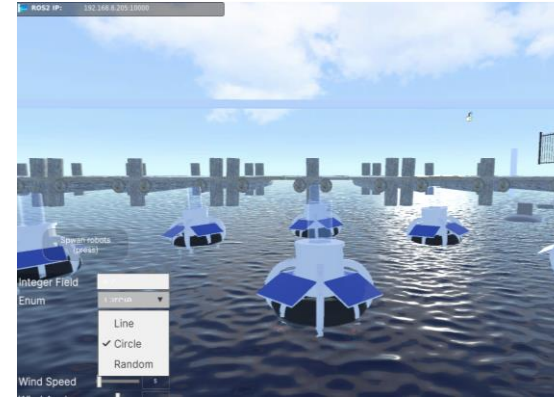
- Navegação e posicionamento, GNSS+RTK, IMU
- Câmera(s)
- Sensorização multiparamétrica configurável:
 - oxigénio dissolvido
 - condutividade
 - pH
 - turbidez
 - clorofila-a
 - temperatura
 - CO₂ dissolvido
 - sonar
- Comunicação (MANET) WiFi
- Comportamentos de enxame
 - cobertura
 - amostragem adaptativa
 - dispersão/agregação
 - preservação da conectividade

Soluções propostas

Enxame de ECHIBOTs

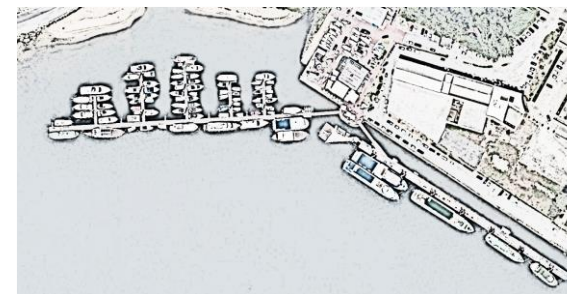


GD do enxame de robôs



Física de corpos
Física de flutuação
Ondas
Vento
Controlo

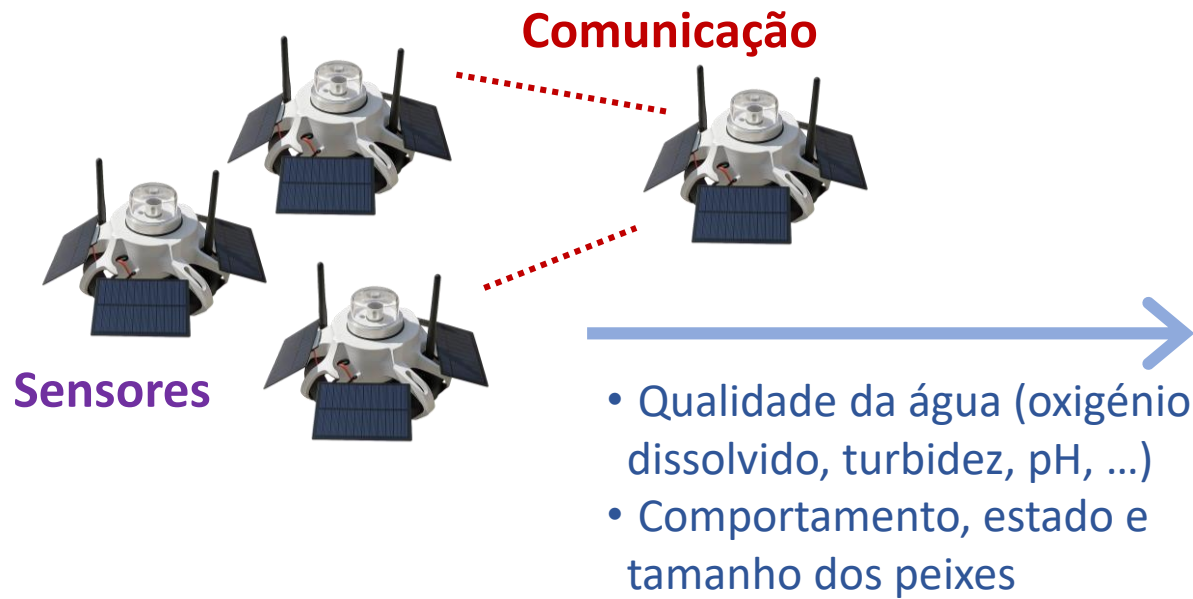
GD da marina



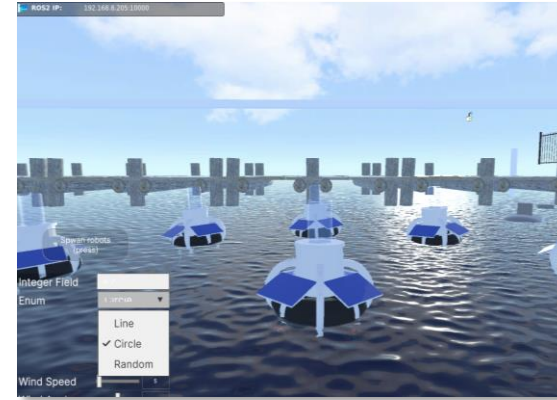
Modelo 3D
Estruturas
Embarcações
Recursos

Soluções propostas

Enxame de ECHIBOTs

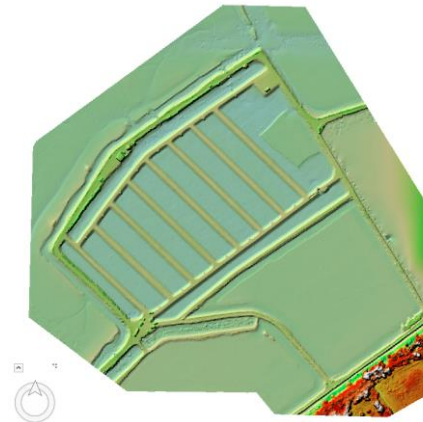


GD do enxame de robôs



Física de corpos
Física de flutuação
Ondas
Vento
Controlo

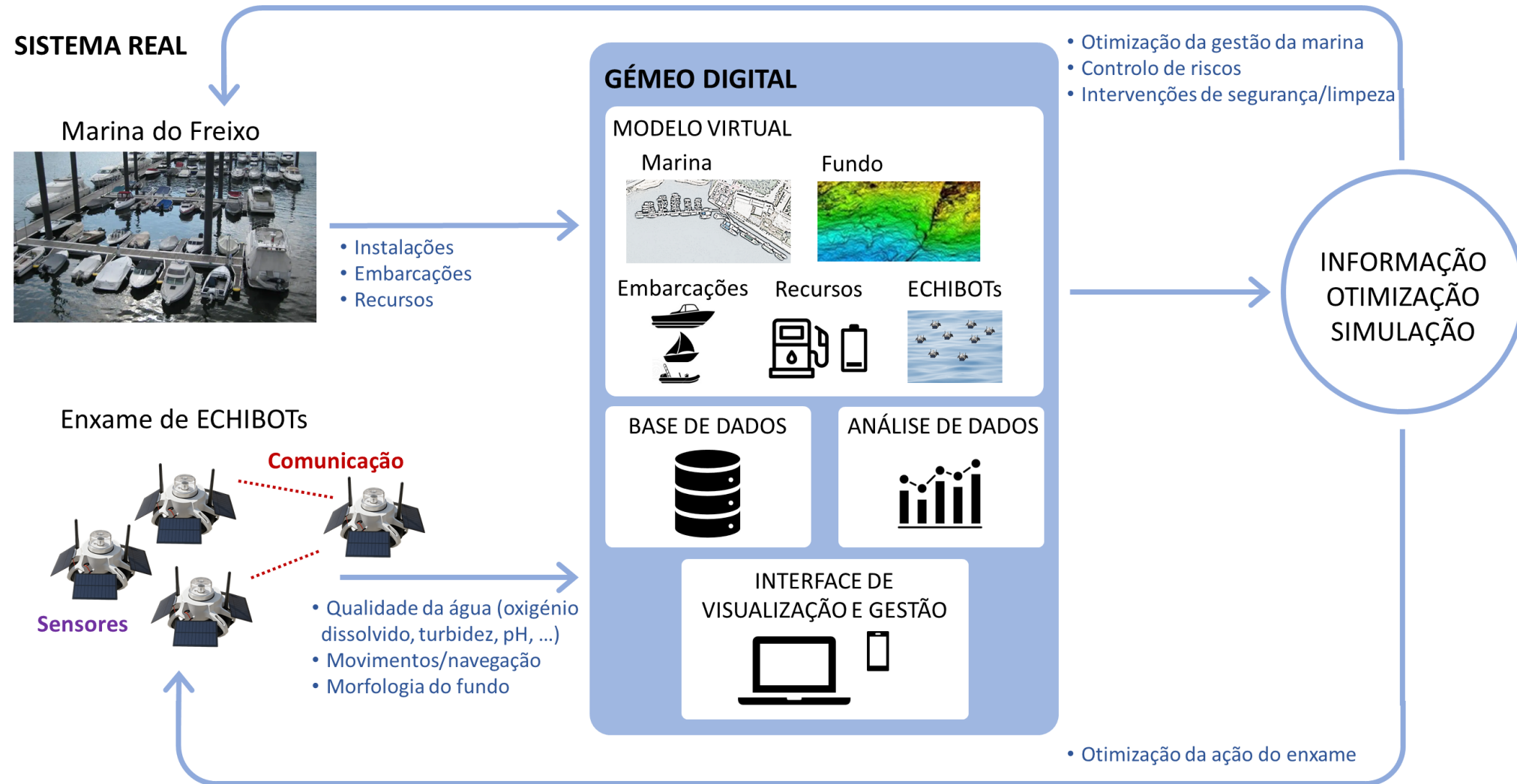
GD da piscicultura



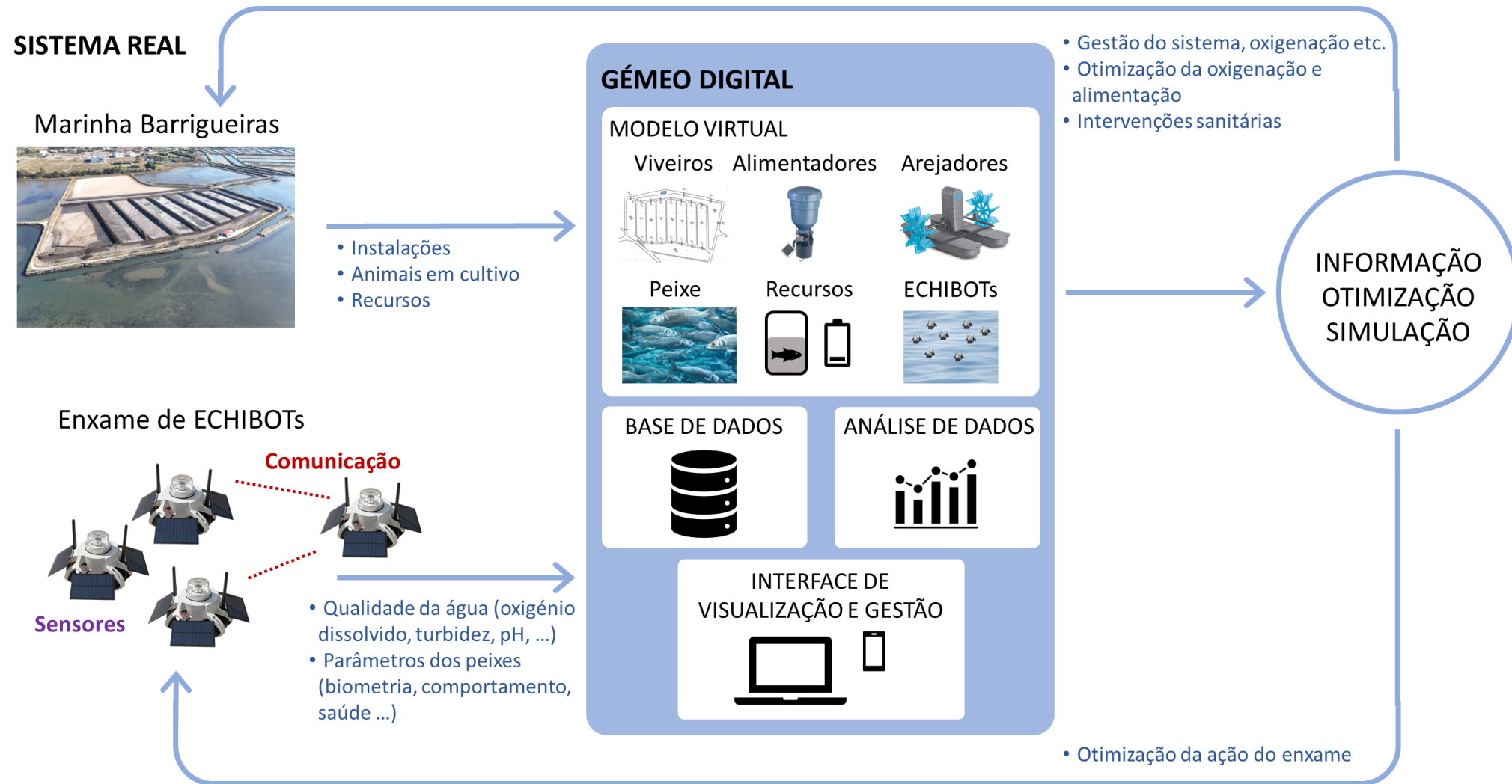
Modelo 3D das instalações
Animais em cultivo



Soluções propostas



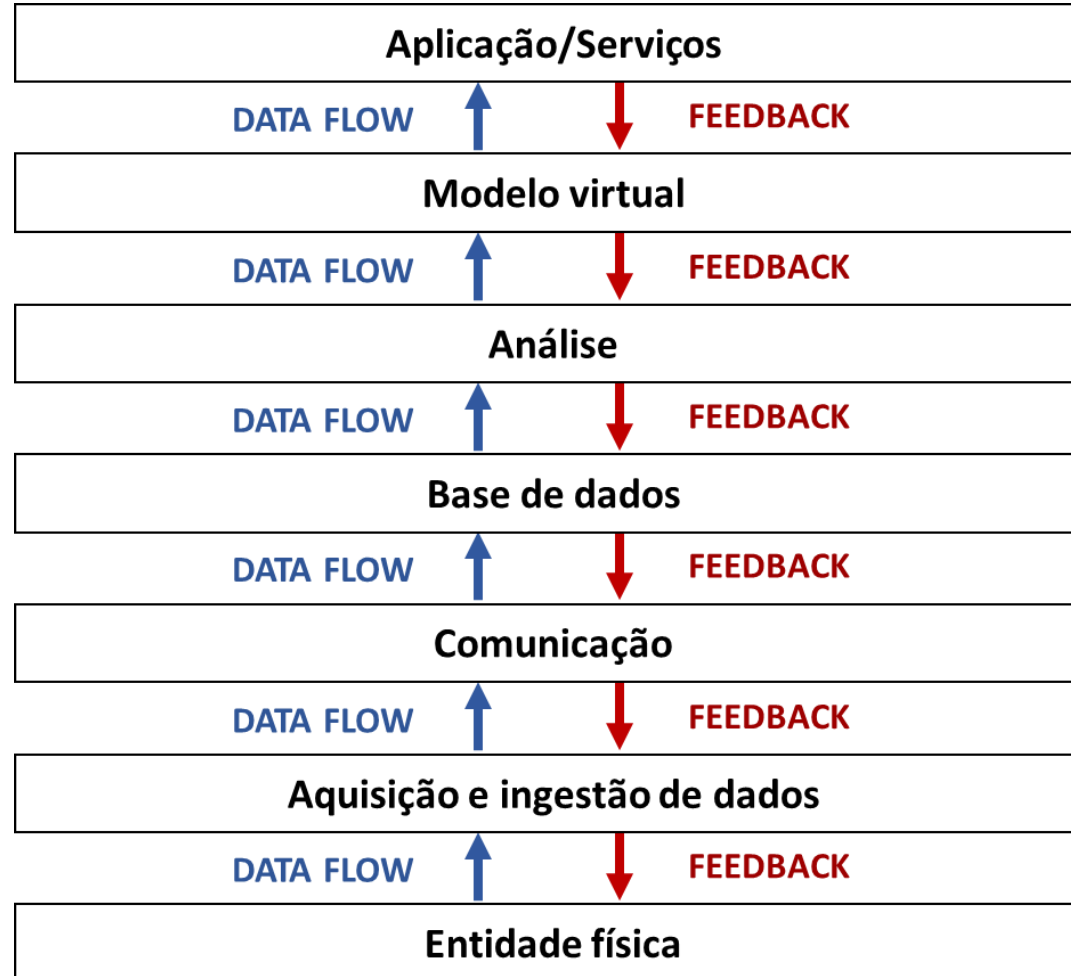
Soluções propostas



Gémeo digital

- Constitui a **camada agregadora** que **integra, em tempo real a informação proveniente dos robôs e do sistema aquático**, permitindo uma **representação operacional unificada do ambiente monitorizado e do estado da missão**.
- A sua **operacionalização** assenta na **ingestão de leituras e imagens**, com **sincronização entre os dados e a cena digital**, de forma a atualizar a representação do sistema e disponibilizar ao operador uma perceção macroscópica do enxame e do ecossistema.
- Deve servir não só para a **visualização**, mas também como **base para sincronização de dados, análise espacial e temporal, avaliação de cenários e análise preditiva**.

Gémeo digital – Arquitetura



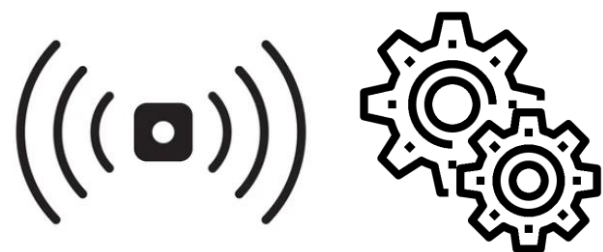
Gémeo digital



Entidade física

- Instalações da marina/piscicultura
- Enxame de robôs ECHIBOTs com sensores; outros sensores
- Sistemas de comunicação e conectividade

Gémeo digital



Comunicação

- Transmissão de dados brutos ou pré-processados, convertidos em informação
- Comunicação sem fio

DATA FLOW



FEEDBACK

Aquisição e ingestão de dados

- Medições; gravações
- Pré-processamento local (filtragem, agregação)
- Pipelines de ingestão de dados

DATA FLOW



FEEDBACK

Entidade física

- Instalações da marina/piscicultura
- Enxame de robôs ECHIBOTs com sensores; outros sensores



Gémeo digital



Base de dados

- Dados obtidos pelos sensores
- Dados históricos, séries temporais
- Dados externos, operacionais, e.g. marés, clima
- Metadados, modelos, relações entre parâmetros, configurações

DATA FLOW



FEEDBACK

Comunicação

- Transmissão de dados brutos ou pré-processados, convertidos em informação
- Comunicação sem fio

DATA FLOW



FEEDBACK

Aquisição e ingestão de dados

- Medições; gravações
- Pré-processamento local (filtragem, agregação)



Gémeo digital



- Análise das medições/gravações/informação obtida em tempo real
- Modelos baseados em dados históricos e atuais
- Treino do GD
- Otimização da gestão
- Simulação de intervenções (na qualidade da água, na gestão da marina/piscicultura)

DATA FLOW



FEEDBACK

Base de dados

- Dados obtidos pelos sensores
- Dados históricos, séries temporais
- Dados externos, operacionais, e.g. marés, clima
- Metadados, modelos, relações entre parâmetros, configurações

DATA FLOW



FEEDBACK

Comunicação

- Transmissão de dados brutos ou pré-processados, convertidos em informação



Gémeo digital



- Plataformas de sensoriamento – ECHIBOTs, sensores
- Parâmetros de estado – nível e qualidade da água, morfologia do fundo, recursos (combustível, água potável)
- Representação de processos – movimento e acostagem de barcos
- Sincronização em tempo real

DATA FLOW



FEEDBACK

Análise

- Análise das medições/gravações/informação obtida em tempo real
- Modelos baseados em dados históricos e atuais
- Treino do GD
- Otimização da gestão
- Simulação de intervenções (na qualidade da água, na gestão da marina/piscicultura)

DATA FLOW



FEEDBACK

Base de dados

- Dados obtidos pelos sensores
- Dados históricos, séries temporais



Gémeo digital



- ⇒ Monitorização e alertas
- ⇒ Gestão preditiva
- ⇒ Simulação de cenários
- Segurança, controlo de acesso, auditoria

DATA FLOW



FEEDBACK

Modelo virtual

- Modelo virtual dos componentes do sistema – cais, acessos, pontos de eletricidade e água, bomba de combustível/tanques, aeradores, peixes
- Plataformas de sensoriamento – ECHIBOTs, sensores
- Parâmetros de estado – nível e qualidade da água, morfologia do fundo, recursos (combustível, água potável)
- Representação de processos – movimento e acostagem de barcos
- Sincronização em tempo real

DATA FLOW



FEEDBACK

Análise

- Análise das medições/gravações/informação obtida em tempo real



Gémeo digital



Aplicação/Serviços

- Interface para o utilizador
- Ferramentas de visualização, controlo, simulação
 - ⇒ Otimização operacional
 - ⇒ Monitorização e alertas
 - ⇒ Gestão preditiva
 - ⇒ Simulação de cenários
- Segurança, controlo de acesso, auditoria

DATA FLOW



FEEDBACK

Modelo virtual



Resumindo

- A **complexidade dos ecossistemas aquáticos** e a **pressão exercida pelas atividades humanas** realça a **necessidade de monitorização contínua** e de **intervenções informadas** dificilmente atingíveis com abordagens convencionais.
- Neste contexto a **digitalização e automação** têm o potencial de **melhorar a eficiência operacional**, reforçar a **sustentabilidade** e apoiar a **tomada de decisão** baseada em dados.
- A **solução que será implementada e validada** para a Marina do Freixo e a piscicultura da Marinha Barrigueiras **combina robótica de enxame, inteligência artificial e gémeos digitais**, visando **otimizar a monitorização e a gestão de marinas/portos e aquiculturas**.



Obrigada

O presente trabalho foi financiado pelo **projeto REMORA** (COMPETE2030-FEDER-01429400), cofinanciado pela Comissão Europeia, através dos programas COMPETE 2030 e Portugal 2030, e por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., e pelo Mecanismo de Recuperação e Resiliência da Comissão Europeia, no âmbito de UID/04423/2025 (doi.org/10.54499/UID/04423/2025), UID/PRR/04423 /2025 (doi.org/10.54499/UID/PRR/04423/2025), e LA/ P/0101/2020 (doi.org/10.54499/LA/P/0101/2020).

