

# **CIN – GRANDE PORTO**

Otimização Multiobjetivo (Tempo · CO<sub>2</sub> · Exercício) com NSGA-II + GTFS (STCP/Metro)

# MOTIVAÇÃO E PROBLEMA

- **Decisão diária:** escolher como ir de A → B no Grande Porto
- **Multiobjetivo:** tempo · CO<sub>2</sub> · caminhada
- **Trade-offs:** melhorar um pode piorar outro
- **Objetivo:** mostrar várias rotas (Pareto) e deixar o utilizador escolher

# REQUISITOS DO ENUNCIADO

- **Modos:** Pé · Metro · STCP (autocarro)
- **Objetivos:** Tempo · CO<sub>2</sub> · Exercício (caminhada)
- **Restrições:** Transbordos máx. · Tempo a pé máx.
- **Saída:** Rotas Pareto + seleção na interface

# DADOS E HIPÓTESES

- **Dados:** GTFS – STCP + Metro
- **CO<sub>2</sub> (g/p.km):** Metro 40 · STCP 109.9
- **Caminhada:** 1.4 m/s · CO<sub>2</sub>=0
- **Espera:** aprox. 0.5×headway
- **Domínio:** pontes com/sem acesso pedonal

# CONSTRUÇÃO DO GRAFO MULTIMODAL

- **Nós:** STCP · Metro · Origem/Destino
- **Arestas:** Transporte · Caminhada · Transferências
- **Regras:** pontes (a pé sim/não) + raio pedonal

*“O grafo é o espaço de pesquisa do NSGA-II.”*

# FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

$$\min F(P) = [f_{\text{tempo}}(P), f_{\text{CO}_2}(P), f_{\text{caminhada}}(P)]$$

- **Tempo total:** caminhada + transporte + espera estimada
- **Emissões (CO<sub>2</sub>):** soma(distância\_segmento · fator\_emissão\_modo)
- **Exercício (caminhada):** “maximizar caminhada” é tratado como minimizar (-caminhada)
- **Restrições (hard):**
  - limite máximo a pé (Wmax)
  - máximo de transbordos (Tmax)
  - regras de travessia das pontes

# ALGORITMO EVOLUTIVO: NSGA-II

- **Multiobjetivo:** produz um conjunto de soluções de compromisso (Pareto)
- **Non-dominated sorting:** organiza soluções por frentes ( $F_1, F_2, \dots$ )
  - $F_1$  = soluções não dominadas
- **Crowding distance:** mantém diversidade ao longo da fronteira
- **Objetivo:** aproximar e cobrir bem a Fronteira de Pareto

# REPRESENTAÇÃO & OPERADORES GENÉTICOS

- **Indivíduo:** caminho (sequência de nós) origem - destino (tamanho variável)
- **Crossover:** encontra nó comum e troca sufixos a partir desse ponto
- **Mutação:** substitui um subcaminho  $u \bar{v}$  por uma alternativa (exploração local)
- **Viabilidade:** rotas inválidas/fora de restrições são penalizadas

# SEEDING & BASELINE (DIJKSTRA- $\lambda$ )

- **Seeding inspirado em MOEA/D:** gerar soluções iniciais com Dijkstra- $\lambda$  (vários valores de  $\lambda$ )
- **Custo ponderado (tempo vs CO<sub>2</sub>):**

$$c_\lambda = \lambda \cdot \hat{f}_{\text{tempo}} + (1 - \lambda) \cdot \hat{f}_{\text{CO}_2}$$

- **Grelha de  $\lambda$ :**  $\lambda \in (0, 0.05, \dots, 1)$  → população inicial mais diversa
- **Baseline determinístico:** Dijkstra- $\lambda$  + filtragem Pareto 2D (tempo, CO<sub>2</sub>)

*Seeding reduz gerações “perdidas” a encontrar caminhos válidos.*

# AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

- **Cenários:** gerados por random walk no grafo (short / mid / long)
- **Comparação:** baseline vs NSGA-II, por cenário
- **Métrica principal:** Hipervolume (HV) em 2D (tempo, CO<sub>2</sub>)
  - permite comparação direta com o baseline (2D)
- **Ponto de referência:** 1.10× pior valor observado na união das frentes

# RESULTADOS

- **Observação geral:** em cenários mid/long o NSGA-II tende a melhorar diversidade/cobertura Pareto.
- **Na interface:** o utilizador muda pesos (Tempo/CO<sub>2</sub>/Exercício) e seleciona soluções diferentes do Pareto.

# CONCLUSÕES • FUTURO • AVALIAÇÃO DO GRUPO

- **Conclusões:**

- planeador multimodal devolve rotas não dominadas (Pareto) com trade-offs claros
- NSGA-II + seeding melhora exploração em cenários mais complexos
- interface facilita decisão com preferências e restrições

- **Limitações:**

- GTFS estático (sem atrasos/congestionamento em tempo real)
- velocidade pedonal fixa; topografia/esforço não modelados
- espera/transferências aproximadas

- **Trabalho futuro:**

- incorporar dados em tempo real
- custo pedonal com declive/esforço
- avaliação com múltiplas execuções por cenário (média ± desvio)

## Avaliação de cada elemento do grupo (obrigatório)

Elemento	Contribuição
Francisco Costa	25%
João Mendes	25%
Simão Novais	25%
Vasco Macedo	25%