

# Sistema Multi-Agente Descentralizado

Gestão de Produção e Manutenção numa Smart Factory (Fábrica Inteligente)

Introduction to Intelligent Autonomous Systems | L.IACD 2025-26

Francisca Cerqueira (202303764)

Iara Ferreira (202305194)

Rodrigo Simões (202303448)

# Contexto e Desafio

Os sistemas centralizados são um ponto de falha (bottleneck) na indústria moderna.

✱ **Falhas e Avarias:** Avarias de máquinas causam paragens em toda a linha de produção.

🚚 **Atrasos Logísticos:** Atrasos no fornecimento de matéria-prima.

🏭 **Falha Central:** Sistemas centralizados falham, parando toda a operação.

⬆️⬆️ **Flutuações:** Dificuldade em adaptar-se a picos de procura ou pedidos urgentes.

**Solução Proposta:** Um sistema descentralizado (SMA) onde os agentes negociam autonomamente para garantir resiliência e eficiência.

# Fluxo de Interação Descentralizada

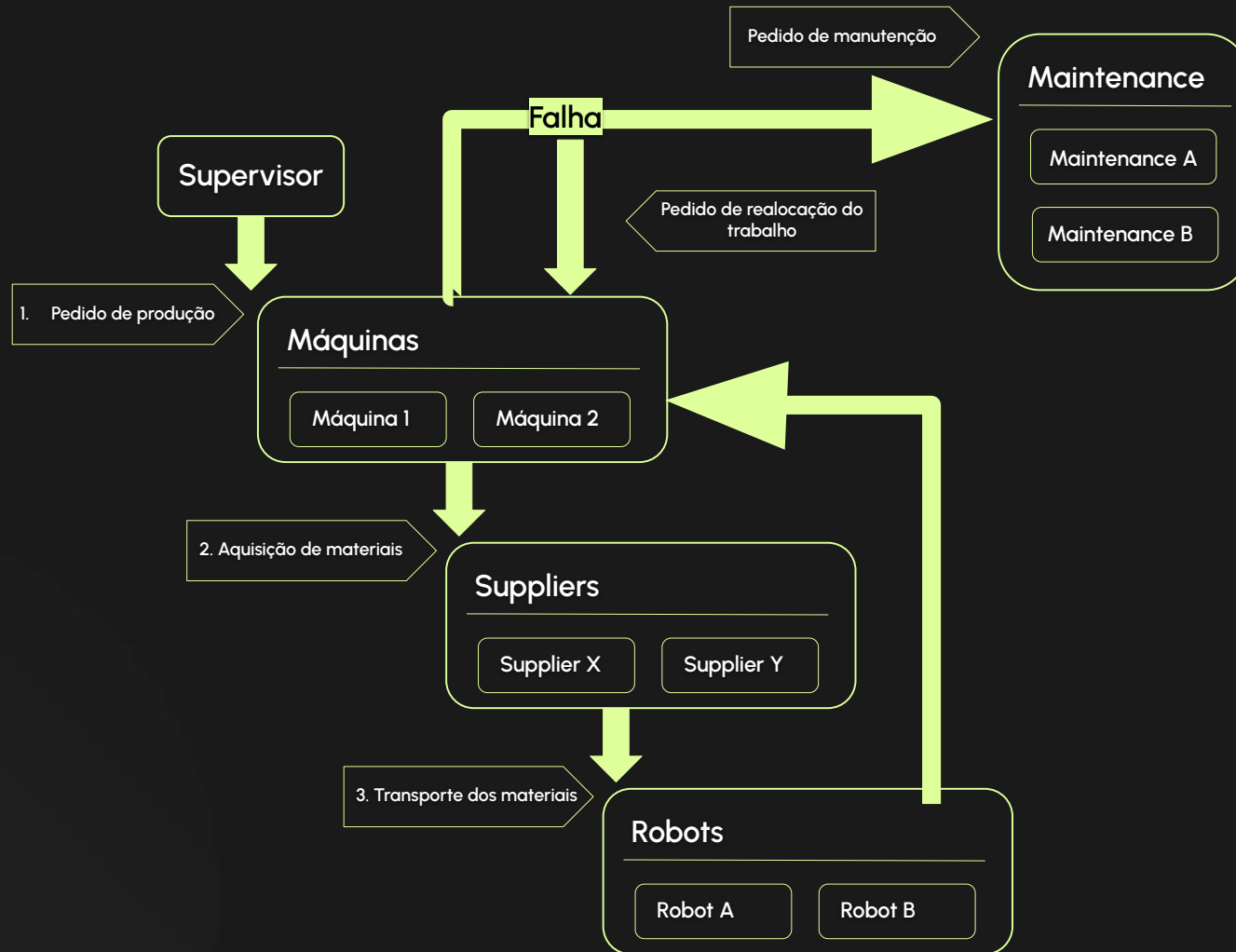


Fig. 1: Arquitetura do Sistema Multi-Agente

# Protocolos de Interação

## Contract Net Protocol (CNP): O pilar da descentralização.

### » Fluxo de Produção:

- » 1. Supervisor ( CFP ) para Máquinas (Proposta: Fila de trabalhos)
- » 2. Máquina ( CFP ) para Suppliers (Proposta: Stock + Distância)
- » 3. Supplier ( CFP ) para Robots (Proposta: Bateria + Distância)

### » Fluxo de Falha (Resiliência):

- » 1. Máq. Avariada ( CFP ) para Manutenção
- » 2. Máq. Avariada ( CFP ) para Outras Máquinas (Realocação)
- » 3. Máq. Realocada( CFP ) para Robots

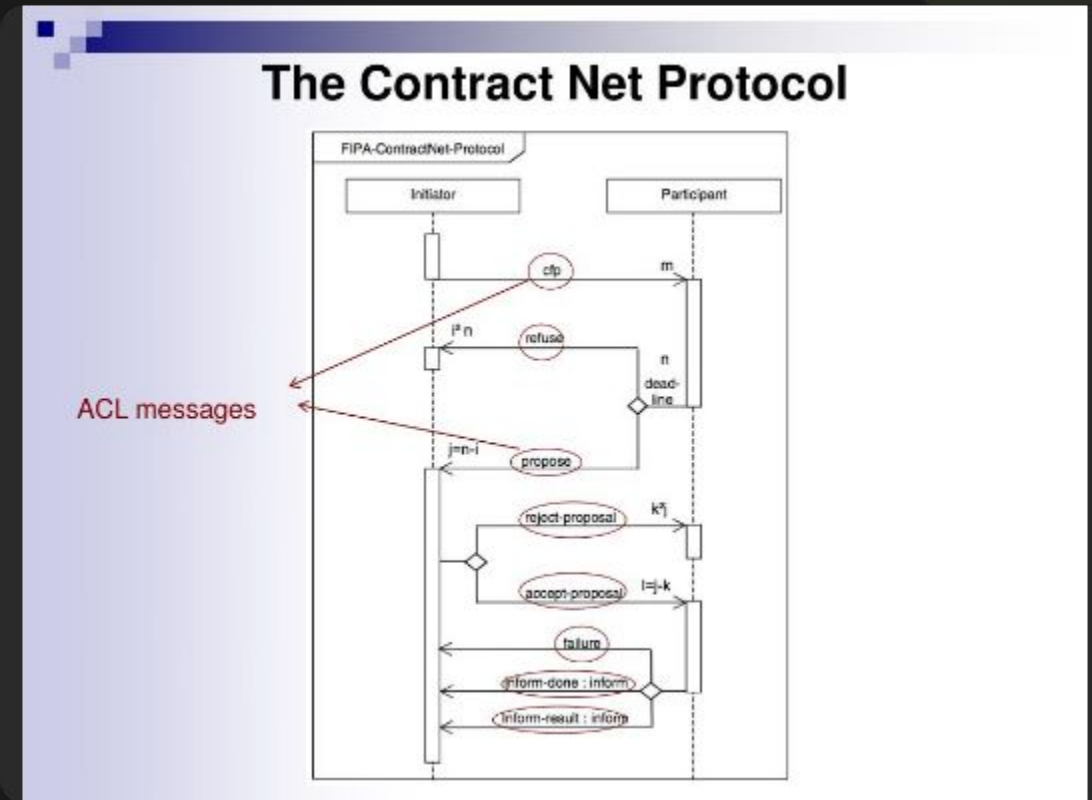


Fig. 2: Arquitetura do CNP

# Decisão e Estratégias

## Decisão da Máquina

Aceita novos trabalhos se a fila  $< 15$ .

Em caso de avaria, delega o trabalho (com o \*step\* exato) à máquina com menor fila e mais próxima.

## Decisão do Robot (Recurso Finito)

Aceita transporte

se:

**Bateria**  $>$  **CustoViagem**

Recusa por falta de energia e entra em modo de recarga por algum tempo.

# Mecanismos e Dinâmicas



**Ambiente Dinâmico:** O Supervisor cria jobs e as Máquinas avariam de forma aleatória.



**Recursos Finitos (Suppliers):** O stock é finito. Ao esgotar, o Supplier entra em modo de recarga, recusando pedidos.



**Recursos Finitos (Manutenção):** As equipas de manutenção só podem atender um pedido de cada vez (estado "Ocupado").



**Gestão de Localização:** Todos os agentes (Máquinas, Robots, Suppliers) têm coordenadas para calcular custos de distância.

# Métricas de Avaliação

## Trabalhos Completos

Eficiência geral do sistema e capacidade de **Production Throughput** sob carga.

## Trabalhos Criados

Volume de trabalho injetado pelo Supervisor.

## Jobs Transferidos

A resiliência do CNP de Transferência em realocar tarefas após falhas.

## Trabalhos Perdidos

Volume de trabalho que foi **cancelado** devido à rutura da cadeia de abastecimento (Falha ou Timeout no CNP de Suprimentos na Fase 0).

## Downtime (ticks)

Tempo total que as máquinas ficaram inoperdas à espera de reparação ou materiais.

# Comparação de Cenários Experimentais

- Cenário 1 (Gestão de recursos): Focou-se na escassez de Transporte e Stock (R/S), utilizando apenas 1 Robô e 1 Supplier para 5 Máquinas.
- Cenário 2 (Gestão de Manutenção): Focou-se na escassez de Crews de Manutenção (C), utilizando apenas 1 Crew para 6 Máquinas, mas com alta capacidade de Robôs (R=4) e Suppliers (S=4).

Jobs Criados	78	90
Jobs Completados	6 (7.7%)	24 (26.7%)
Downtime Total (Ticks)	254	612
Falhas de Máquina	8	14
Jobs Transferidos	3	12



# Análise e conclusões

Conclusão Principal: A capacidade de Abastecimento e Transporte (R/S) é o fator mais importante, resultando na maior taxa de Jobs Lost. O sistema de CNP de Transferência funciona bem, mas é limitado pela disponibilidade do recurso de transporte.

## 1. Desempenho da Produção (Throughput)

- O Cenário 2 (24 Jobs Completos) alcançou 4 vezes mais produção que o Cenário 1 (6 Jobs Completos), mesmo com mais falhas de máquina.
- A causa do fracasso do Cenário 1 foi a falha catastrófica nos recursos: 67 Supply Requests Failed e 67 Jobs Lost. Um único Robô e Supplier não conseguem acompanhar 5 Máquinas, levando a *timeouts* e ao abandono do trabalho.

## 2. Resiliência e Downtime (Teste do CNP)

- Downtime (C1: 254 vs C2: 612): O Cenário 2 validou a deficiência de Manutenção. Com apenas uma Crew (C=1), o Downtime foi extremamente alto (612 ticks), pois cada falha gerou uma longa fila de espera pela reparação.
- Eficácia da Transferência (C1: 3 vs C2: 12): O alto número de Robôs (R=4) no Cenário 2 permitiu a transferência de 12 Jobs após falhas. O sistema conseguiu salvar o trabalho da Máquina avariada e colocá-lo numa Máquina funcional.
- O Cenário 1 (R=1) não conseguiu transferir jobs de forma eficiente, pois o Robô estava 100% do tempo ocupado com tarefas de Supply, mostrando a dependência crítica do CNP de Transferência no recurso Robô.

# Conclusão e Trabalhos Futuros

## Conclusão

---

- ✓ O sistema SMA descentralizado (SPADE) provou ser resiliente a falhas de máquinas e logística.
- ✓ A negociação (CNP) permite a realocação dinâmica de tarefas, minimizando o \*downtime\*.

## Trabalhos Futuros

---

- ✓ Implementar manutenção preditiva (em vez de reativa).
- ✓ Otimizar o consumo de energia dos robots.
- ✓ Adicionar leilões (Auction Protocols) para jobs urgentes.

Perguntas?