

# PANORAMA DE ROBÓTICA SUBMARINA

---

Alfredo Martins

*Lab. de Sistemas e Tecnologia Subaquática  
Faculdade de Engenharia do Porto  
<http://www.fe.up.pt/~lsts>*

*Laboratório de Sistemas Autónomos  
Instituto Superior de Engenharia do Porto  
<http://www.lsa.isep.ipp.pt>*

---

- **Apresentação**
- **Aplicações**
- **Tecnologia actual**
  - ROVs
  - AUVs
- **Sensores e actuadores**
- **Veículos do LSTS**
- **Projecto IES**
- **Missões realizadas**
- **Alguns filmes**

# Apresentação



Alfredo Manuel Oliveira Martins

Docente no Dep. Eng. Electrotécnica do ISEP

Investigador do Lab. Sistemas Autónomos (LSA) do ISEP

Investigador do Lab. Sistemas e Tecnologia Subaquática (LSTS) da FEUP

Email: [amartins@dee.isep.ipp.pt](mailto:amartins@dee.isep.ipp.pt)

[Http://www.dee.isep.ipp.pt/~amartins](http://www.dee.isep.ipp.pt/~amartins)

Esta apresentação inclui referências ao trabalho e projectos realizados por uma vasta equipa de pessoas:

Fernando Lobo Pereira

João Borges de Sousa

Eduardo Silva

José Miguel Almeida

Nuno Cruz

Anibal Matos

Jorge Estrela

Rui Gomes

Luís Madureira

Patricia Ramos

Sergio Fraga

Marcio Correia

Alexandre Sousa

Ana Cristina Pinto



O Laboratório de Sistemas Autónomos do ISEP é uma unidade multidisciplinar do ISEP, orientada para:

- I &D nas áreas de robótica móvel, sistemas “embedded”, sistemas de tempo real e observação ambiental.
- Acções de formação
- Acções de prestação de serviços



O Lab. Sistemas e Tecnologia Subaquática da FEUP é laboratório de investigação cuja actividade se insere nas áreas de:

- I&D em, Tecnologia Subaquática
- Controlo de Sistemas
- Desenvolvimento e operação de veículos subaquáticos
- Monitorização ambiental

# Cooperação

## Nacional



- Administração dos Portos do Douro e Leixões



- Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar



- Instituto Hidrográfico



- Universidade do Algarve



- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

## Internacional



- University of California at Berkeley, USA



- Woods Hole Oceanographic Institution, MA, USA



- Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA



- Naval Undersea Warfare Center, Newport, RI, USA

- A maior parte da superfície do planeta está coberta de água
- O mar é a última fronteira inexplorada na Terra
- Exploração de recursos submarinos
- Gestão do meio aquático requer informação detalhada e precisa
- Limitações físicas à presença do homem (pouca profundidade e tempos de permanência no meio subaquático).
- Motivação económica, relação desempenho/custo

# Meio Subaquático



- Meio diversificado, desde bacias hidrográficas a planícies abissais no oceano
- Elevada pressão (10m de água correspondem a 1 atmosfera)
- Impossibilidade de comunicações via rádio
- Meio ambiente muitas vezes pouco conhecido
- Condições ambientais adversas (correntes, ondas, cond. metereológicas)
- Vastas areas a explorar ou observação em pontos geográficamente dispersos e de difícil acesso

# Solução possível: robótica



- Vastas superfícies são percorridas por meios automáticos
- Boa relação de custo/desempenho
- Redução riscos de segurança
- Robots podem actuar em ambientes onde a presença do homem é virtualmente impossível (por ex: planícies abissais no oceano ou nucleos de reatores nucleares)



- Observação oceanográfica
- Batimetria
- Inspeção de estruturas
- Arqueologia submarina
- Construção de estruturas submersas
- Apoio a operação a grande profundidade (por ex: exploração petrolífera)

# Tipos de sistemas



- ROVs (veículos operados remotamente)
- AUVs (veículos submarinos autónomos)
- Veículos de arrasto (“TOWFISH”)
- Sistemas fixos (estações de medição, boias oceanográficas estações de docagem para AUVs, redes de navegação acústica)

# Sistemas de apoio à operação

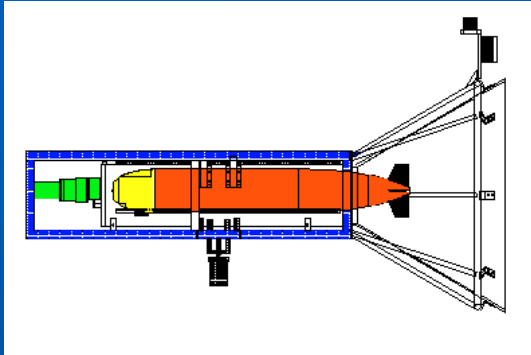


- Navios de investigação e/ou suporte
- Plataformas petrolíferas
- Meios de apoio em estruturas fixas
- Lanchas ou barcos de pequeno porte

# Veículos de Arrasto



- Veículos arrastados por embarcações
- Possuem pouco ou nenhum controlo a bordo
- Constituem “caixas” de transporte de sensores dedicados
- Podem ter ou não ligação eléctrica ao barco propulsor
- Diferentes tipos de sensores



- Grande diversidade de sistemas (desde simples sensores até estações de docagem para AUVs)
- Fixos no fundo ou a boias
- Com ou sem ligação a terra via cabo
- Com comunicação via satélite (por ex. sistemas presos a boias com sistema ARGOS)
- Com ou sem armazenamento de dados local



- Veículos com um cordão umbilical de ligação
- Conduzidos por um piloto em terra ou a bordo de um navio
- Grande variedade de sistemas desde pequenos veículos (<50kg) até sistemas de grande porte (várias toneladas).
- Aplicações: inspeção de estruturas
  - arqueologia submarina
  - trabalhos subaquáticos
  - inspeção de reactores nucleares
- Eléctricos ou hidráulicos

# ROV's de Inspeção



- Relativamente pequeno porte (<200 Kg)
- Geralmente de propulsão eléctrica
- Operados a partir de terra com um guincho ou de pequenas embarcações
- Operação a pequenas profundidades (até 300m)
- Sensores típicos: câmaras e sonares
- Exemplos:
  - ROV IES do LSTS-FEUP
  - Phantom da Deep Ocean Eng.
  - Stingray da Benthos
  - Hydroball da Hydrovision

# ROV's de Intervenção



- Grande porte
- Propulsão hidráulica
- Operados a partir de navio ou plataforma petrolífera
- Operação a grandes profundidades
- Equipados com sistemas de actuação como braços manipuladores, sist. de limpeza, e grande variedade de sensores.
- Exemplos:
  - Venom da Hydrovision
  - Quest da Alstom Schilling
  - MAX da Deep Sea Systems
  - Hercules da Haliburton
  - Triton da Perry Slingsby



# ROV Sistemas de Controlo



- Veículos autónomos geralmente sem comunicação durante a operação.
- A missão é pré-programada
- Aplicações:
  - Oceanografia
  - Batimetria
  - Vigilância e monitorização ambiental
- Propulsão eléctrica
- Formato tipo torpedo ou rectangular (“flatfish”)
- Com sistema computacional a bordo

## Exemplos:

- Isurus do LSTS/FEUP
- Remus do WHOI
- Odissey do MIT
- Huggin da Konsberg Simrad
- Aries da NPS
- OEX da Florida Atlantic Univ.
- Martin da Maridan

# AUV ISURUS



# AUV Aries - NPS



# AUV Autosub - UK



# AUV Odissey - MIT



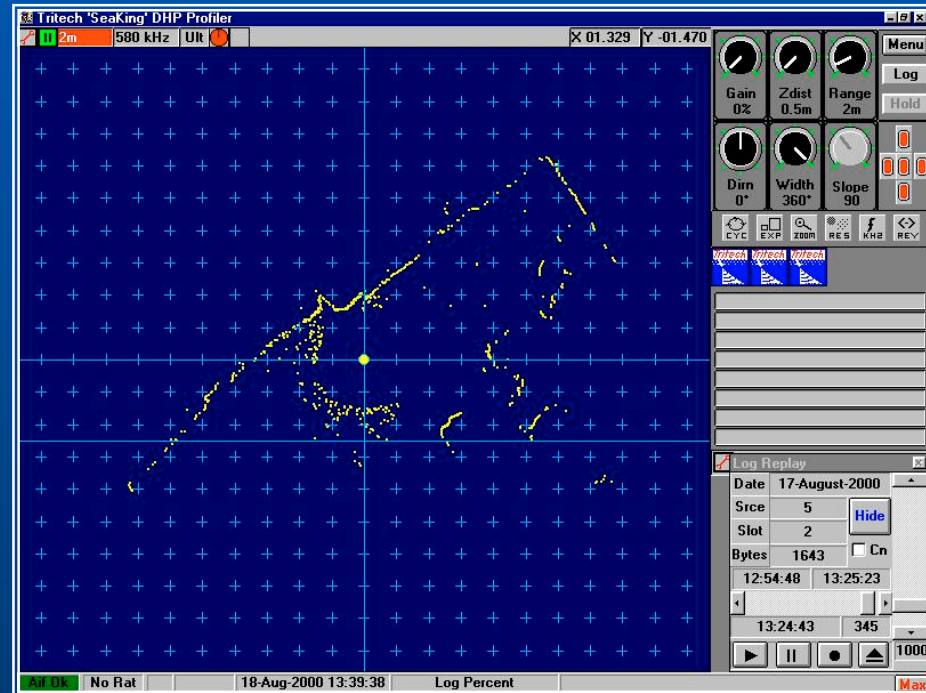
# AUV Maridan



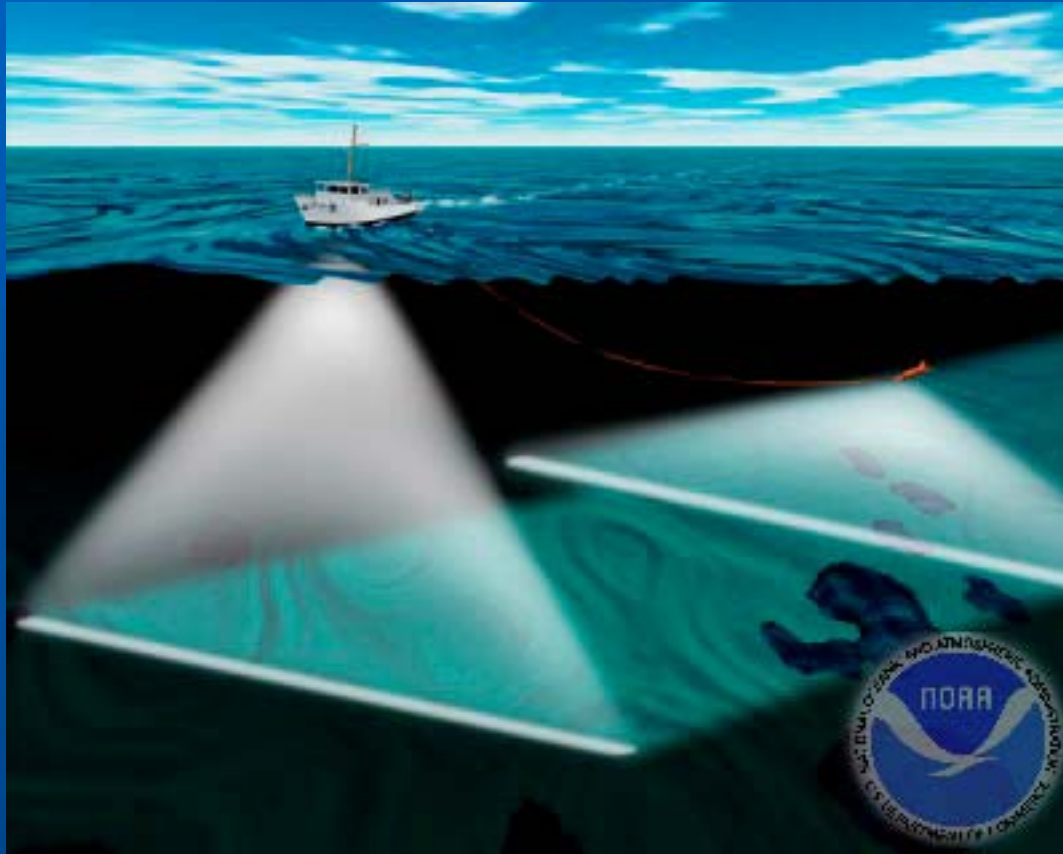
- CTD (“Conductivity, Temperature, Depth”) para medição de condições oceanográficas (salinidade, temperatura etc)
- OBS (“Optical Backscatter”) medição de partículas em suspensão
- Fluorímetros
- Sistemas de recolha de amostras de água
- Sonares de batimetria (altímetros)
- Sonares de inspeção (“profiling”)
- Sonares de visualização (varrimento)



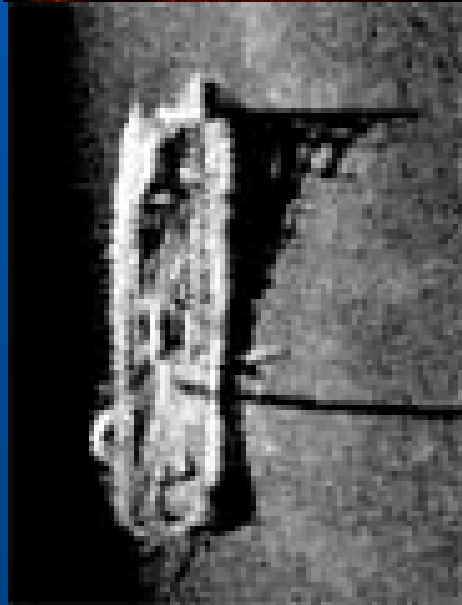
# Sonar Profiler



# Sonar de Varrimento (sidescan)



# Imagens Sonares SideScan



- **Sistemas de propulsão com hélice**
- **Sistemas experimentais com barbatanas (por ex. projecto TUNA do MIT)**
- **Braços manipuladores**
- **Sistemas de lavagem e limpeza (por ex. limpeza de cascos de navios)**
- **Sistemas de recolha de amostras do fundo**
- **Sistemas dedicados a operações específicas**

- **Inexistência de comunicação via rádio**
- **Modems Acústicos**
  - Baixa taxa de transmissão (1200 baud)
  - Problemas de reflexão acústica
  - Funcionam melhor na vertical
  - Relativamente grandes dimensões
  - Elevado consumo de energia
- **Existem casos experimentais de comunicação via laser, mas de aplicação muito limitada**



- **Hodometria a partir da contagem de revoluções do hélice**
- **Sistemas de navegação inercial (acelerómetros e giroscópios)**
- **Medição da velocidade do veículo face à água (ADV, rodas de pás)**
- **Sonares de efeito doppler (velocidade em relação ao fundo)**
- **Sistemas de posicionamento acústico (LBL,USBL)**

# Sonares Efeito de Doppler

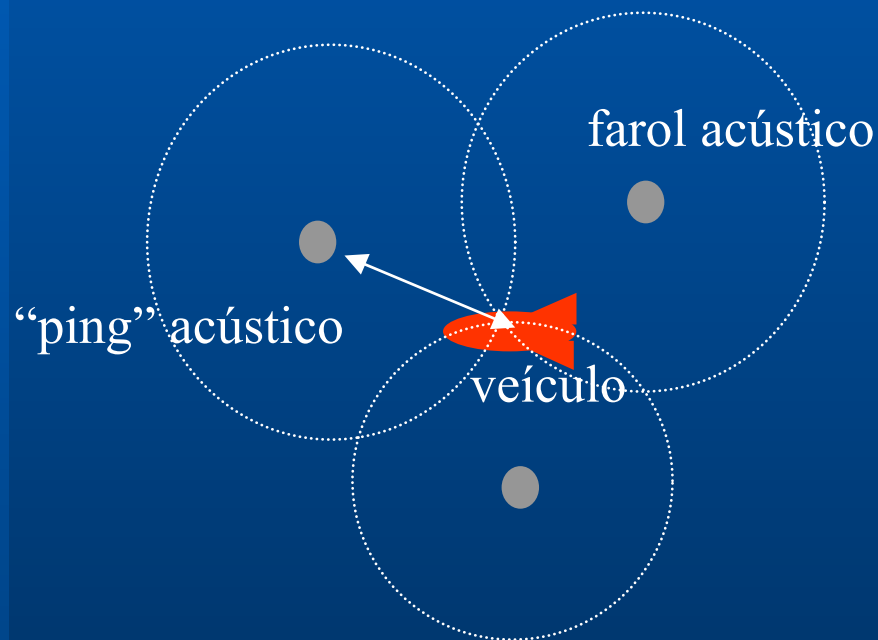


- Utilizam o desvio de frequência nas ondas sonoras para medir velocidade
- Velocidade em relação à água
- Velocidade em relação ao fundo (“bottom tracking”)
- Boa precisão
- Consumo considerável
- Taxas de amostragem na ordem dos 2 Hz
- Sonares de efeito doppler (velocidade em relação ao fundo)

# Navegação LBL

## LBL - “Long BaseLine”

Navegação acústica por triangularização acústica entre o veículo e faróis com posições conhecidas





# Farol multifrequência

**Para navegação de múltiplos veículos**

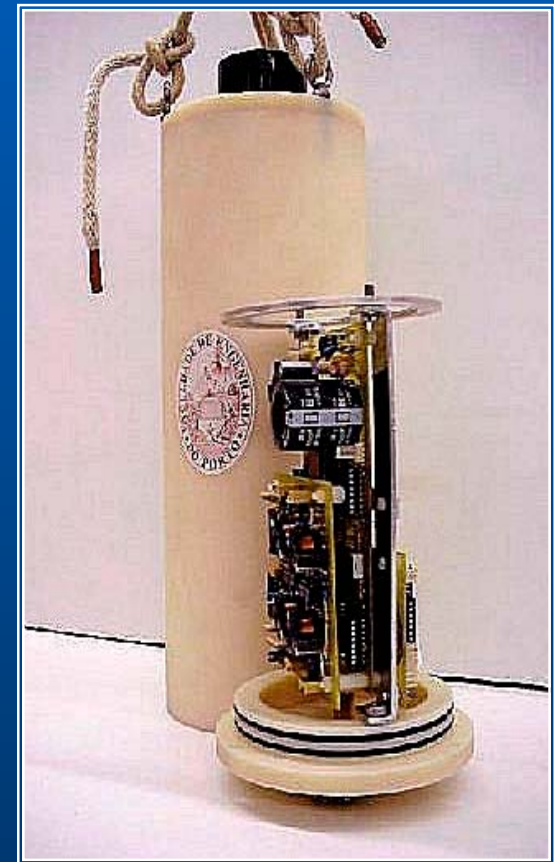
- Receptor e emissor multi-canal
- Programação de pares de frequências

**Sinais de média frequência**

- 20-30 KHz
- Alcance superior a 2 km

**Baterias não recarregáveis**

**Electrónica de baixo custo**



# Boia de Superfície

## Disco de flutuação de baixo custo

- Espuma de poliuretano revestida de fibra de vidro
- Vários diâmetros (0.5 a 3m)

## Caixa à prova de água

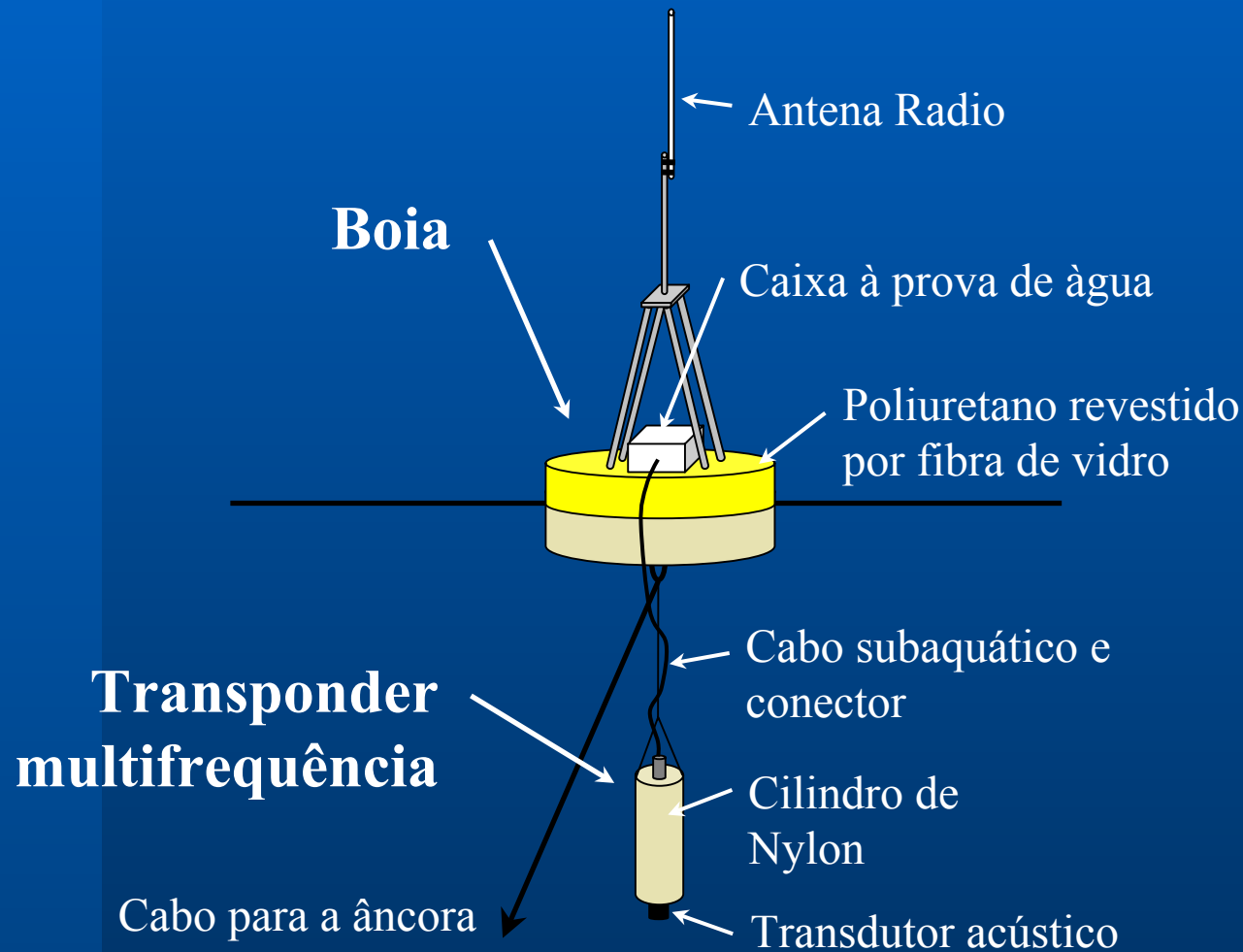
- Modem radio : alcance 20km, 19,200 baud
- Receptor GPS : erro menor que 5 metros

## Estrutura de aço inoxidável

- Montagem da antena
- (painéis solares)

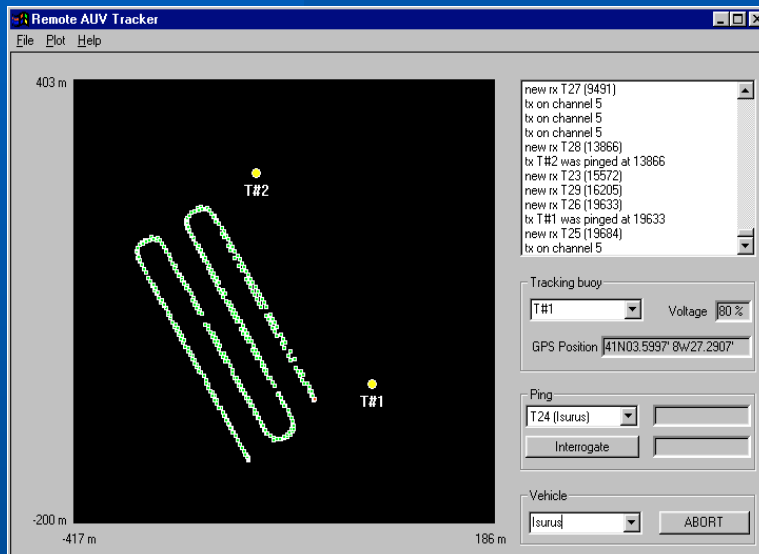


# Montagem da boia



## Interface para os faróis acústicos

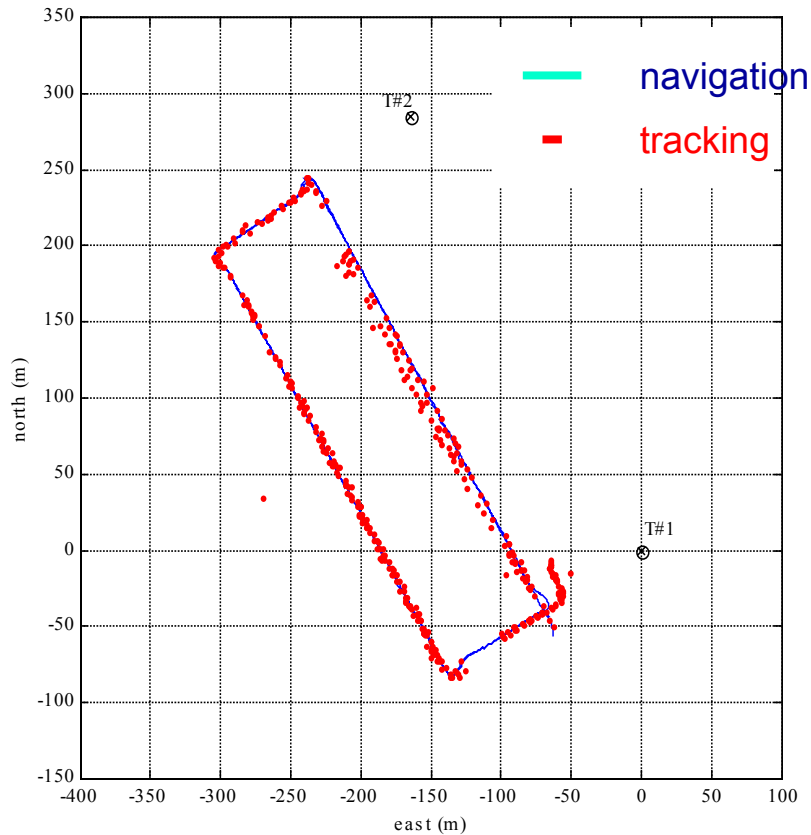
- estado dos sinais acusticos emitidos e recebidos
- mapa com a posição das boias de superfície (GPS)
- mapa com a posição dos veículos
- reconfiguração dos pares de frequência
- transmissão de comandos “especiais”



## Operação flexível

- corre em qualquer PC portátil ligado a um modem rádio
- pode correr em diferentes locais simultâneamente

# Desempenho da Navegação



## Exactidão

- 2 a 10 metros

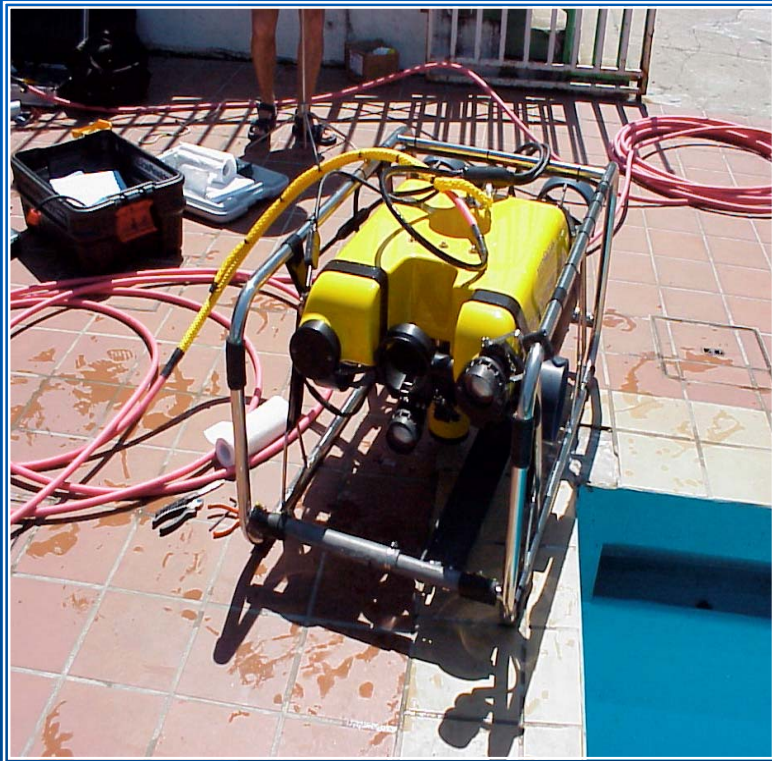
## precisão

- sobreposição nas duas passagens

## poucas perdas de sinal

- **Grande gama de tipos de controladores:**
  - PID (por ex: Remus)
  - “Sliding Modes” (por ex: NPS Aries)
  - H infinito (por ex: Marius do IST)
  
- **Sistemas operativos**
  - OS9 (Maridan e Marius)
  - VxWorks (NPS Phoenix)
  - MS-DOS (WHOI Remus)
  - QNX (Isurus da FEUP, NPS Aries)

# Veículo Operado Remotamente

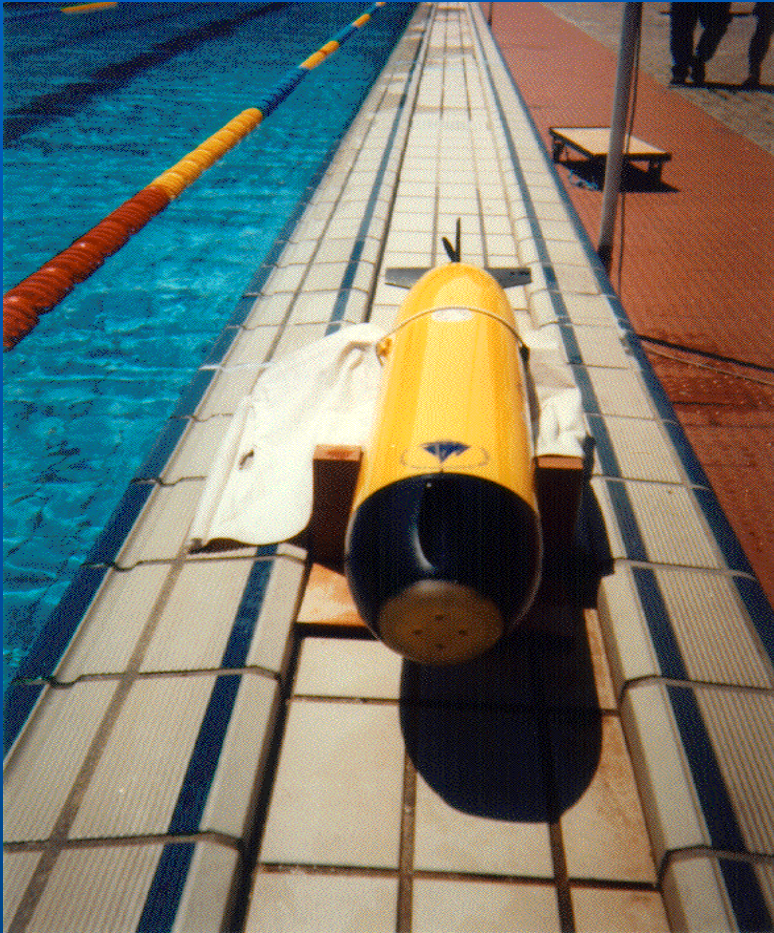


- Veículo comercial alterado de origem
  - maior carga útil
  - motores mais potentes
  - cilindro estanque extra
  - casco maior
  - consola de controlo standard
  - video em TV standard



- **Consola de controlo baseada em PC**
  - teleoperação
  - teleprogramação
- **Sistema computacional de bordo**
  - interface com os sensores
  - controlo de baixo nível
  - gestão de energia

# AUV ISURUS



## Características principais

1.5 m comp., 20 cm diam.  
vel. max : 4 nós  
carga útil: 5 kg  
profundidade max.: 200 m  
autonomia: até 10 horas  
2 lemes verticais e 2 lemes horizontais  
1 propulsor (hélice)

## Navegação

bússola digital  
inclinómetros  
sensor de pressão (profundidade)  
transponder acústico bidireccional  
4 hidrofones para navegação USBL

## Sensores

CTD  
altímetro acústico  
sensor de reflexão óptica (backscatter)  
ADCP, side scan sonar, video



IES

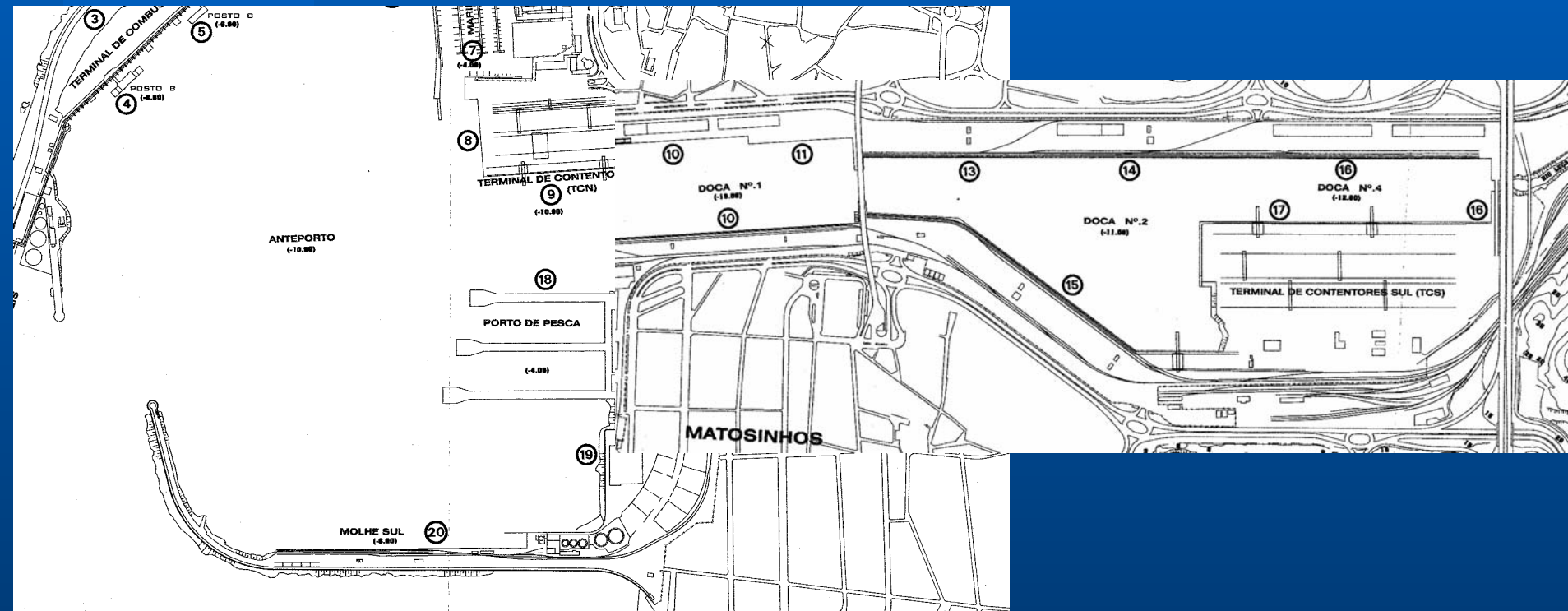
Inspeção de infra-estruturas  
submarinas

**Concepção e o desenvolvimento de um sistema avançado, fácil de operar e de baixo custo para a inspecção de estruturas sub-aquáticas baseado num Veículo Operado Remotamente (ROV).**

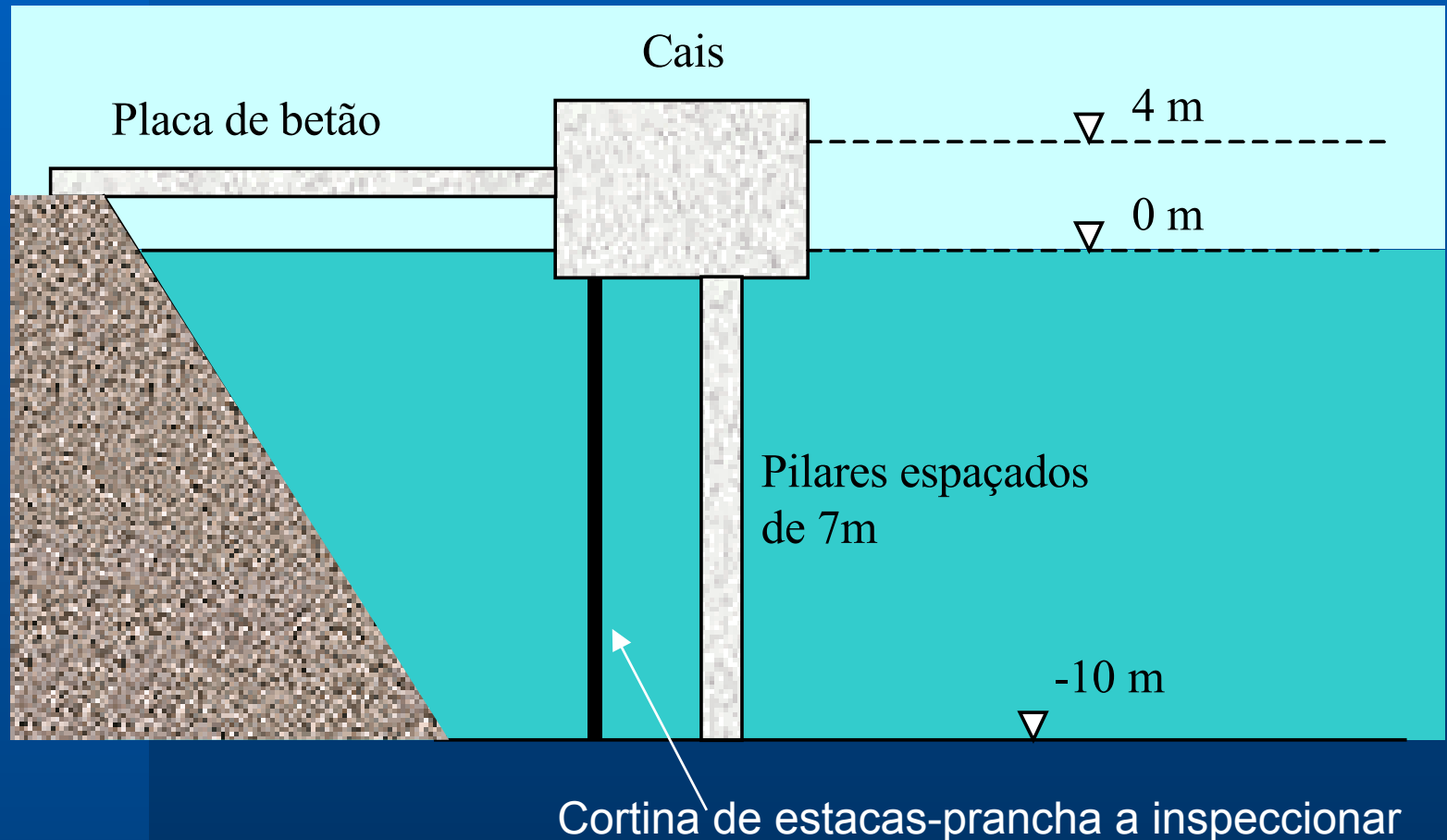
**IES é um projecto em colaboração:**

- **Administração dos Portos de Douro e Leixões**
- **Faculdade de Engenharia do Porto**
- **Instituto Superior de Engenharia do Porto**
- **Instituto de Sistemas e Robótica**

# IES - Porto de Leixões



# IES - Cenário de Operação



# APDL-Corrosão em estruturas



**Sist. de computação e de energia a bordo.**

Cabo umbilical reduzido  
Menor perturbação de drag  
Melhor desempenho

**Modos de operação:**

**tele-operação e tele-programação**

Operações automatizadas  
Integração posicionamento externo com sensores internos  
Elevado desempenho de posicionamento e controlo  
Operação sem treino especializado  
Funcionalidades de inspecção complexas

**Navegação integrada**

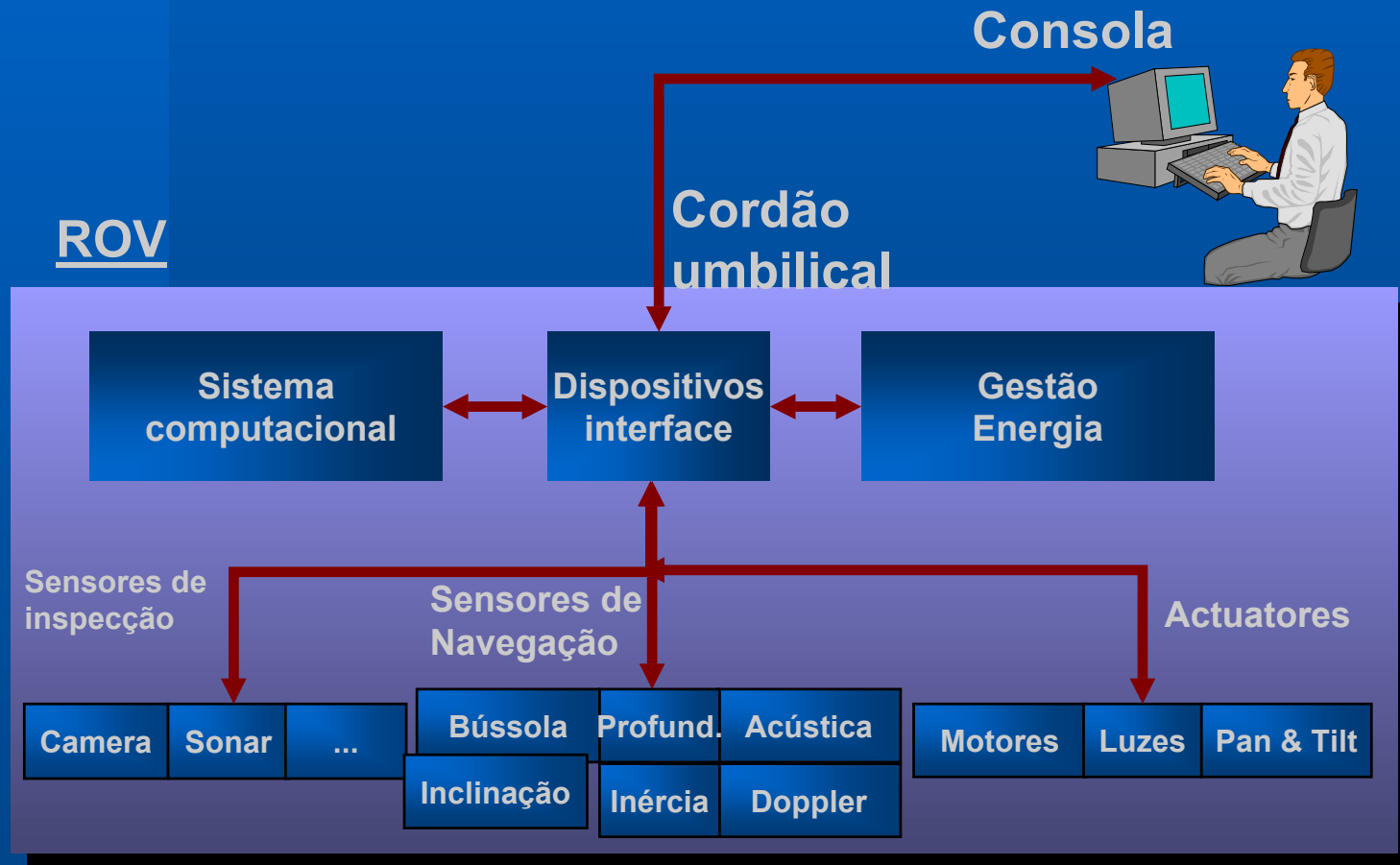
**Sistemas de controlo avançado**

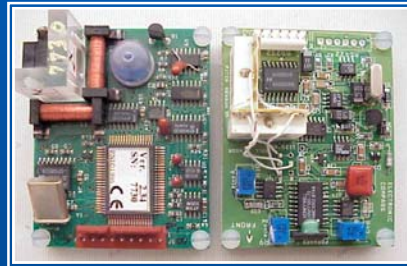
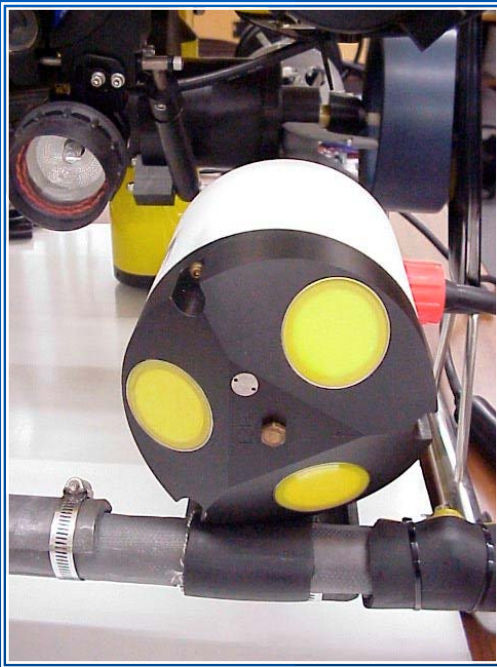
**Controlo baseado em PC**

**Sistema aberto**

Fácil utilização  
Custos de desenvolvimento e manutenção reduzidos  
Flexibilidade de aplicação  
Facilidade de integração de código e de hardware (sensores, actuadores)

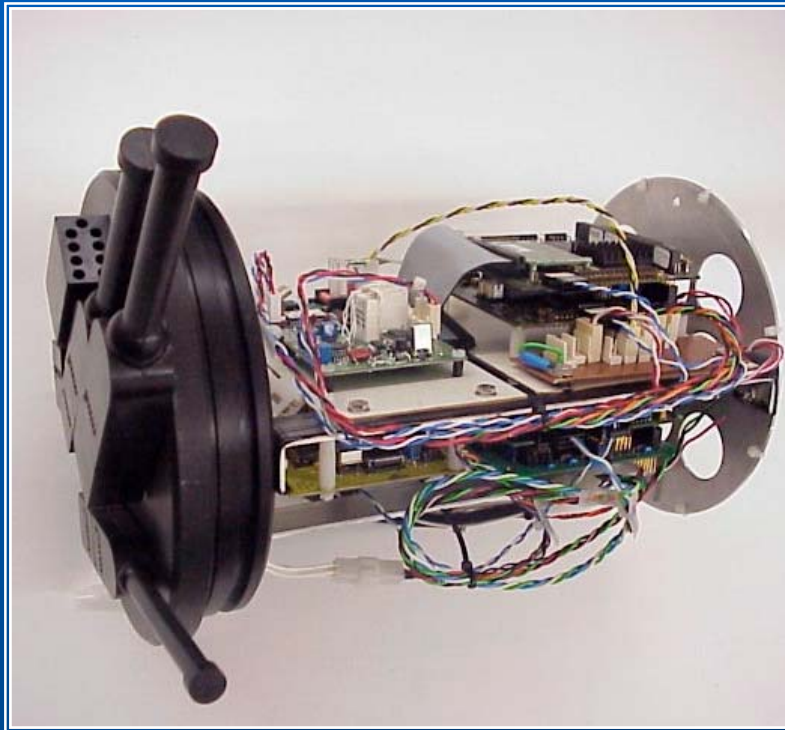
# IES - Componentes do Sistema





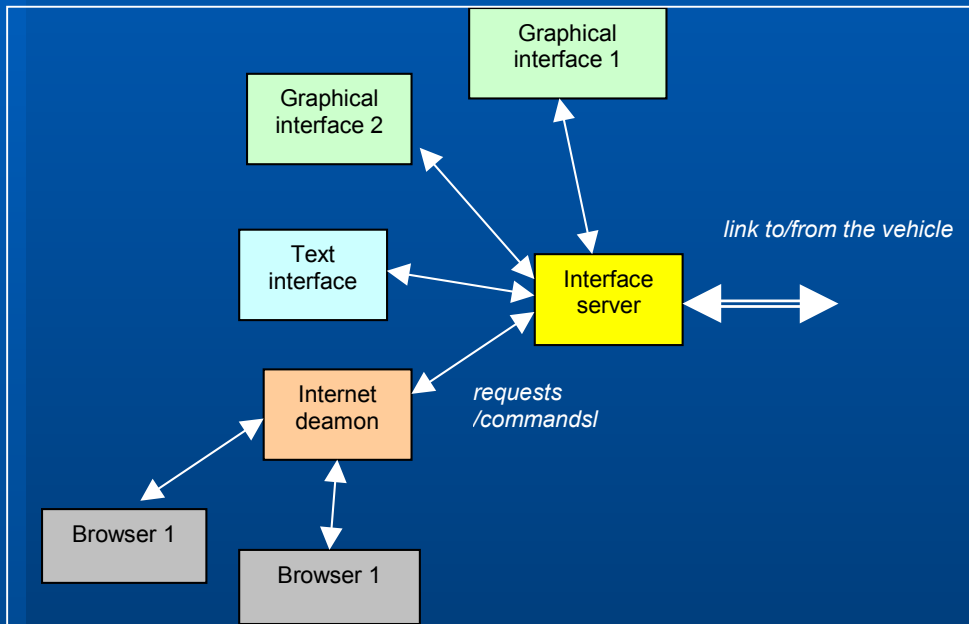
- **bússola digital**
- **inclinómetros ("pitch" e "roll")**
- **sensor de pressão de precisão**
- **Velocímetro acústico Doppler**
- **Unidade Naveg. Inercial**
- ***Algoritmos avançados de fusão sensorial***





- **stack PC-104**
- **CPU Pentium com ethernet**
- **Frame Grabber**
- **Comunicações Serie**
- **2-canaís CAN**
- **A/D 16 canais (14 bits, 100KHz)**
- **10GB Hard Disk**

# Consola de operação

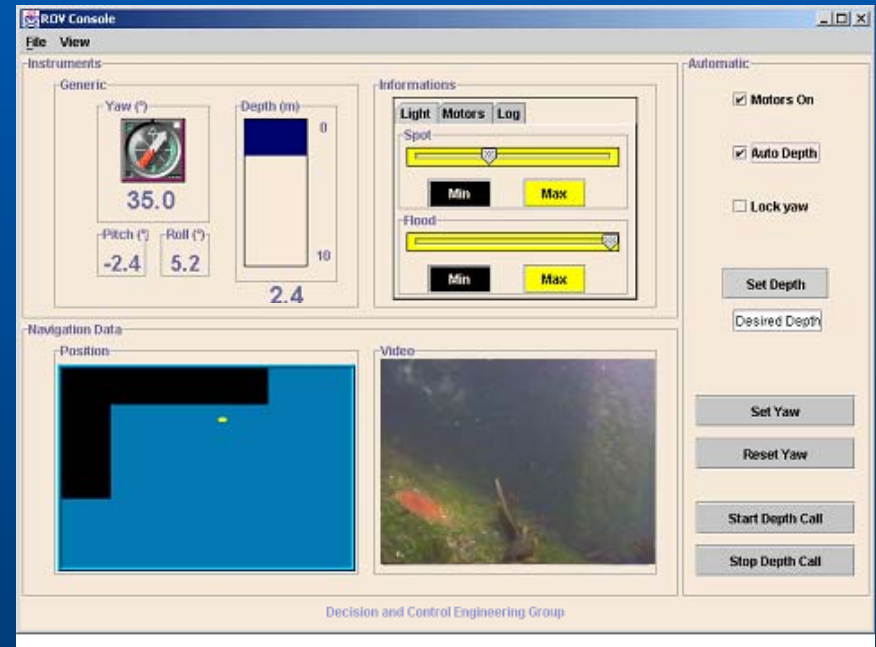
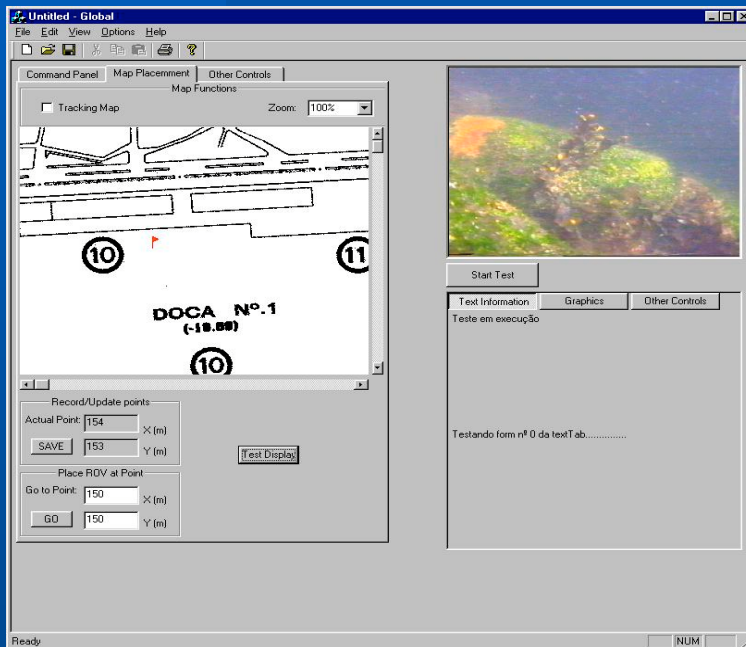


Baixo custo

Reconfiguravel

Multimodal

# Consola de Operação

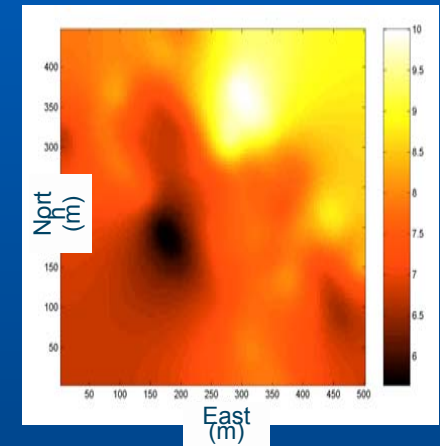
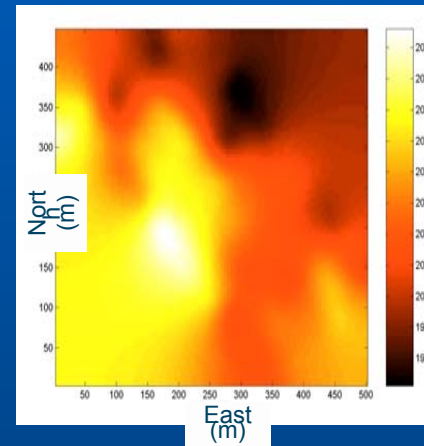


# Missões operacionais

# Recolha de dado (Rio Minho)



## Distribuições de temperatura e salinidade



## Missões

- Secções (NW-SE) separadas de 500 m
- Comprimento: 700-1200 m
- Diferentes profundidades
- Dados
  - Temperatura (CTD)
  - Salinidade (CTD)
  - Batimetria (Altimetro)

# Tapada do Outeiro

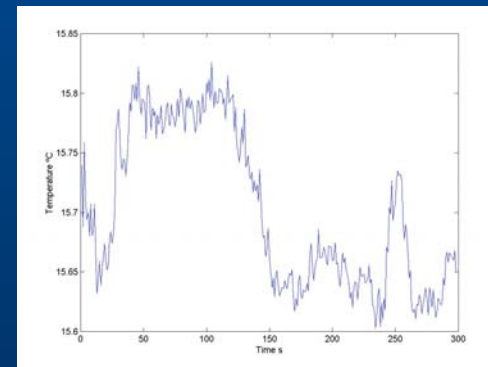
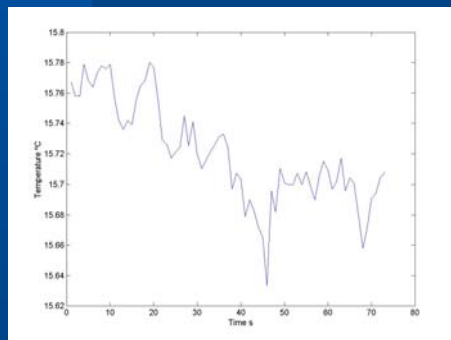
Avaliação impacto ambiental das descargas da central da Tapada do Outeiro



## Tapada do Outeiro CCPP

- Monitorização de impacto de descargas de circuitos refrigeração

## Maio 2000 - Temperatura à superfície



- S. Jacinto (SIMRIA)
- V. N. Gaia (Águas de Gaia)
- Espinho (SIMRIA)
- Matosinhos (CMM)



