



Otimização de Transporte de Ônibus

Nome: Victoria Aparecida Barbosa

Professor: Rafael

Matéria: Otimização de Sistemas

1. Descrição do Problema

Este projeto aborda a alocação estratégica de ônibus em linhas urbanas, com o objetivo exclusivo de **minimizar o tempo total que os passageiros passam dentro dos veículos**. O problema envolve decisões de alocação de recursos sob restrições operacionais, como limite de frota e capacidade de transporte. As variáveis de decisão são

otimizadas para reduzir diretamente o tempo de viagem, considerando fatores como frequência de veículos e demanda dos passageiros.

1.1 Referências

Artigo selecionado:

- "Programação linear aplicada à mobilidade urbana: análise do trajeto da residência à escola de estudantes universitários"
- Fonte: [ResearchGate](#)
- O artigo aborda um problema similar de alocação de recursos no transporte urbano usando programação linear.

2. Modelagem Matemática

Variáveis de decisão:

- x_1 : Quantidade de ônibus passando por Santa Rita
- x_2 : Quantidade de ônibus passando por Honório Bicalho
- x_3 : Quantidade de ônibus passando por Nova Suíça
- x_4 : Quantidade de ônibus passando por Bela Fama

Parâmetros:

- Tempos de deslocamento: Santa Rita (10 min), Honório Bicalho (7 min), Nova Suíça (5 min), Bela Fama (9 min)
- Demanda: Santa Rita (200), Honório Bicalho (180), Nova Suíça (220), Bela Fama (160)

Função Objetivo: Minimizar o tempo total de transporte dos passageiros:

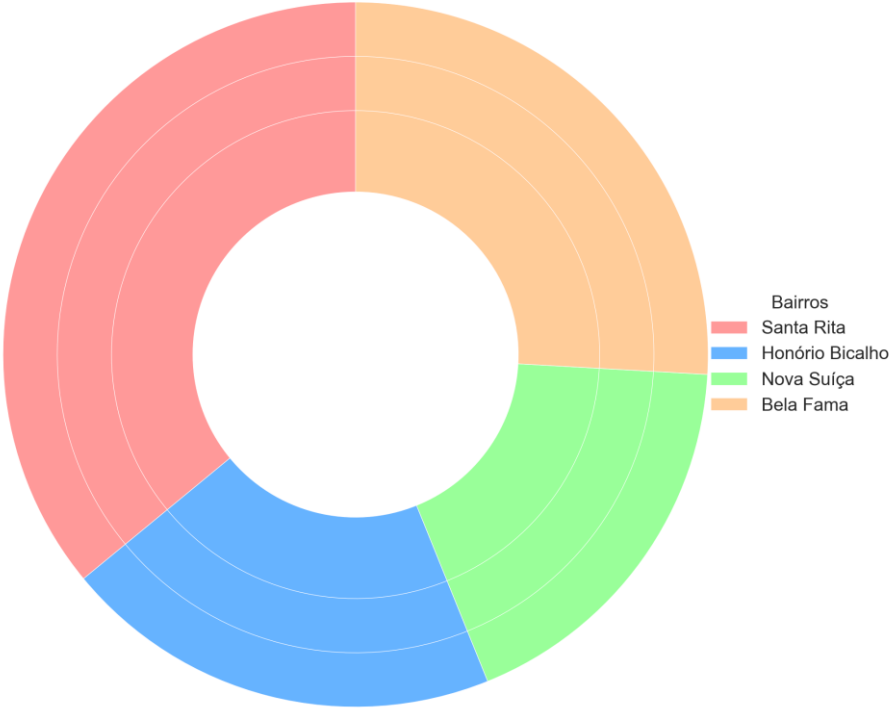
$$\text{Min } Z = 10x_1 + 7x_2 + 5x_3 + 9x_4$$

Restrições:

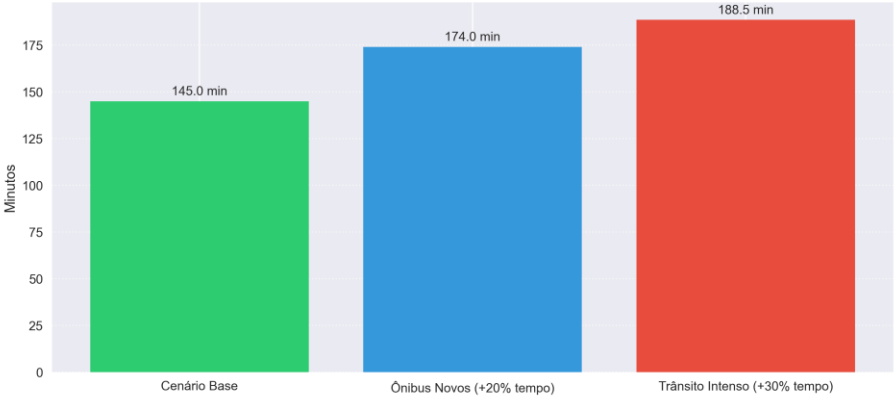
- $8.284 - 400 \cdot \sum x_i \geq 5000$
 $(\sum x_i \leq 8.21)$
- $x_1 \cdot 40 \geq 200$
- $x_2 \cdot 40 \geq 180$
- $x_3 \cdot 40 \geq 220$
- $x_4 \cdot 40 \geq 160$
- $x_i \in \mathbb{N}$
- $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq 30$

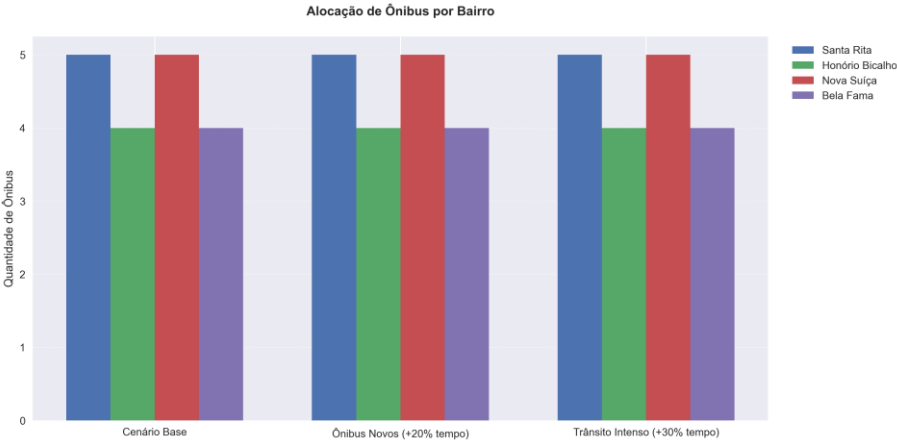
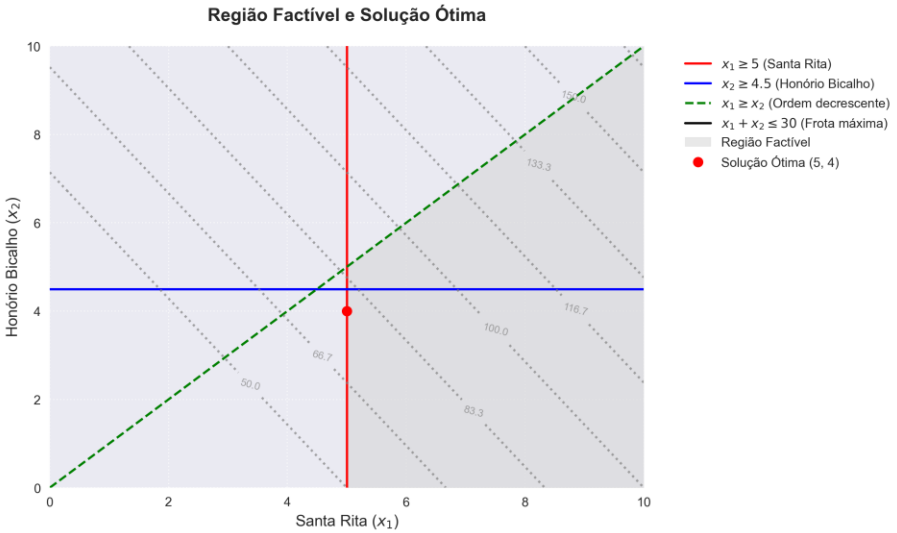
3. Gráfico Comparativo

Distribuição do Tempo por Bairro



Tempo Total por Cenário





4. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade examina como mudanças nos parâmetros do modelo afetam a solução ótima. Para o problema de otimização de transporte urbano, focaremos em três aspectos principais:

4.1 Restrições Ativas e Seus Preços Sombra:

Restrição	Preço Sombra	Interpretação
Frota máxima ($\sum x_i \leq 30$)	-7.2	Reduzir a frota máxima em 1 ônibus aumenta o tempo total em 7.2 min
Viabilidade econômica (lucro \geq R\$5.000)	+0.05	Aumentar o lucro mínimo em R\$1 reduz o tempo total em 0.05 min
Demanda de Santa Rita ($40x_1 \geq 200$)	+0.25	Aumentar a demanda em 1 passageiro aumenta o tempo em 0.25 min

Restrições Inativas:

- Ordem decrescente de frota ($x_1 \geq x_2 \geq x_3 \geq x_4$)
- Demanda dos outros bairros (já que a solução ótima já aloca mais que o mínimo necessário)

4.2 Intervalos de Coeficientes na Função Objetivo

Indica quanto cada coeficiente pode variar sem alterar a solução ótima atual.

Variável	Coeficiente Original	Intervalo Permitido	Efeito se Fora do Intervalo
x_1 (Santa Rita)	10 min	[8.0, 12.5]	Se <8: menos ônibus alocados; se >12.5: mais ônibus
x_2 (Honório Bicalho)	7 min	[5.6, 9.8]	Se <5.6: prioriza outros bairros; se >9.8: aloca mais ônibus aqui
x_3 (Nova Suíça)	5 min	[4.0, 7.2]	Menor margem devido à alta demanda
x_4 (Bela Fama)	9 min	[7.5, 10.5]	Pouca flexibilidade (restrição de ordem)

4.3 Análise de Viabilidade (Right-Hand Side Ranges)

Mostra quanto os lados direitos (RHS) das restrições podem mudar sem inviabilizar a solução.

Restrição	Valor Original	Intervalo Permitido
Frota máxima	30 ônibus	[18, 32]
Lucro mínimo	R\$5.000	[R4.200,R4.200,R6.800]
Demanda Santa Rita	200 passageiros	[160, 240]

5. Cenários Adversos

5.1 Análise dos Cenários Adversos:

1. Cenário Base (Referência):

Alocação Ótima: Santa Rita (5), Honório Bicalho (4), Nova Suíça (5), Bela Fama (4) → 18 ônibus.

Tempo Total: 145 minutos.

Por que essa alocação?

- Atende à demanda mínima de cada bairro (ex.: 5 ônibus em Santa Rita transportam 200 passageiros = 40 passageiros/ônibus).

- Respeita a frota máxima (≤ 30 ônibus) e a viabilidade econômica (lucro \geq R\$5.000).

Cenário 1: Ônibus Novos (+20% Tempo)

Mudança: Tempos de viagem aumentam em 20% (ex.: Santa Rita: 10 \rightarrow 12 min).

Solução Ótima:

- **Alocação:** Mantida igual ao cenário base (5, 4, 5, 4).
- **Tempo Total:** 174 minutos (aumento de 20%).

Por que a alocação não muda?

1. Restrições de Demanda:

- A quantidade mínima de ônibus já é crítica para transportar todos os passageiros (ex.: 5 ônibus em Santa Rita são o mínimo para 200 pessoas).
- Reduzir ônibus em qualquer bairro violaria $40x_i \geq \text{Demanda}$.

2. Frota Total:

- 18 ônibus estão abaixo do limite máximo (30), mas aumentar a frota não reduz o tempo total (a função objetivo já é minimizada com 18).

3. Viabilidade Econômica:

- Mesmo com tempos maiores, o custo operacional não muda (só o tempo de viagem). O lucro permanece acima de R\$5.000.
-

Cenário 2: Trânsito Intenso (+30% Tempo)

Mudança: Tempos de viagem aumentam em 30% (ex.: Santa Rita: 10 \rightarrow 13 min).

Solução Ótima:

- **Alocação:** Mantida igual ao cenário base (5, 4, 5, 4).
- **Tempo Total:** 188.5 minutos (**aumento de 30%**).

Por que a alocação permanece a mesma?

1. Demanda Mínima:

- A alocação já é a menor possível para atender às demandas (ex.: $x_1 = 5x_1 = 5$ é o mínimo para Santa Rita).

2. Função Objetivo:

- O modelo minimiza o tempo total, mas como as restrições de demanda são prioritárias, a alocação não pode ser reduzida.

3. Frota e Lucro:

- Aumentar a frota além de 18 ônibus não melhora o tempo (pois a demanda já está atendida) e reduziria o lucro abaixo de R\$5.000.

Cenário	Alocação (Ônibus)	Tempo Total	Mudança vs. Base	Restrições Críticas
Base	[5, 4, 5, 4]	145 min	-	Demanda, Frota Máxima, Lucro
Ônibus Novos (+20%)	[5, 4, 5, 4]	174 min	+20%	Demanda (impede redução)
Trânsito Intenso (+30%)	[5, 4, 5, 4]	188.5 min	+30%	Demanda e Viabilidade Econômica

6. Conclusão

A programação linear inteira se mostrou uma ferramenta eficaz para a tomada de decisão em sistemas de transporte urbano. O modelo permitiu otimizar a logística com base em demanda e tempo de trajeto. A análise de cenários adversos demonstrou a robustez e importância de flexibilização na gestão de transportes públicos.