



# Planejamento de Vendas de modal Ferroviário

Seminário 1 - Pesquisa Operacional  
Matheus Cascalho dos Santos



# Sumário

- O problema;
- Restrições;
- As instâncias de teste;
- Algoritmo;
- Bibliografia

---

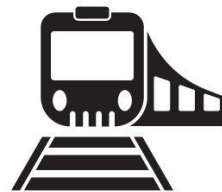
# O Problema

# Planejamento de Vendas e Operações - S&OP



S&OP (Sales and Operations Planning) é um processo de planejamento integrado que busca gerir as áreas de um negócio alinhando demanda, suprimento e planejamento financeiro.

Uma das diversas áreas que pode se utilizar do processo de S&OP é o setor de **logística ferroviária**. Decisões como a melhor alocação de ativos (e.g.: vagões, locomotivas), planejamento de manutenções e o aceite de demandas ferroviárias pode direcionar o **lucro** que a empresa irá ter



## Caracteriza do problema

Uma empresa de transporte ferroviário possui uma frota de  $N$  trens. Cada trem pode fazer uma quantidade  $x$  de viagens partindo do ponto  $i$  e indo até um terminal de carregamento  $j$ , carregando um determinado produto e descarregando em terminal de descarga  $k$ . Em cada viagem, o trem  $n$  irá transportar um determinado volume  $v_{jk}$  que é o volume do trem partindo de  $j$  para  $k$ .

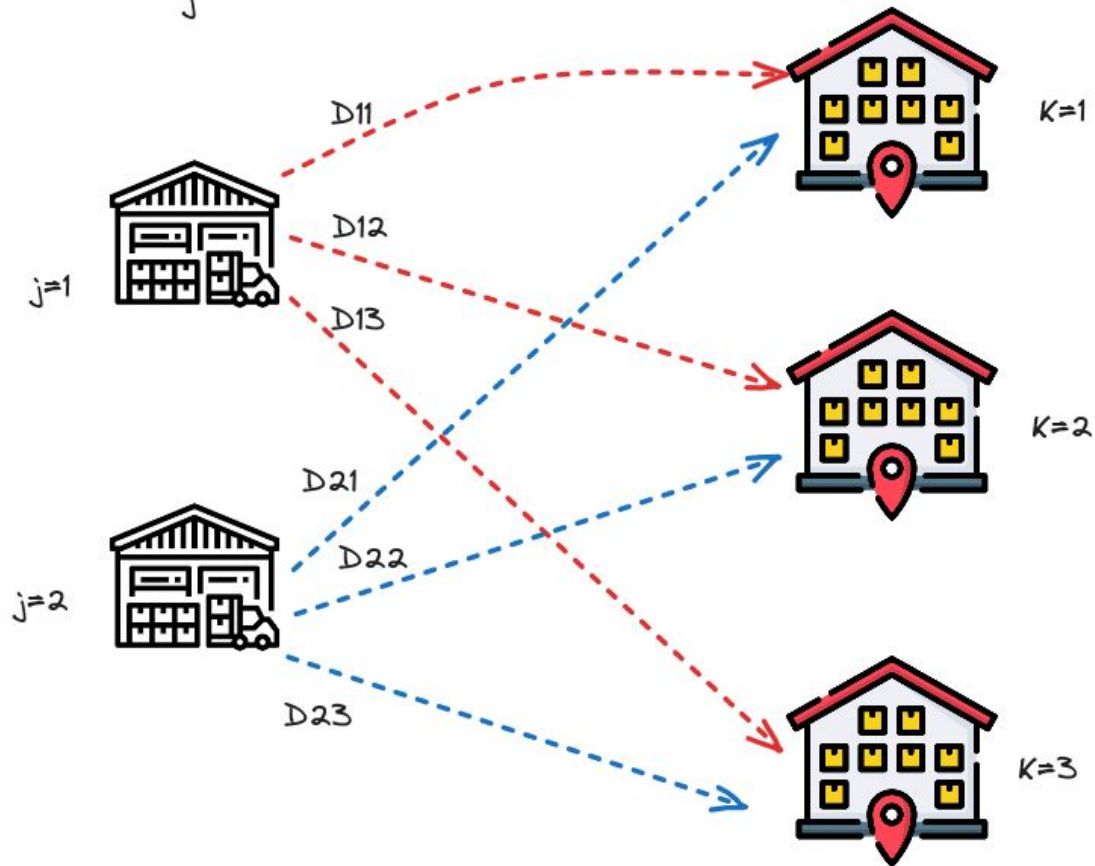
Na reunião de S&OP, os responsáveis pelo planejamento ferroviário recebem um conjunto de demandas  $D$  que estabelece as quantidades máximas de volume a ser transportado entre cada ponto  $j$  e  $k$ . Dado que cada fluxo  $j$ - $k$  tem um custo associado às restrições da ferrovia, os responsáveis precisam então definir o volume que irão atender de cada fluxo de forma a **maximizar** o atendimento da demanda

Terminais de carregamento

$j$

Terminais de descarregamento

$k$





## Variável de decisão e Função objetivo

**Variável de decisão:**  $x_{nijk}$  - Quantidade de viagens que o trem  $n$  faz a partir do ponto de descarga  $i$ , carrega no ponto de carregamento  $j$  e descarrega no ponto de descarga  $k$ .

**Domínio:**  $x_{nijk}$  é uma variável inteira positiva

**Função objetivo:** Seja  $N$  o conjunto de trens da frota,  $U$  o conjunto de terminais de descarregamento e  $L$  o conjunto de terminais de carregamento, temos como função objetivo:

$$\max z = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^U \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^U v_{jk} x_{nijk}$$

---

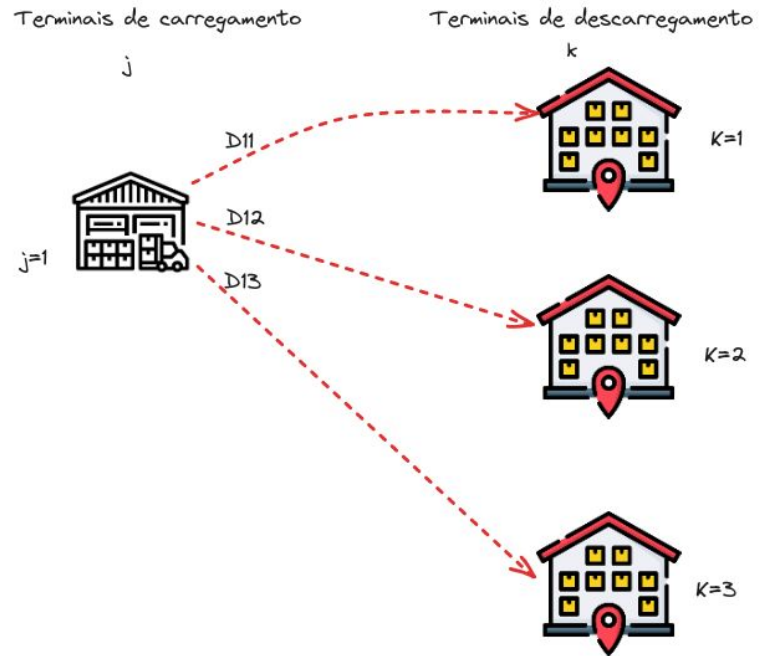
# Restrições



# Capacidade de carregamento

Cada terminal de carregamento  $j$  possui uma capacidade de carregamento  $C_j$  (dada em toneladas) que impõe a seguinte restrição para o problema:

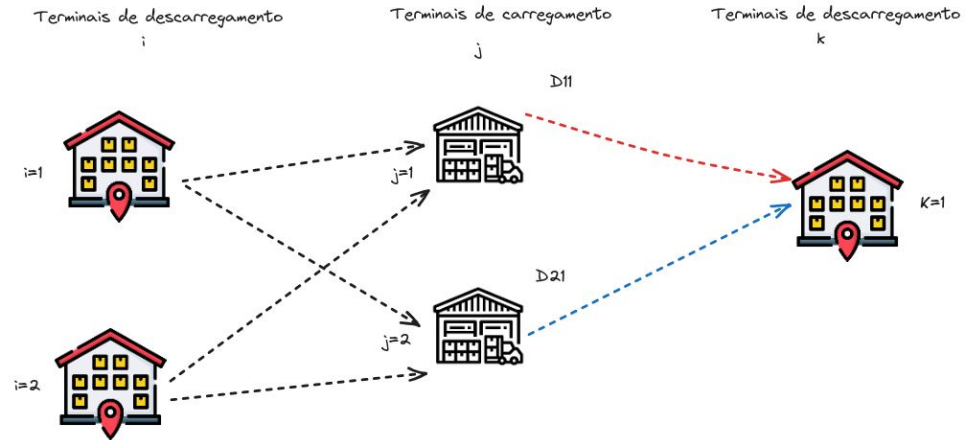
$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^U \sum_{k=1}^U v_{jk} x_{nijk} \leq C_j \quad \forall j \in L$$



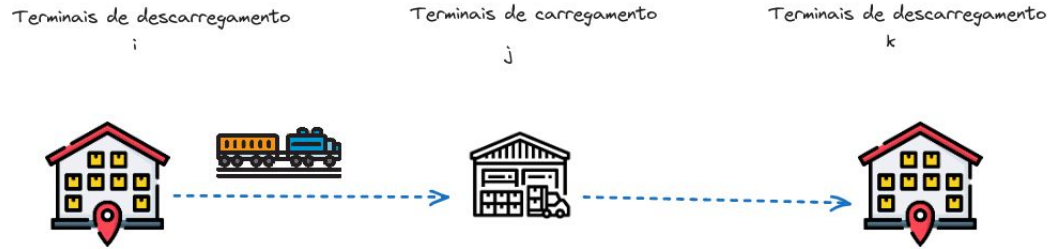
# Restrição de intercâmbio

Por questões contratuais, cada destino possui um limite  $B_k$  de viagens que pode receber. Esse limite é expresso na restrição:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^U \sum_{j=1}^L x_{nij k} \leq B_k \quad \forall k \in U$$



# Horizonte de tempo



Cada viagem realizada pelo trem  $n$  dura um tempo definido por  $t_{ijk}$ . As demandas precisam ser atendidas em determinado horizonte de tempo  $H$ , o que é expresso pela seguinte equação:

$$\sum_{i=1}^U \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^U x_{nijk} t_{ijk} \leq H \quad \forall n \in N$$



# Demanda

Cada fluxo  $jk$  tem uma demanda máxima que é o que cada cliente está disposto a contratar de entrega ferroviária, e também pode definir valor mínimos de demanda que devem ser respeitadas a fim de evitar multas contratuais

- Demanda Máxima:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^U v_{jk} x_{nijk} \leq D_{jk}^{max} \quad \forall j \in L \quad \forall k \in U$$

- Demanda Mínima:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^U v_{jk} x_{nijk} \geq D_{jk}^{min} \quad \forall j \in L \quad \forall k \in U$$

---

# As instâncias de teste

Terminal de Carregamento - j	Capacidade de carregamento [ton]
1	165000
2	179000
3	45000

Terminal de Descarregamento - k	Max Viagens - B
1	30
2	10
3	20

fluxo	Tamanho do trem [ton]
$v_{1k}$	7630
$v_{2k}$	4500
$v_{3k}$	4500

Terminal de Carregamento - j	Tempo de viagem [dias]
$x_{i1k}$	4,5
$x_{i2k}$	3,75
$x_{i3k}$	5,9

Teste 1: cenário com 3 terminais de carregamento e 3 terminais de descarga

Origem (j)	Destino (k)	Demanda mínima	Demanda máxima
1	1	10000	45900
1	2	11750	65000
2	1	20000	63400
3	1	0	23000
3	2	0	45000
3	3	4900	80000

Teste 1: Demandas. Esse cenário tem uma disponibilidade de 10 trens na frota e o horizonte de tempo será de 30 dias

---

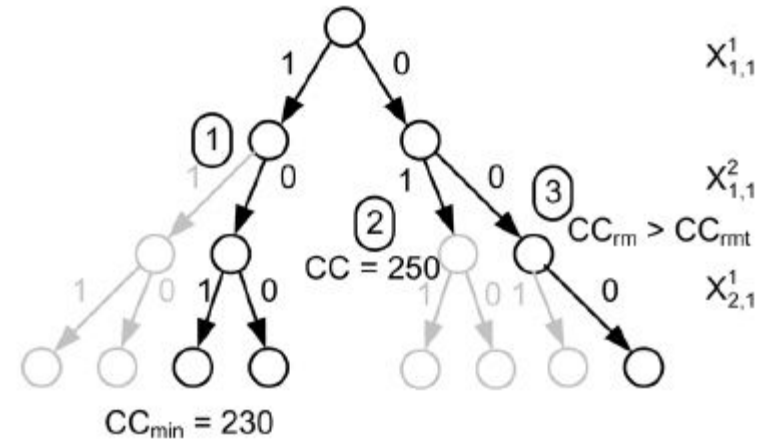
# Algoritmo



# Branch and Cut

Por se tratar de um problema de Programação Linear Inteira, o algoritmo utilizado para encontrar a solução ótima será o Branch & Cut, realizando **busca em profundidade**.

Caso o tempo de execução seja muito demorado, estabeleceremos como critérios de parada tempo e GAP máximo.





# Bibliografia

- “O que é planejamento de vendas e operações (S&OP)?”  
<<https://www.sap.com/brazil/products/scm/integrated-business-planning/what-is-supply-chain-planning/sop-sales-operations.html>>