

---

# Simulação, simuladores e projetos de controle

---

O uso de simuladores no projeto de sistemas de controle

# Definição

---

- O que é simulação?

É a representação de um processo ou sistema, em suas definições mais amplas, feita com base na imitação de suas características.

# Contexto

---

Simulação é uma abordagem que vem desde a antiguidade, iniciando-se com o uso de modelos em escala para a construção de templos e análise de estratégias militares em campos de batalha até os complexos sistemas computacionais de hoje.

# Aplicações

---

- Aplicações na antiguidade ...
  - O uso de maquetes para o estudo de manobras (tais como movimentação, içamento e posicionamento de grandes blocos) nas grandes construções da antiguidade.
  - O uso de mapas para a disposição de tropas em campos de batalha e estudo de estratégias militares.
  - Adestramento de tropas com armas e máquinas.
  - O uso de maquetes e mapas como auxílio para o planejamento de estradas e construções associadas.

# Aplicações

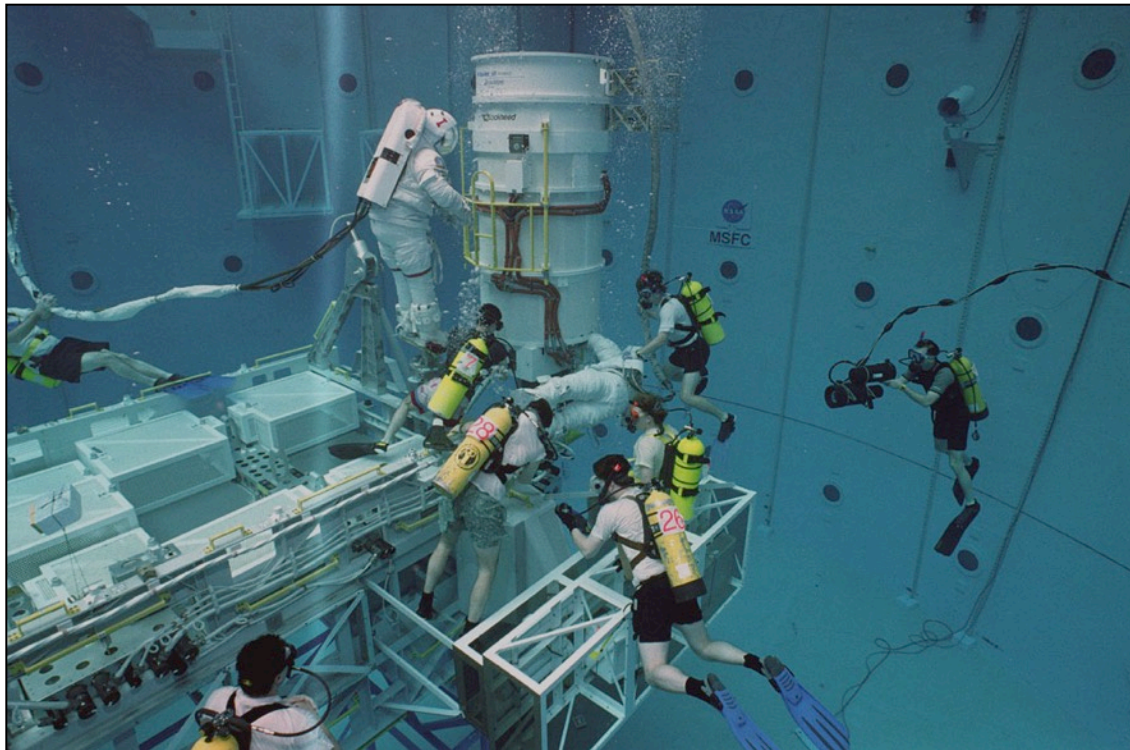
## ■ ... e ainda hoje



O veículo robótico Spirit se encontra imobilizado em Marte, e técnicos da Nasa simulam manobras para sua liberação.

# Aplicações

---



Simulador de flutuabilidade neutra (NASA)

# Aplicações

---

- Aplicações hoje
  - Treinamento de operadores de máquinas e equipamentos

# Aplicações

---



Simulador de vôo  
(NASA)



# Aplicações



Simulador de trem  
(VALE)

# Aplicações



Simulador de CCM  
(Marinha do Brasil)

# Aplicações



Simulador da Sala de Controle de uma Usina Nuclear (Eletronuclear)

# Aplicações

---

- Previsão

*Avaliar um resultado futuro a partir de uma configuração e cenários hipotéticos*

Exemplo:

Qual é a mais longa viagem para um dado veículo com 7 litros de combustível no tanque na Rodovia dos Imigrantes?

# Aplicações

---

- Análise operacional

*Investigar o impacto de políticas operacionais sobre um dado processo*

Exemplo:

Qual é o impacto a médio prazo nos índices de inflação brasileiros causado por um aumento de 0,25% na taxa básica de juros do Banco Central?

# Aplicações

---

- Otimização operacional

*Levar a análise operacional a um patamar superior de sofisticação*

Exemplo:

Qual é o tamanho ideal de uma frota de veículos para minimizar o tempo de entrega e os custos operacionais?

Como gerenciar a fila de atracação do Porto de Santos para maximizar a movimentação de cargas e minimizar o tempo de espera?

# Aplicações

---

- Desenvolvimento de sistemas de automação

*Especificar, projetar e testar sistemas de automação e controle utilizando simuladores em vez dos processos reais*

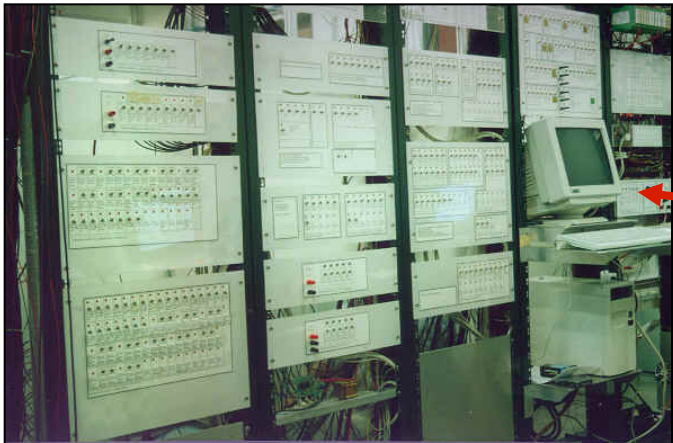
Exemplo:

O Projeto MODFRAG (Marinha do Brasil)

# Aplicações

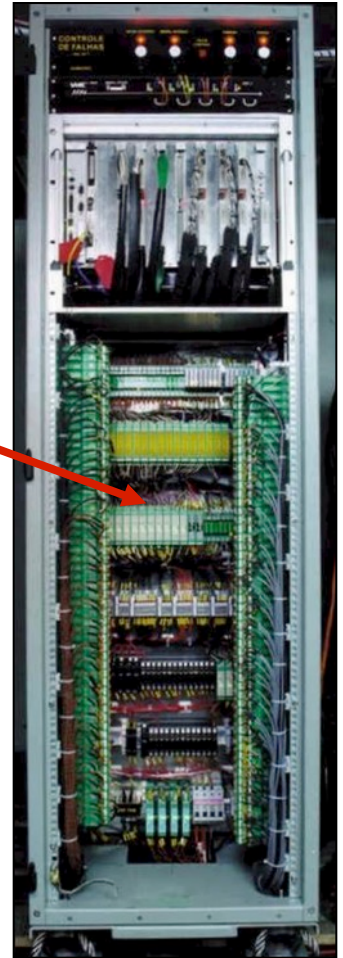


IHM do sistema



Primeira versão do simulador

Unidade remota de controle (para um bordo)





# Aplicações

## ■ Entretenimento



# Tipos de simuladores

---

- Quanto à implementação
  - **Analógicos**  
e.g. tanque de fluabilidade da NASA,  
circuitos eletro-eletrônicos
  - **Digitais** (implementados em computador)  
e.g. a maioria hoje em dia
  - **Híbridos**

# Tipos de simuladores

---

## ■ Quanto à temporização

### ■ **Tempo real**

*A duração dos processos simulados é consistente com os processos reais*

e.g. os simuladores de treinamento

### ■ **Tempo virtual**

*Tipicamente os processos são simulados tão rapidamente quanto possível*

e.g. simuladores de engenharia, aplicações científicas

# Tipos de simuladores

---

- Quanto à escala

- **Partial scale**

- Considera apenas aspectos específicos do processo*

- **Full scale**

- Considera (ou tenta considerar) todos os aspectos do processo*

# Tipos de simuladores

---

## ■ Quanto à interface

### ■ **Partial scope**

*Somente uma parte (de interesse) do processo é considerada.*

*Usualmente associado a simuladores partial scale.*

e.g. o simulador do CCM (somente a propulsão do navio)

### ■ **Full scope**

*Um simulador full scale que também tenta reproduzir a interface completa do sistema.*

e.g. simuladores de vôo; simuladores de plantas nucleares

# Tipos de simuladores

---

- Quanto aos objetivos

- **Engenharia (ou analítico)**

- A ênfase é na produção de dados quantitativos, e não com a experiência do usuário*

- **Realidade virtual**

- A ênfase é na experiência do usuário e não com a produção de dados*

- e.g. simuladores de treinamento; jogos*

# Por que usar?

---

## ■ Para treinamento (1)

- Possibilidade de treinamento quando o equipamento real não está disponível;
- Possibilidade de se treinar manobras em situações que possam colocar o operador, terceiros ou o próprio equipamento em risco sem preocupações;
- Custo reduzido ao não se desligar nem utilizar um equipamento real para treinamento;

# Por que usar?

---

## ■ Para treinamento (2)

- Confiança e produtividade de novos operadores aumentada durante o período inicial de operação;
- Tempo total de treinamento reduzido;
- Possibilidade de treinamento para operadores veteranos em períodos em que o equipamento real esteja indisponível para uso;
- Avaliação dos diversos aspectos do desempenho de um operador, incluindo ações não seguras, competência de operação e resposta a falhas ou mal funcionamento do sistema;



# Por que usar?

---

## ■ Para treinamento (3)

- Objetividade na administração de testes e condições uniformes para todos os operadores;
- Redução de riscos de operação, tanto em modos usuais de operação como em situações de emergência;
- Validação de novos equipamentos sem necessidade de sua instalação em campo;

# Por que usar?

---

## ■ Para engenharia (1)

### ■ Economia

- Possibilidade da realização de testes e ensaios
  - sem necessidade de utilização do processo real e mobilização de recursos e pessoal
  - muito mais rapidamente (em muitos casos) que o processo real
  - sem necessidade de equipamentos especiais de medição e aquisição

# Por que usar?

---

- Para engenharia (2)

- Segurança

- Possibilidade da realização de testes e ensaios

- de situações críticas sem comprometer o processo ou pessoal

- Exploração de situações operacionais extremas

- que seriam impossíveis de realizar na prática

# Por que usar?

---

## ■ Para engenharia (3)

### ■ Novas possibilidades

- Utilizar o simulador para otimização do processo através de métodos iterativos
- Exploração de alterações no processo
- Diagnósticos de situações reais
- Integração com o processo real  
e.g. computador de bordo ferroviário

# Um pouco de motivação

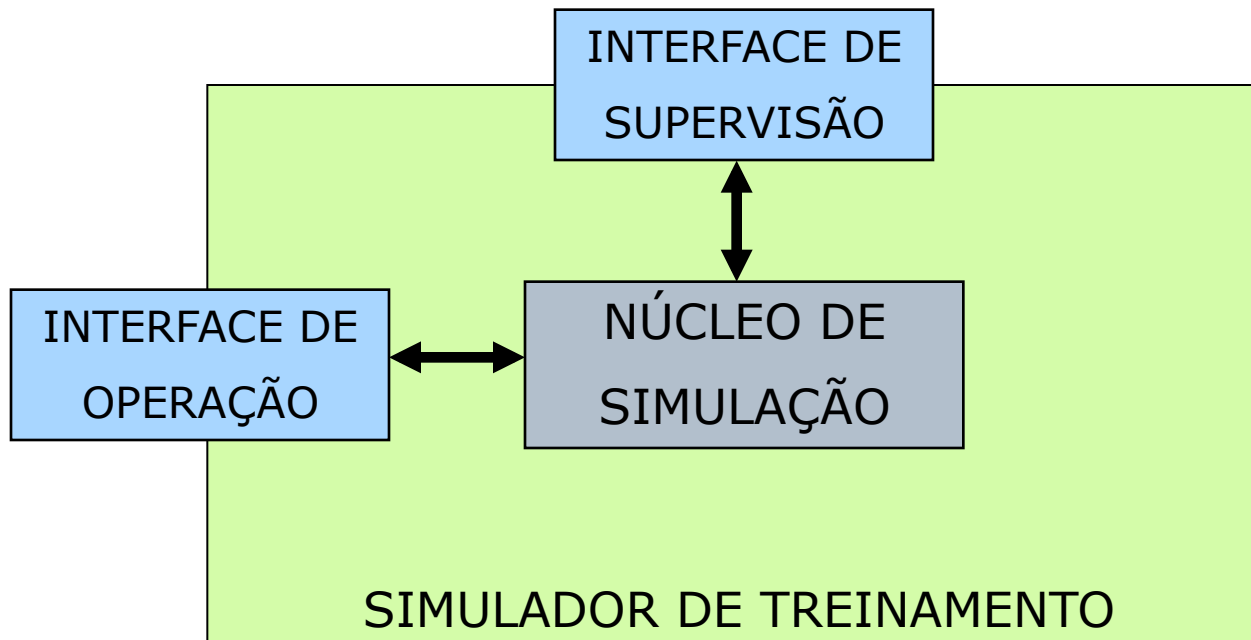
---

Segundo um grande operador ferroviário, um maquinista treinado pode economizar até 8% em combustível em relação a um maquinista sem treinamento.

OBS.: Estima-se que em torno de 5% do consumo de óleo Diesel do País se dá nas ferrovias.

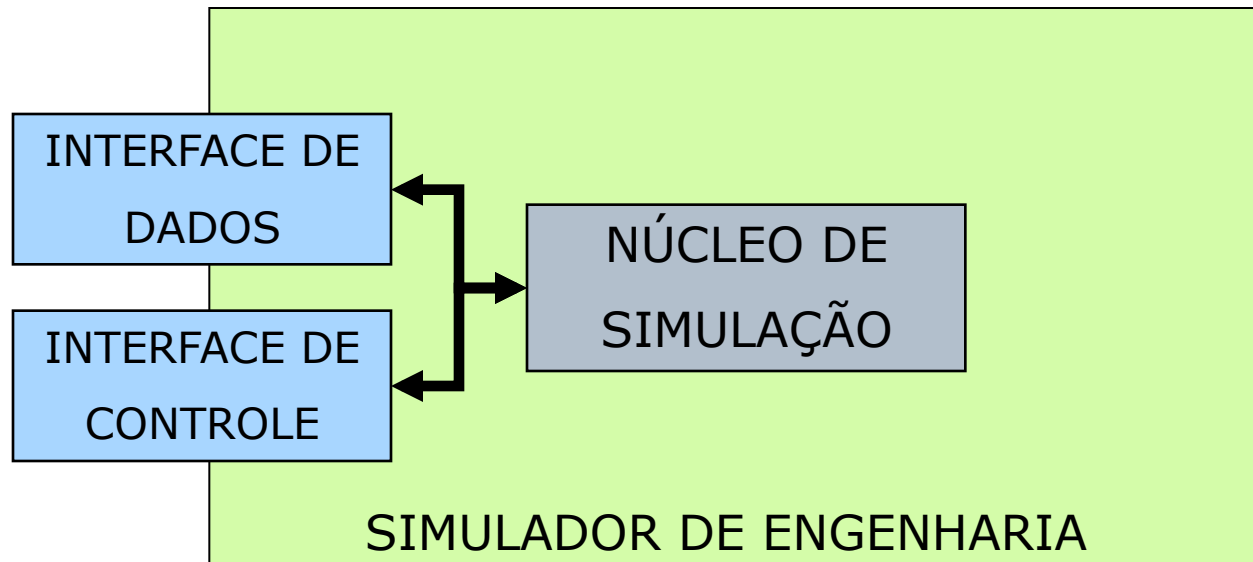
# Arquiteturas típicas

---



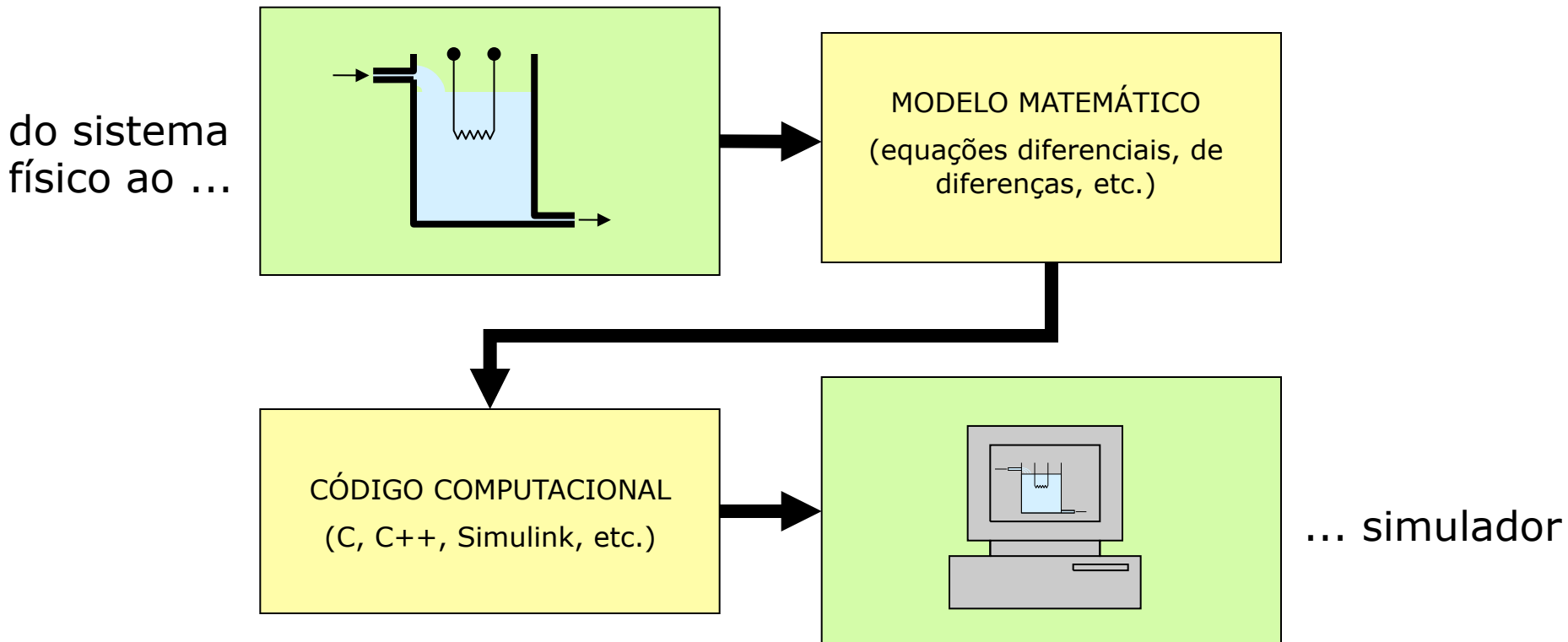
# Arquiteturas típicas

---



# Projeto de simuladores

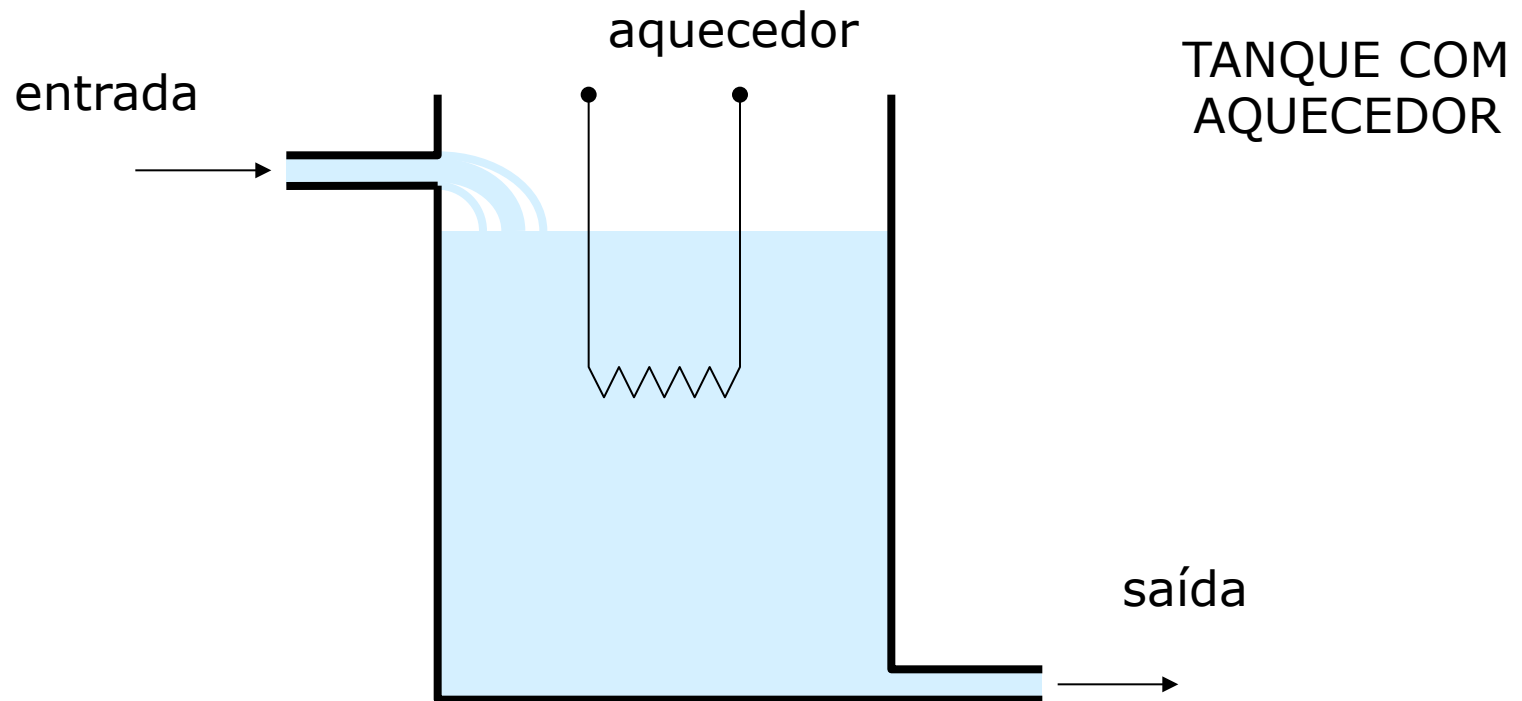
## ■ Da modelagem à implementação





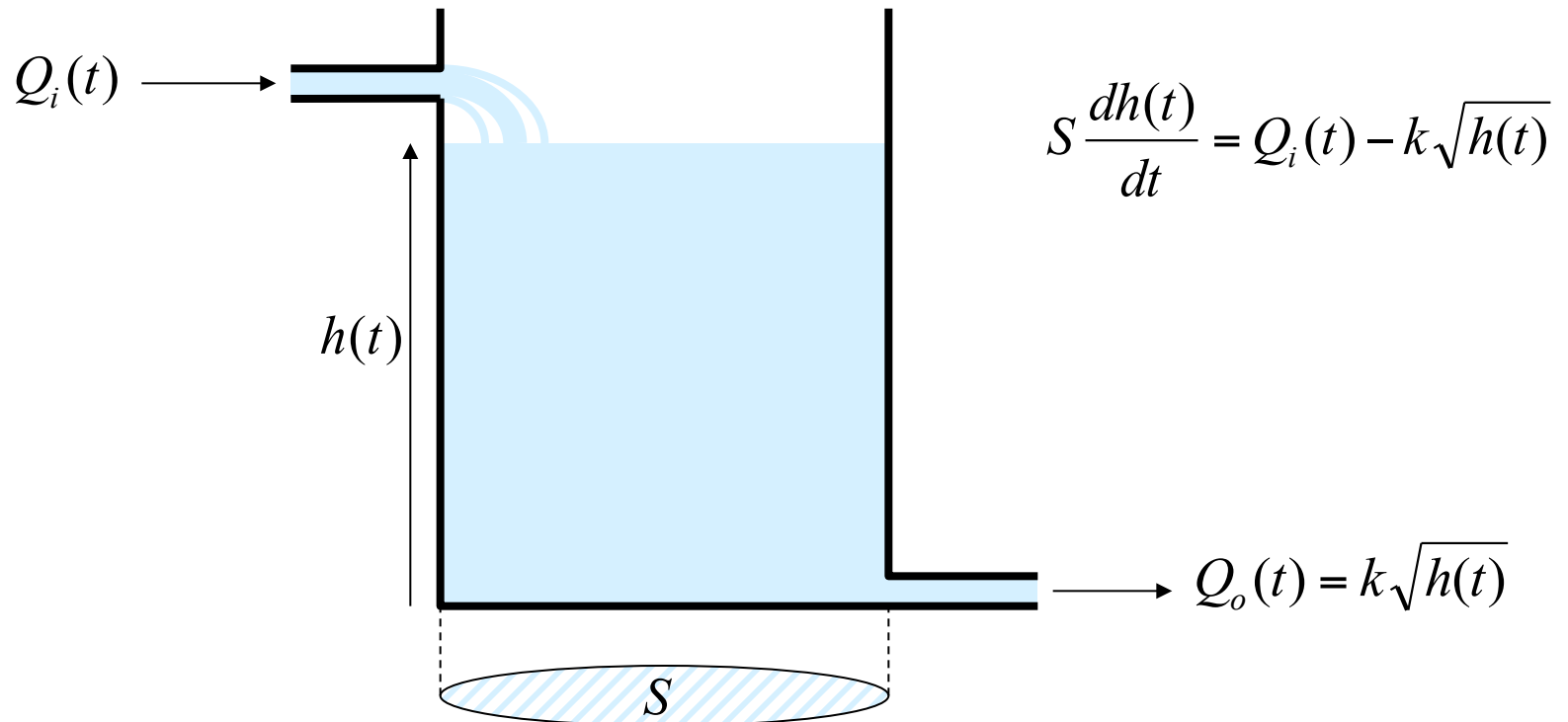
# Um exemplo

## Sistema físico



# Um exemplo

## Modelo matemático



# Um exemplo

---

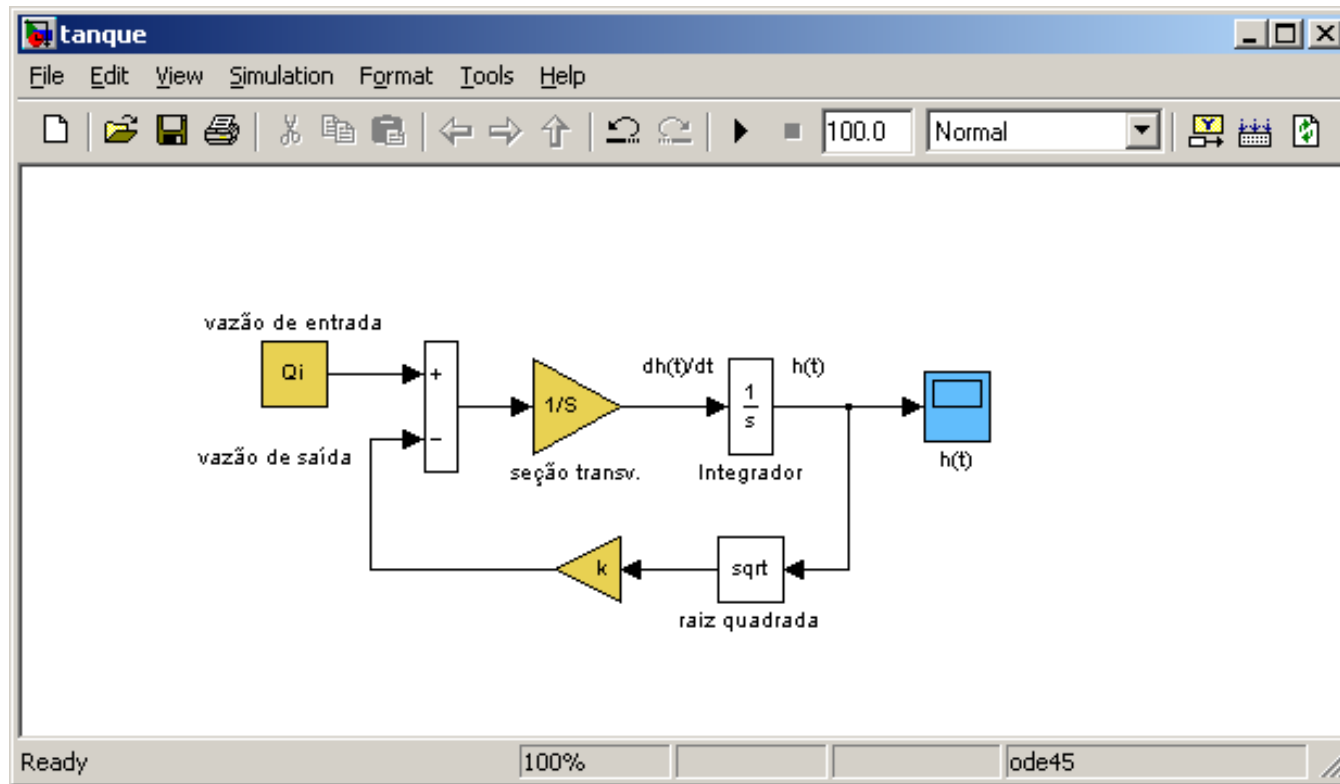
## Modelo matemático

### ■ Observações

- O modelo não considera o aquecimento da água (partial scope)
- O modelo é basicamente uma versão simplificada do comportamento real de um tanque (muitos fatores foram desconsiderados)

# Um exemplo

## Código computacional (Simulink)



# Projeto de simuladores

---

- Outros aspectos
  - Hardware:  
plataformas computacionais de simulação; sistemas de visualização; controles e IHM; etc.
  - Software:  
código de simulação; algoritmos; integração com controles e IHM; sistemas de apoio, etc.
  - Arquiteturas de rede:  
distribuição de processamento e outros aspectos

# Conhecimentos básicos

---

1. Conhecimento do problema;
2. Entendimento dos processos (físicos, químicos, etc.)
3. Técnicas de modelagem matemática;
4. Técnicas de processamento numérico;
5. Domínio das soluções computacionais existentes;
6. Conhecimentos específicos: arquitetura de redes, linguagens de programação, computação gráfica, etc.

# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---



# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

### ■ Algumas especificações

**Deslocamento:**

3.200 ton (padrão),  
3.800 ton (carregado).

**Dimensões:**

129.2 m comprimento,  
13.5 m boca,  
5.9 m calado.

**Propulsão:**

CODOG (Combined Diesel or Gas)

2 turbinas a gás  
Rolls-Royce Olympus TM3B  
28.000 shp cada

4 motores MTU 16V956 TB91  
3.940 bhp cada

Dois eixos com hélices de passo variável.

(dados públicos)



# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

---

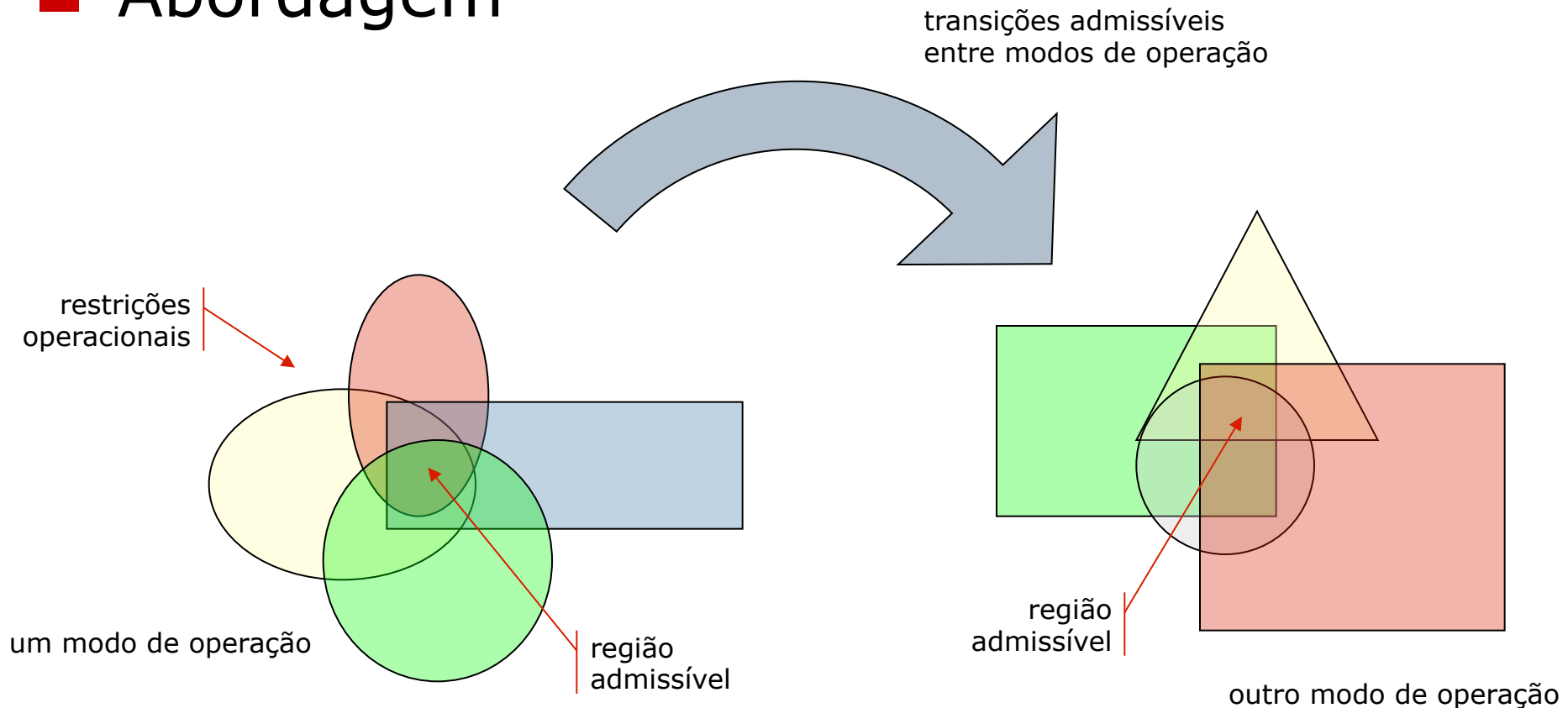
## ■ Características do sistema

- Não-linear;
- Híbrido (elementos discretos e contínuos);
- Ordem elevada;
- Sujeito a restrições de estado e entrada;

Não há teoria de aplicação direta para o projeto de um sistema de controle deste tipo

# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

## ■ Abordagem



# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---

- Metodologia (1)
  - Identificar (regime estacionário)
    - Modos de operação;
    - Restrições operacionais;
  - Identificar (regime transitório)
    - Transições admissíveis;
    - Restrições associadas às transições;

# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---

### ■ Metodologia (2)

- Projetar um sistema de controle que
  - contemple todos os modos de operação;
  - respeite todas as restrições operacionais;
  - realize as transições admissíveis, quando solicitado;
  - respeite as restrições das transições;

# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---

- Metodologia (3)

- Otimizar o sistema de controle para
  - máximo desempenho em regime permanente;
  - máximo desempenho em regime transitório;

# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---

- Metodologia (4)

- Validar o sistema de controle

- contra um simulador (sempre possível);

- contra a planta real (quando possível);

... e retrabalhar o projeto quando necessário.

# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---

- Ferramenta para implementar a metodologia
  - Um simulador capaz de
    - incorporar todas as entradas e saídas (pertinentes) do sistema
    - reproduzir todos os modos de operação;
    - reproduzir todas as transições admissíveis;

# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---

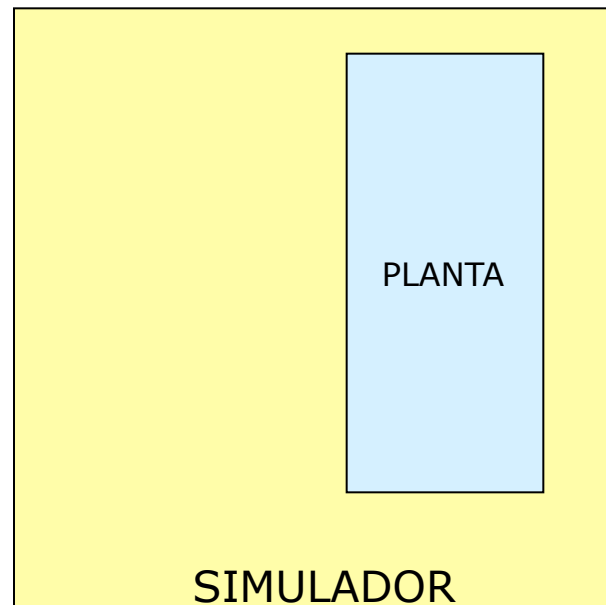
- Produção do simulador
  1. Aprendizado do processo;
  2. Levantamento de dados;
  3. Modelagem de subsistemas;
  4. Implementação de código;
  5. Integração dos subsistemas;
  6. Validação do simulador
    - contra os dados levantados;
    - contra a planta real;



# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

---

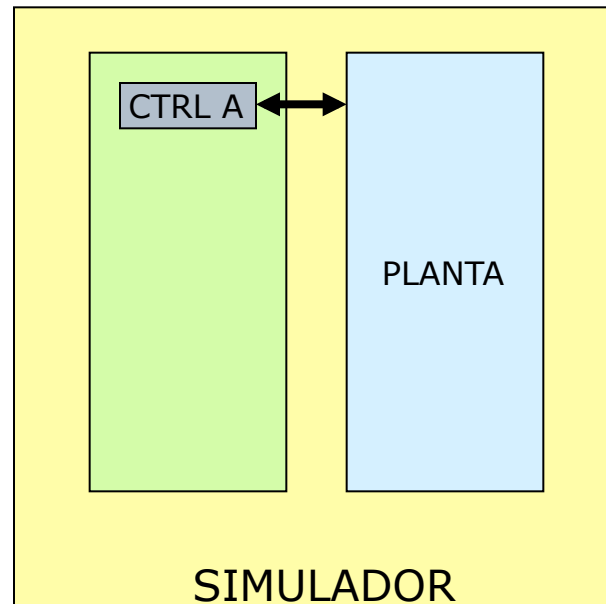
Etapa inicial (somente planta)



# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

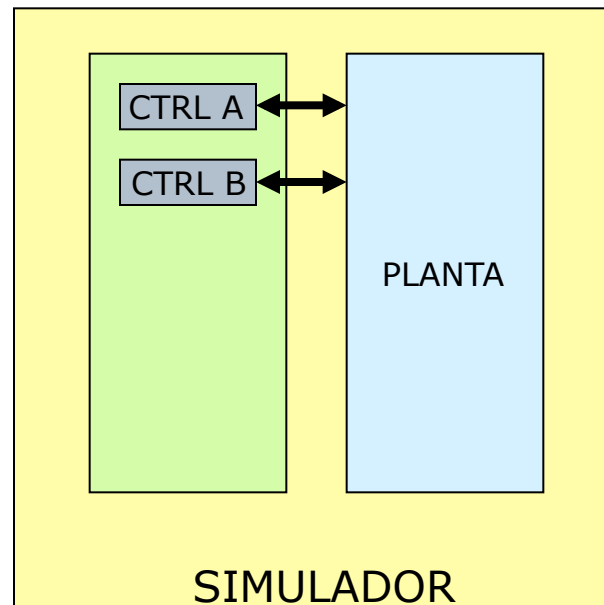
---

## Projetando o controle



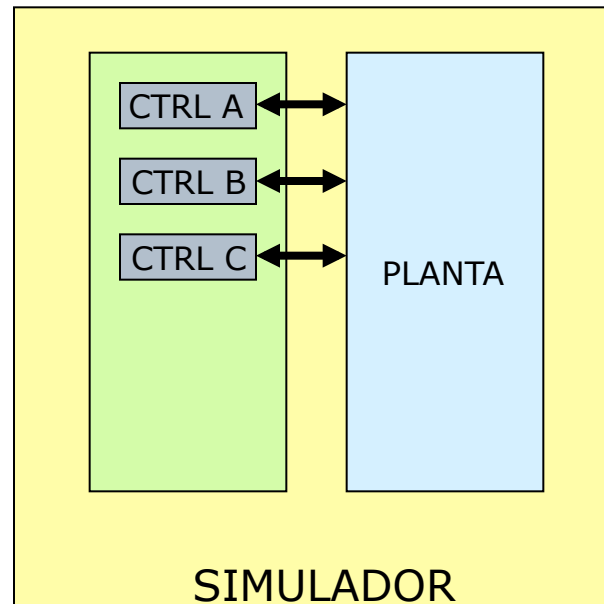
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

## Projetando o controle



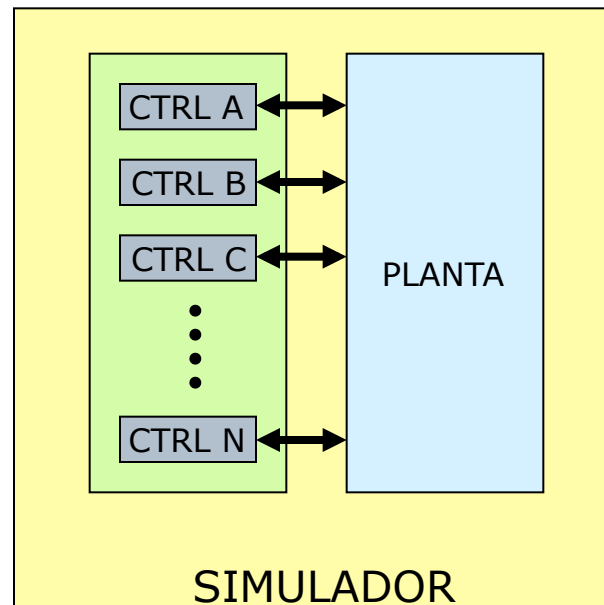
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

## Projetando o controle



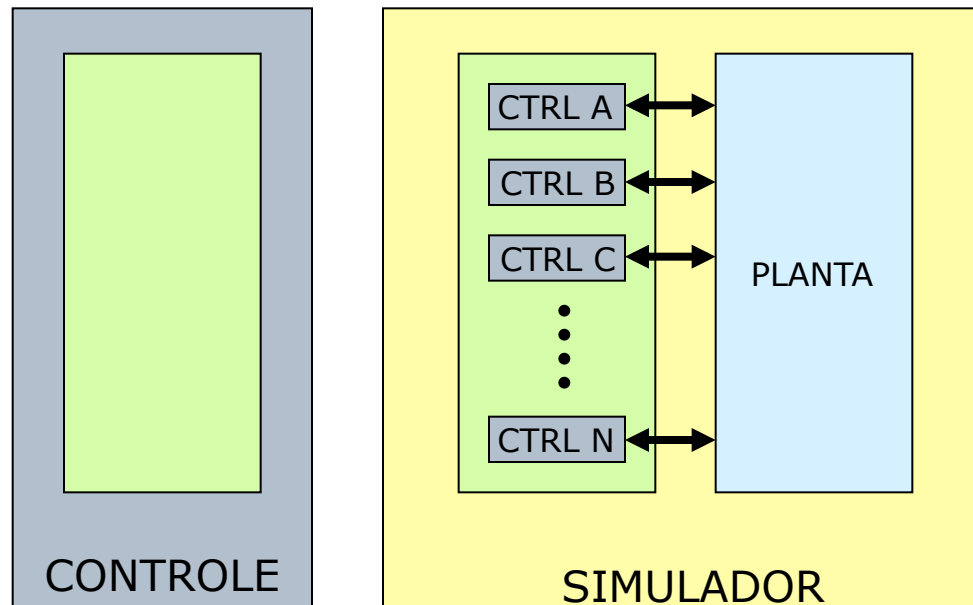
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Projeto de controle finalizado



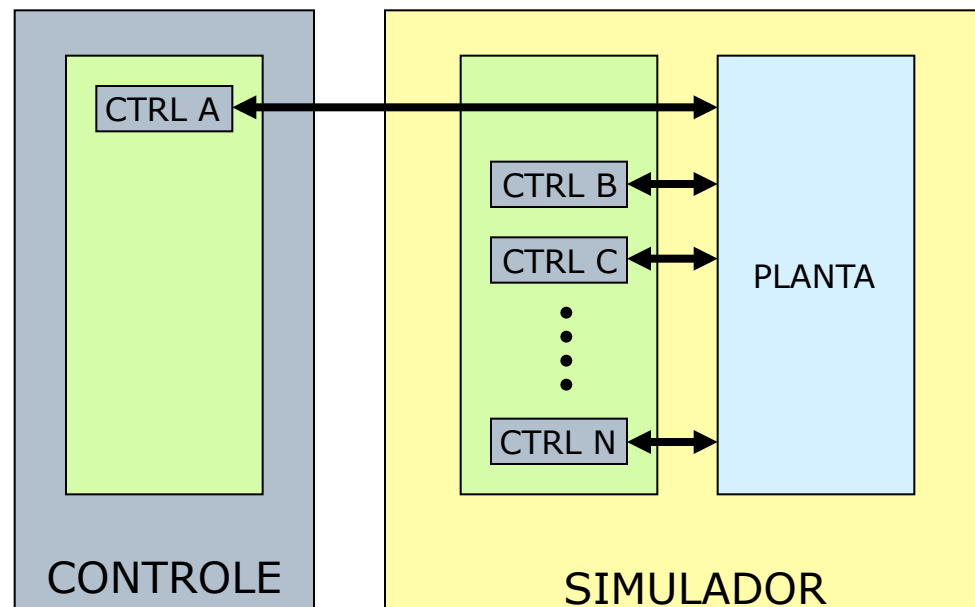
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Especificando o hw/sw de controle



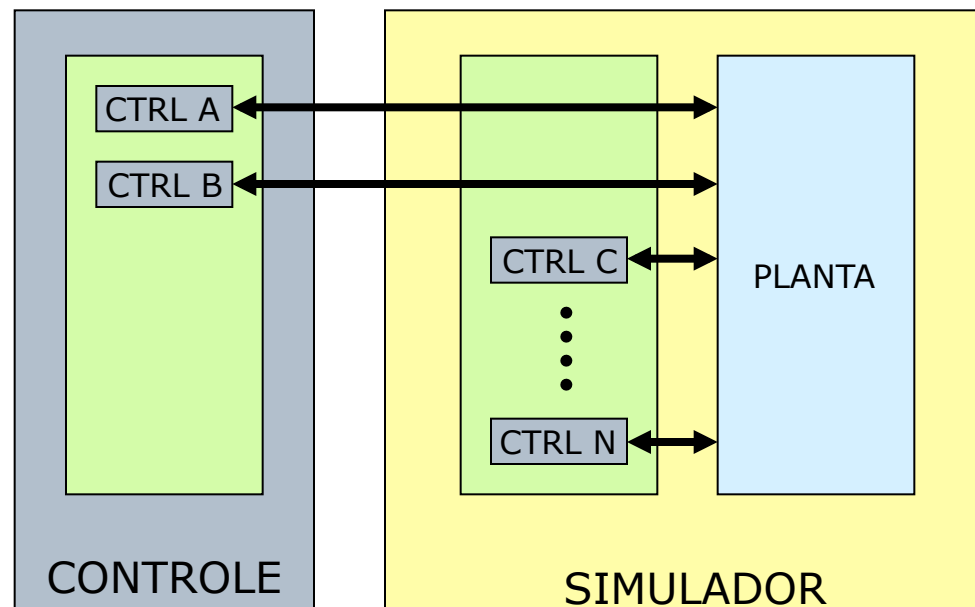
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Migrando para o hw/sw de controle



# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

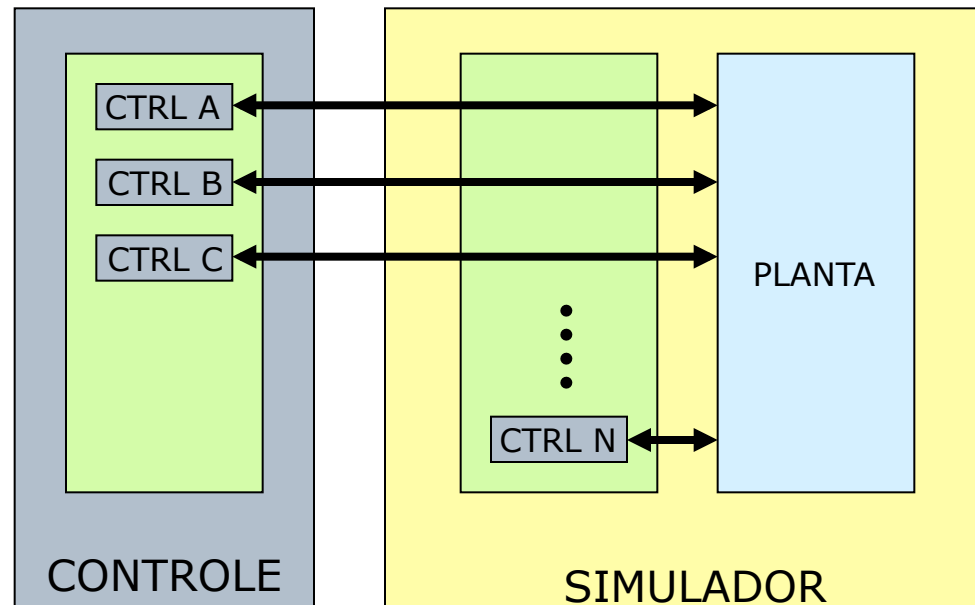
Migrando para o hw/sw de controle





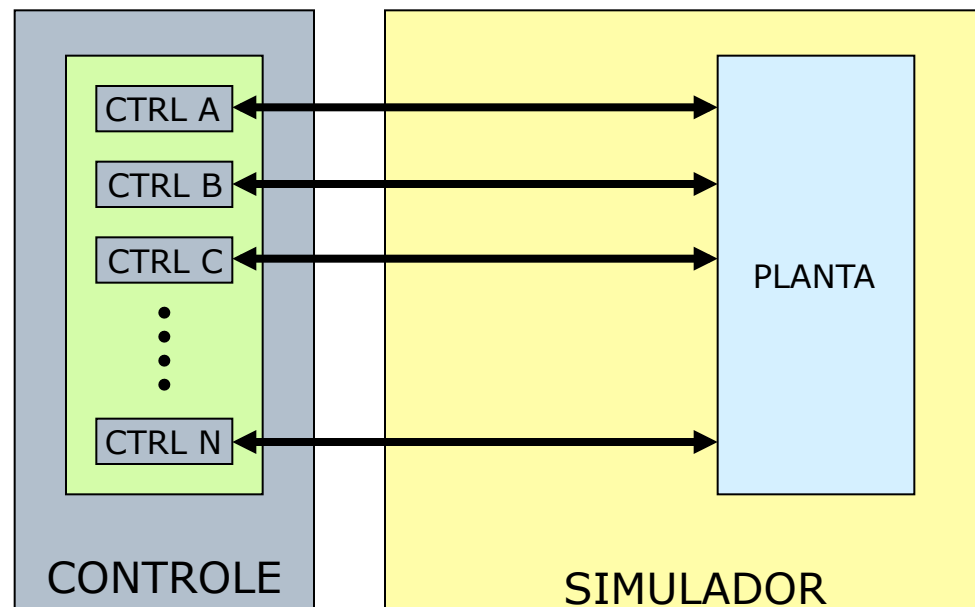
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

Migrando para o hw/sw de controle



# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

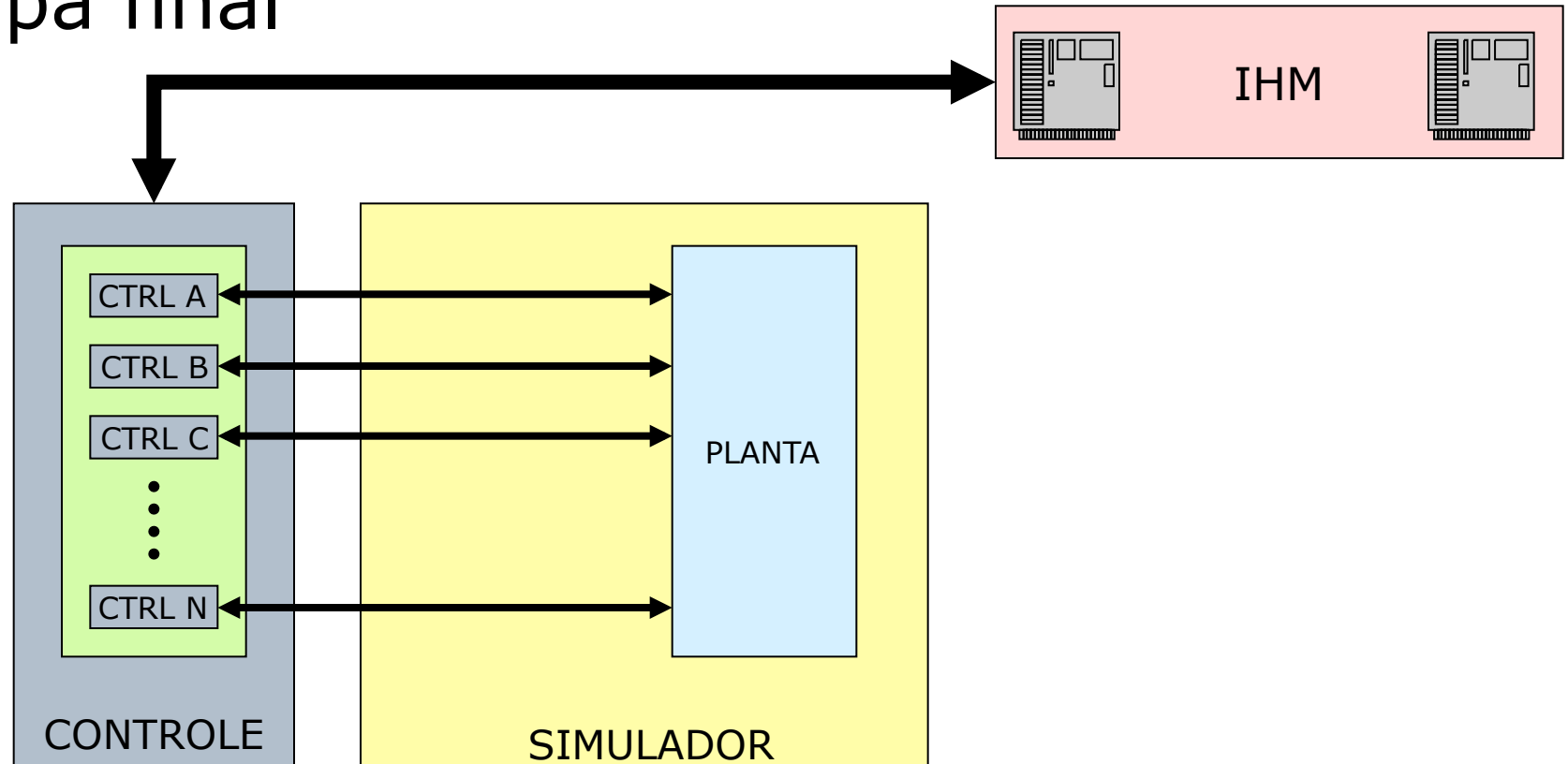
## Controle no hw definitivo



Arranjo comumente denominado hoje como “hardware in the loop”.

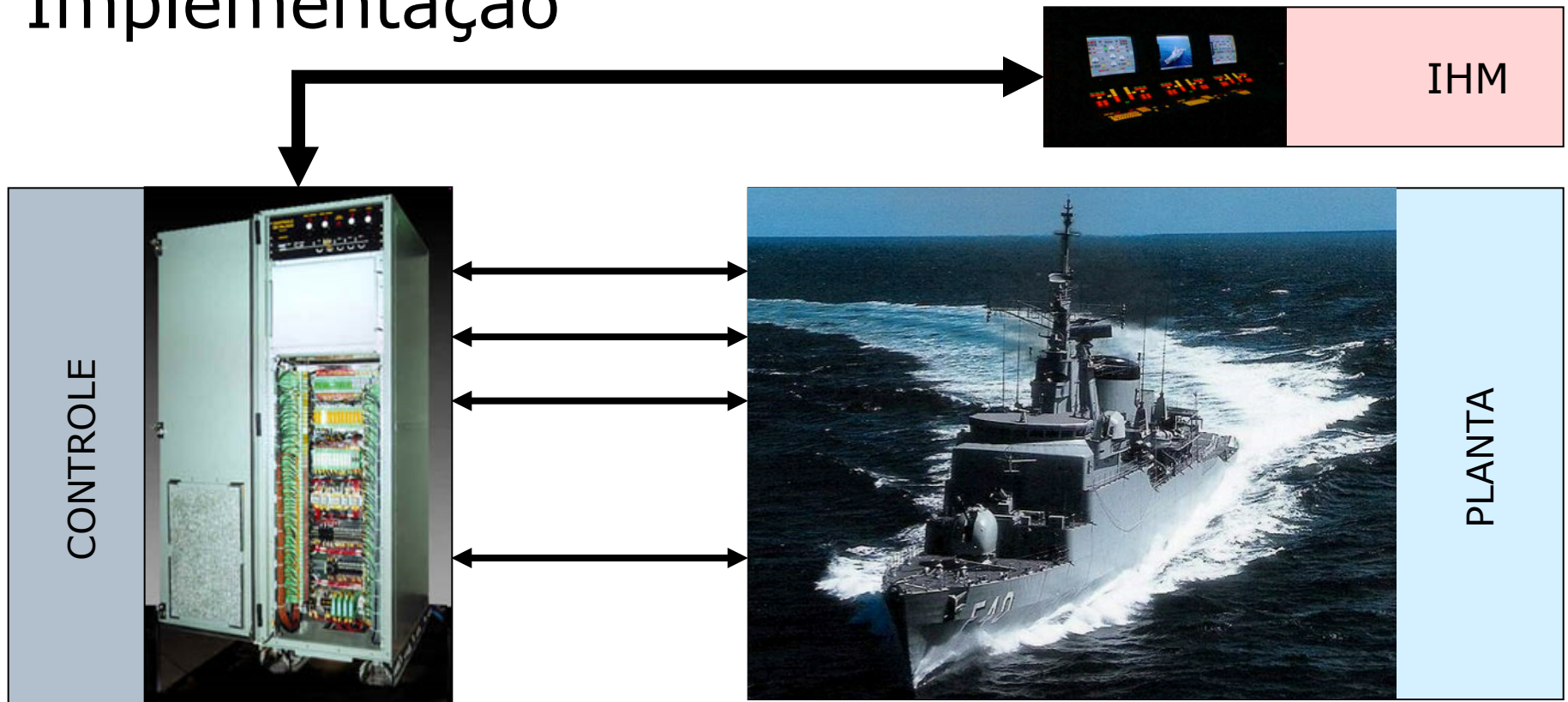
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

## Etapa final



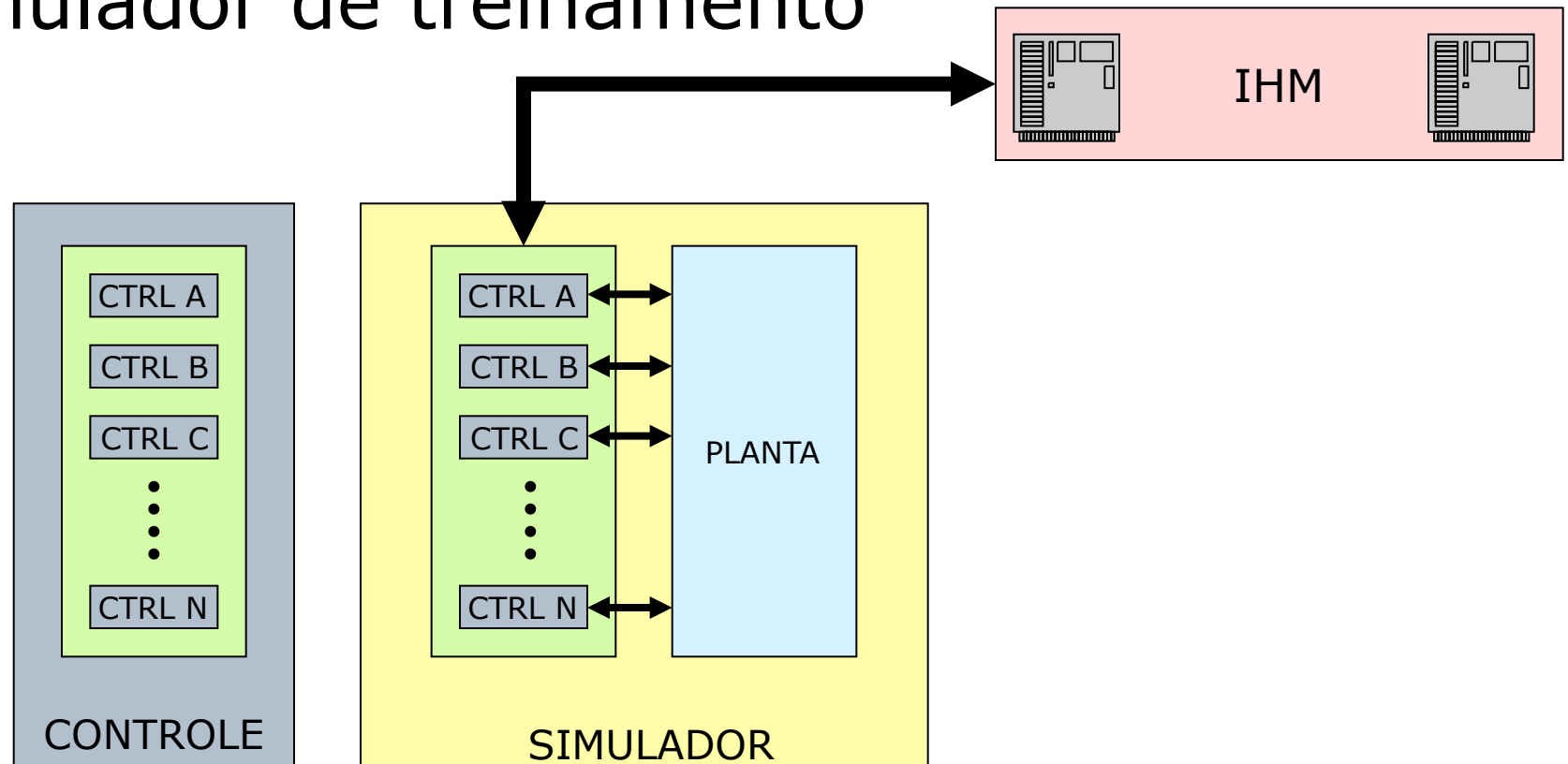
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

## Implementação



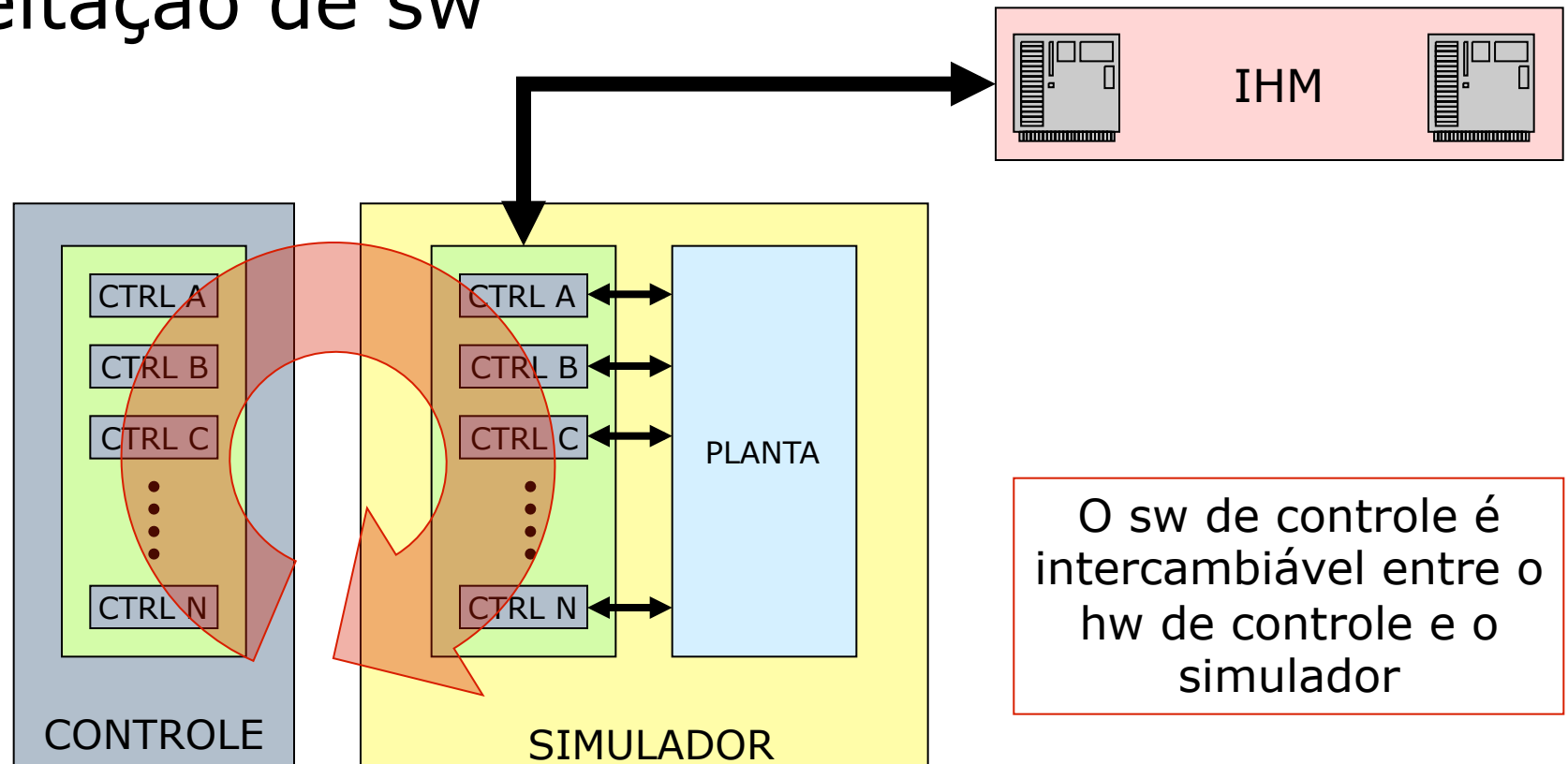
# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

## Simulador de treinamento



# Controle de propulsão Fragatas classe Niterói

## Aceitação de sw



# Controle de propulsão

## Fragatas classe Niterói

---

### ■ Conclusões

- Projeto bem sucedido;
- Tecnologia adquirida;

### ■ Observações

- A metodologia permite uma grande economia de tempo e recursos;
- A metodologia pode ser aplicada a uma grande gama de diferentes projetos;