

## EVRP - Electric Vehicle Routing Problem

Tabela 1. Definições de conjuntos

$N$	Conjunto de todos os pontos (clientes e pontos de recarga)
$R \subset N$	Conjunto de pontos de recarga
$C \subset N$	Conjunto de clientes
$K$	Conjunto de veículos
$N' = N \cup \{0\}$	Conjunto de pontos, incluindo o depósito 0 (centro de distribuição).

Tabela 2. Definições de parâmetros

$d_{ij}$	Distância entre os pontos $i$ e $j$
$Q_k$	Capacidade da bateria do veículo $k$ (em kWh)
$v$	Velocidade média do Veículo
$c_k$	Quantidade de energia que o veículo $k$ consome por quilômetro (em kWh/km)
$r_i$	Potência de recarga no posto de recarga $i \in R$ (em kW)
$q_i$	Demanda do pedido do cliente $i \in C$
$l_i$	Leadtime do cliente $i \in C$
$s_i$	Tempo de serviço necessário para atender o cliente $i \in C$
$t_0$	Tempo de partida no centro de distribuição 0

Tabela 3. Definições de variáveis

$x_{ij}^k$	Binária	Variável binária que indica se o veículo $k$ viaja do ponto $i$ para o ponto $j$
$y_i^k$	Reais positivos	Quantidade de bateria restante no veículo $k$ ao sair do ponto $i$
$t_i^k$	Reais positivos	Tempo de chegada do veículo $k$ para atender o cliente $i \in C$
$u_i^k$	Reais positivos	Quantidade de carga adicionada ao veículo $k$ no ponto de recarga $i (i \in R)$
$z_i^k$	Binária	Variável binária que indica se o veículo $k$ recarrega no ponto $i (i \in R)$

Função objetivo:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in N'} \sum_{j \in N'} d_{ij} \cdot x_{ij}^k$$

**Minimizar a distância total percorrida pelos veículos**

Sujeito a:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N'} x_{ij}^k \geq 1$$

$$\forall i \in C$$

**Atendimento de todos os pedidos de um cliente:** Cada pedido  $p \in P_i$  deve ser atendido exatamente uma vez

$$y_i^k \leq \frac{Q_k}{c_k}$$

$$\forall i \in N', \forall k \in K$$

**Capacidade de bateria e consumo de energia:** A carga da bateria deve ser suficiente para percorrer a distância entre dois pontos, e a recarga ocorre apenas nos pontos de recarga

$$y_i^k + u_i^k \cdot z_i^k \leq \frac{Q_k}{c_k}$$

$$\forall i \in R, \forall k \in K$$

Nos pontos de recarga  $R \subset N$

$$z_i^k = 0$$

$$\forall i \notin R, \forall k \in K$$

**Recarga apenas em pontos de recarga:** A recarga só pode ocorrer nos pontos de recarga  $\forall i \in R$

$$y_i^k - y_j^k \geq d_{ij} \cdot x_{ij}^k$$

$$\forall i, j \in N', \forall k \in K$$

**Autonomia garantida:** A bateria do veículo nunca pode ser completamente descarregada ao se mover de um ponto  $i$  para  $j$

$$t_i^k + s_i \leq l_i$$

$$\forall i \in C, \forall k \in K$$

**Leadtime dos pedidos:** O tempo de chegada do veículo  $k$  para atender o pedido  $p \in P_i$  deve respeitar o leadtime associado ao pedido

$$\sum_{j \in N'} x_{ij}^k = \sum_{j \in N'} x_{ji}^k$$

$$\forall i \in N', \forall k \in K$$

**Conservação de fluxo:** O fluxo de veículos entre os nós deve ser mantido

$$t_j^k \geq t_i^k + s_i + \frac{d_{ij}}{v} + \left( u_i^k \cdot \frac{r_i}{c_k} \cdot z_i^k \right)$$

$$\forall i \in N', \forall j \in N', \\ \forall k \in K$$

**Tempo de serviço por pedido:**  
O tempo de chegada do veículo para atender o pedido  $p \in P_i$  deve incluir o tempo de serviço

$$\sum_{j \in N'} x_{0j}^k = 1$$

$$\sum_{i \in N'} x_{i0}^k = 1$$

$$\forall k \in K$$

**Partida e retorno ao centro de distribuição:** Cada veículo deve partir do depósito 0 e retornar a ele