

# Trabalho de Otimizacao: Relatorio Tecnico

Aluno: Guilherme Fernandes Monteiro (RA 22403229)

Data: 30/10/2025

## 1. Introducao e motivacao

Este estudo investiga a trajetoria plana de um robo que deve se deslocar do ponto inicial (0,0) ao ponto final (10,10). O objetivo e minimizar a energia consumida ao longo do percurso, representada por uma integral do quadrado da velocidade com um termo adicional  $\sin(t)$ . A formulacao foi implementada no Pyomo e resolvida com o solver IPOPT, permitindo analisar diferentes cenarios de discretizacao e restricoes.

## 2. Formulacao matematica do problema

O horizonte de tempo continuo [0, 5] foi discretizado em  $N = 5$  subintervalos com passo  $dt = 1$ . Para cada instante discreto  $i$  definimos variaveis de posicao  $x_i$  e  $y_i$ . A velocidade aproximada em cada intervalo e dada por diferenças finitas. A energia total discretizada pelo metodo dos trapezios pode ser escrita como:  $E = \sum_{i=0}^{N-1} 0.5 * [(v_i^2 + \sin(t_i)) + (v_{i+1}^2 + \sin(t_{i+1}))] * dt$ , onde  $v_i^2 = [(x_{i+1} - x_i)/dt]^2 + [(y_{i+1} - y_i)/dt]^2$ . As restricoes fixam os pontos inicial e final do robo.

## 3. Justificativa para a escolha do solver IPOPT

A função objetivo é não linear e depende quadraticamente das variáveis de decisão. O IPOPT é um solver de programação não linear de ponto interior, integrado ao Pyomo, capaz de lidar com funções suaves e restrições gerais. Ele é adequado para problemas de escala média, fornece diagnósticos detalhados e permite especificar bounds e derivadas analíticas.

## 4. Resultados numericos do caso base

Com  $N = 5$  e  $dt = 1$ , o solver retornou status ok e condição óptima. A energia minimizada foi 35.9497. As coordenadas ótimas mostram uma trajetória praticamente linear, com pontos aproximados: (0,0), (3.529, 3.529), (5.294, 5.294), (7.059, 7.059), (8.824, 8.824) e (10,10). O termo  $\sin(t)$  pouco altera a solução devido ao passo relativamente grande.

## 5. Experimentos extras e analise

- Sensibilidade em  $N$ : aumentar o número de subintervalos preserva a trajetória quase linear, mas modifica levemente a energia.
- Checkpoint intermediário: obrigar a passagem por (5,6) desloca a linha reta e aumenta o custo energético.
- Penalização adicional: termos quadráticos em relação ao destino ajustam a curva para favorecer aproximação progressiva.
- Biblioteca de pistas: compara linha direta, checkpoint central e corredor guiado, evidenciando trade-offs de energia.
- Animação: apresenta a melhor trajetória de forma dinâmica para facilitar a comunicação dos resultados.

## 6. Conclusões

O estudo confirma que a minimização da energia com discretização simples leva a uma trajetória linear. Mesmo assim, o framework em Pyomo permite testar rapidamente novas discretizações, restrições e funções objetivo. O IPOPT demonstrou robustez e forneceu soluções ótimas com diagnósticos claros. Os experimentos extras enriquecem a análise e justificam escolhas de modelagem para relatórios técnicos ou

defesa do projeto.