

Otimização de Rotas de Insumos Hospitalares

Charles A. W. Kulkauski - RM368344

1. Descrição do Problema: O Problema do Caixeiro Viajante (TSP)

O problema central deste projeto é uma variação do clássico **Problema do Caixeiro Viajante (Traveling Salesman Problem - TSP)**. O objetivo é encontrar a rota mais curta que visite um conjunto de unidades hospitalares e retorne ao ponto de origem (Base).

Diferente do TSP padrão, este cenário impõe restrições reais de logística hospitalar:

- **Janelas de Tempo:** Cada entrega possui um horário de início e fim.
- **Capacidade de Carga:** O veículo possui um limite de peso.
- **Autonomia:** O combustível do veículo limita a distância total percorrida.
- **Criticidade:** Insumos mais urgentes geram penalidades maiores em caso de atraso.

2. Detalhes da Implementação do Algoritmo

Construção do Algoritmo Genético

O algoritmo foi desenvolvido para converter coordenadas geográficas em uma matriz de distância e evoluir soluções através dos seguintes componentes:

- **Representação (Cromossomo):** Cada indivíduo é uma lista de índices representando a ordem de visita, iniciando e terminando obrigatoriamente no índice 0 (Ponto Base).
- **Função Fitness (Cálculo de Aptidão):** É o cérebro da aplicação. O custo de uma rota não é apenas a distância, mas a soma da distância total com as seguintes **penalidades**:
 - **Multa de Atraso:** Calculada com base nos minutos excedentes da janela de tempo, multiplicada pelo nível de criticidade do produto.
 - **Multa de Capacidade:** Aplicada caso o peso total acumulado dos insumos exceda a capacidade do veículo.

- **Multa de Autonomia:** Uma penalidade quadrática aplicada quando a rota excede a quilometragem máxima permitida pelo combustível disponível.
- **Seleção por Torneio:** Seleciona os pais para a próxima geração. Grupos de indivíduos competem entre si, e o de melhor fitness (menor custo) vence. Isso garante que boas rotas sobrevivam sem descartar prematuramente a diversidade genética.
- **Order Crossover (OX):** Operador de cruzamento especializado para problemas de rota. Ele preserva uma sub-rota eficiente de um pai e preenche o restante com a ordem relativa do segundo pai, evitando a duplicidade de destinos.
- **Mutação (Swap):** Troca aleatoriamente a posição de dois pontos de entrega na rota com base em uma taxa de probabilidade, permitindo que o sistema explore novas rotas e escape de mínimos locais.
- **Elitismo:** Garante que a melhor rota absoluta de cada geração seja copiada intacta para a próxima, assegurando que o desempenho do algoritmo nunca piore ao longo do tempo.

3. Análise de Resultados

Durante a execução, o sistema monitora a evolução através de uma **Curva de Convergência**.

- **População Inicial:** Geralmente apresenta custos altíssimos (ex: $9.6e+03$) devido às múltiplas violações de janelas de tempo e peso.
- **Otimização:** Em poucos segundos de processamento, o algoritmo "aprende" a organizar as entregas geograficamente e cronologicamente.
- **Convergência:** Observa-se uma redução drástica no fitness (ex: melhoria de ~99%), indicando que as penalidades foram eliminadas e a rota foi refinada para sua menor distância possível dentro das regras impostas.

4. Análise de Complexidade

- **Algoritmo Genético:** $O(G * P * N)$, onde **G** é o número de gerações, **P** o tamanho da população e **N** o custo do cálculo de fitness (proporcional ao número de paradas). Diferente da Força Bruta ($O(n!)$), o AG encontra soluções de alta qualidade em tempo polinomial.

5. Conclusão

Embora o Algoritmo Genético não garanta matematicamente o "ótimo global" (a única melhor rota entre bilhões), ele se mostra extremamente eficaz para o problema hospitalar. Ao ajustar parâmetros como taxa de mutação e tamanho da população, o software consegue identificar rotas que respeitam critérios complexos de saúde e logística em poucos segundos, algo que seria impossível de realizar manualmente ou por métodos exaustivos.