Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Ciência da Computação

Otimização de alocação e roteamento de manutenção para complexos eólicos no litoral

Marina S. Mendes
Jordi A. Reinsma

August 22, 2017

Conteúdo

Figure: Exemplo de complexo eólico

- O problema deste trabalho pode ser categorizado como um problema de roteamento de veículos com "pick-up and delivery".[1]

- O problema deste trabalho pode ser categorizado como um problema de roteamento de veículos com "pick-up and delivery".[1]
- Uma quantidade de técnicos precisa ser transferida de pontos de busca para pontos de entrega. O objetivo é encontrar rotas ótimas para a embarcação ou frota de embarcações para visitar os pontos de busca e entrega.

- O problema deste trabalho pode ser categorizado como um problema de roteamento de veículos com "pick-up and delivery".[1]
- Uma quantidade de técnicos precisa ser transferida de pontos de busca para pontos de entrega. O objetivo é encontrar rotas ótimas para a embarcação ou frota de embarcações para visitar os pontos de busca e entrega.
- O modelo encontra a alocação ótima para manutenção das turbinas e as rotas ótimas para as embarcações que vão até elas.

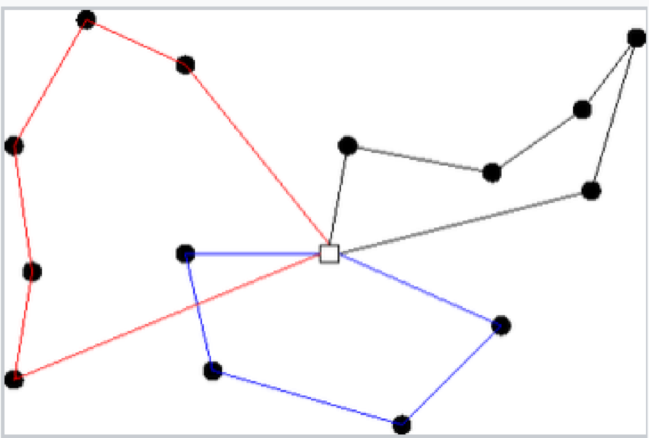

Figure: Exemplo do VRP

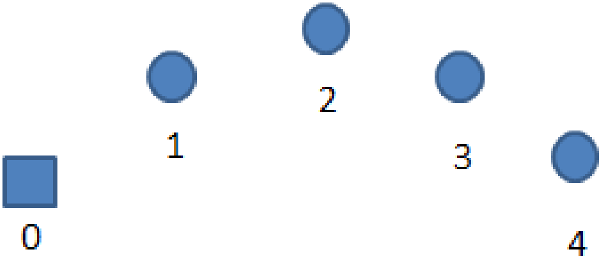

Figure: Exemplo do modelo com 4 nós

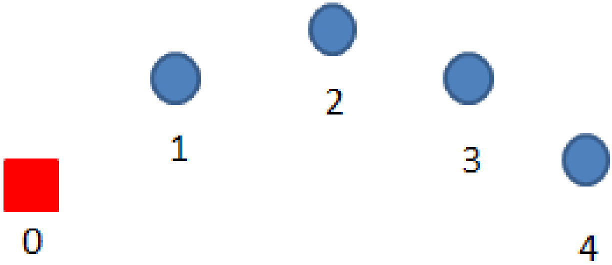

Figure: A embarcação sai da base

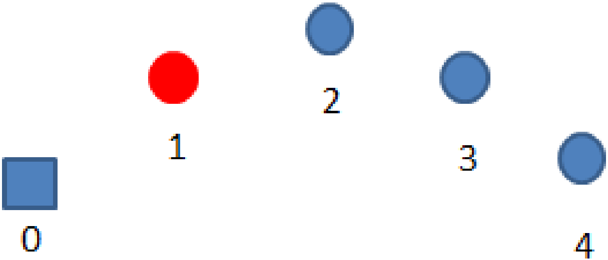

Figure: Primeira turbina a ser feita a manutenção

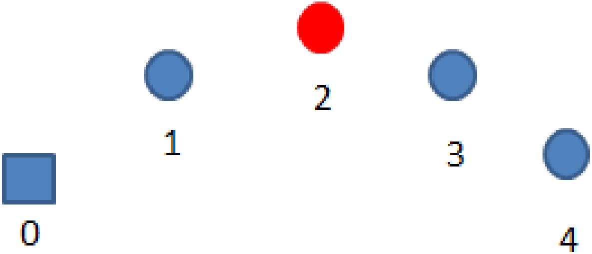

Figure: Segunda turbina a ser feita a manutenção

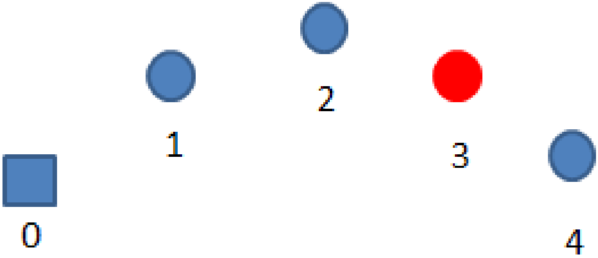

Figure: Terceira turbina a ser feita a manutenção

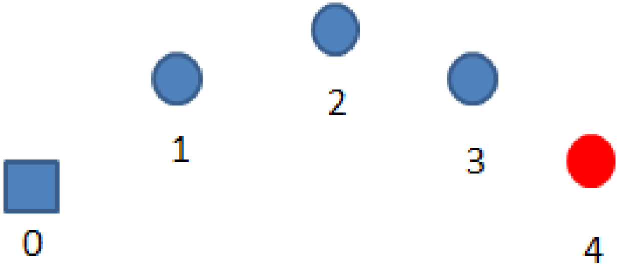

Figure: Última turbina a ser feita a manutenção

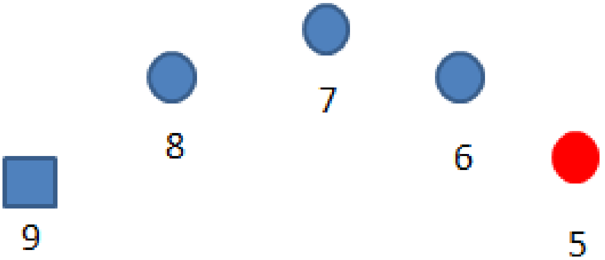

Figure: Primeira turbina onde buscar os técnicos após a manutenção

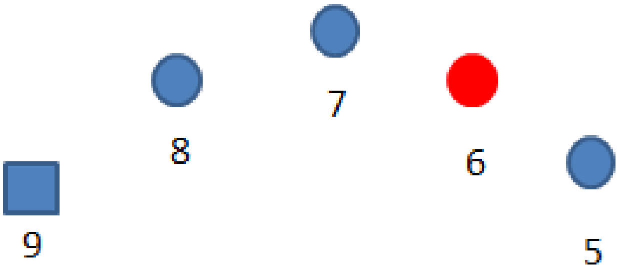

Figure: Segunda turbina onde buscar os técnicos após a manutenção

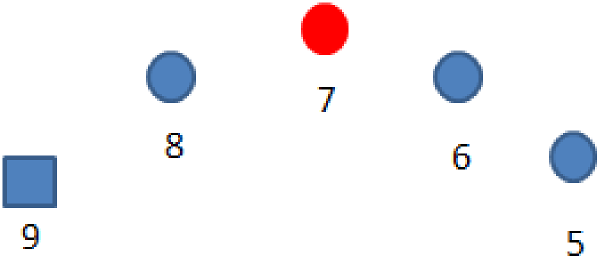

Figure: Terceira turbina onde buscar os técnicos após a manutenção

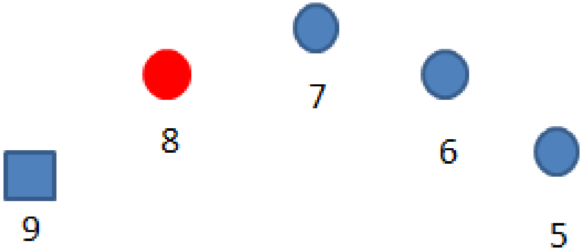

Figure: Quarta turbina onde buscar os técnicos após a manutenção

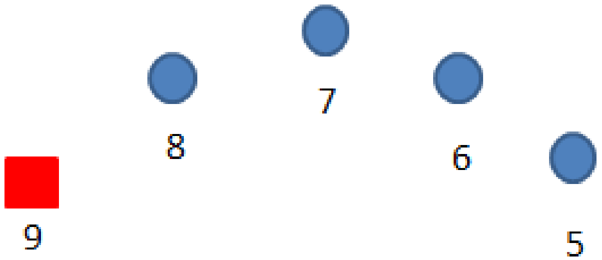

Figure: A embarcação retorna para a base

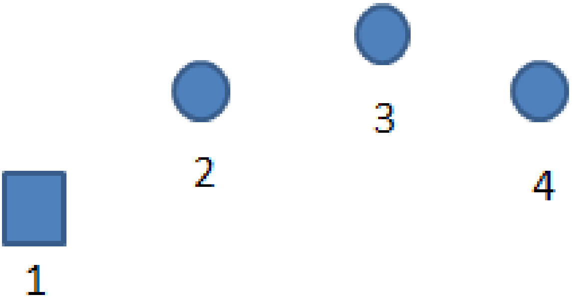

Figure: Exemplo com 4 nós (base inclusa)

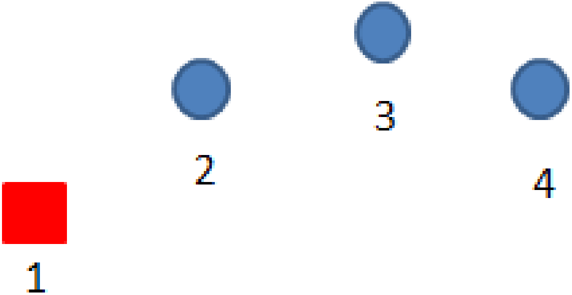

Figure: A embarcação sai da base

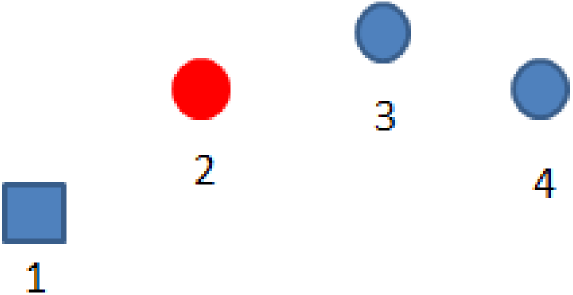

Figure: Primeira turbina a ser feita a manutenção

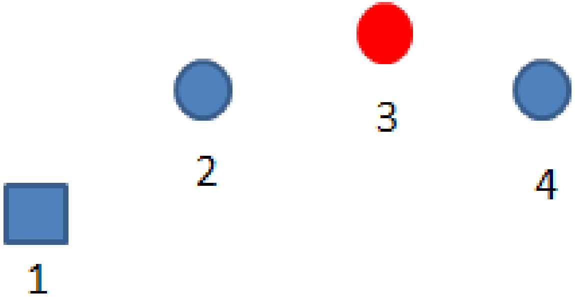

Figure: Segunda turbina a ser feita a manutenção

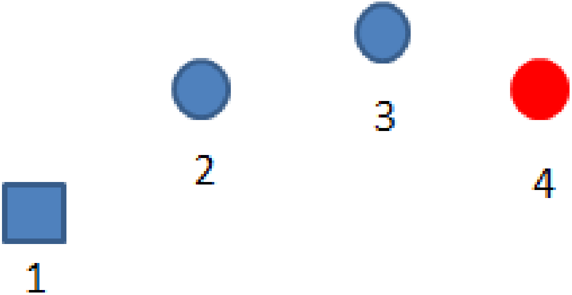

Figure: Última turbina a ser feita a manutenção

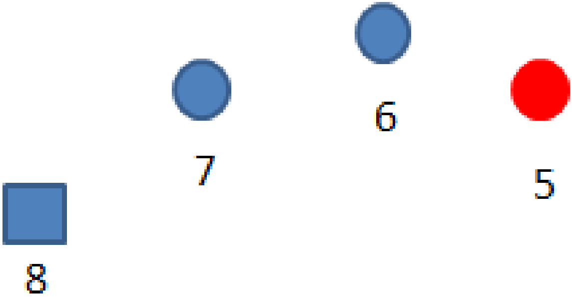

Figure: Primeira turbina onde buscar os técnicos após a manutenção

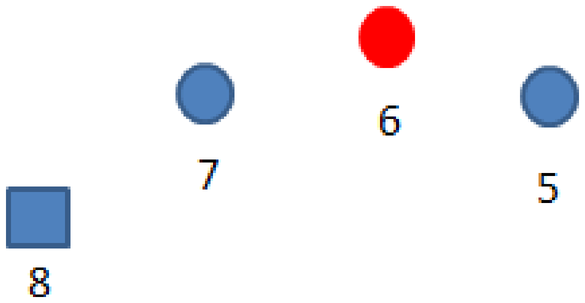

Figure: Segunda turbina onde buscar os técnicos após a manutenção

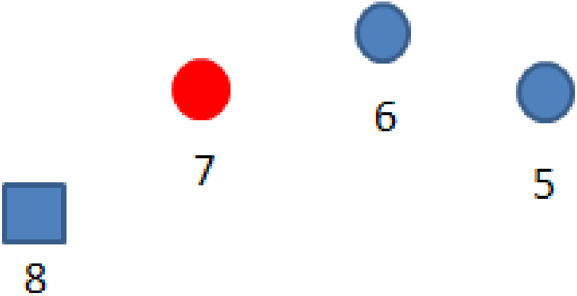

Figure: Última turbina onde buscar os técnicos após a manutenção

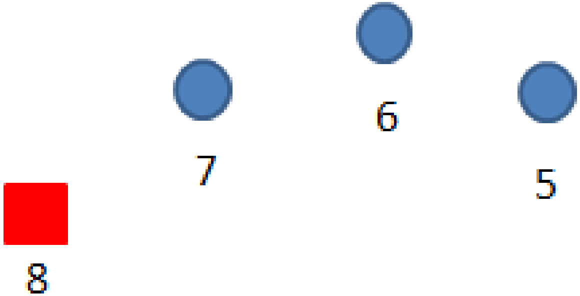

Figure: A embarcação retorna para a base

J^- :set of delivery/drop nodes, $J^- = \{1, 2, \ldots, n\}$.
J^+ :set of pick up nodes, $J^+ = \{n+1, n+2, \ldots, 2n\}$.
$J^* = J^- \cup J^+ \cup \{0, 2n+1\}$:Nodes 0 and $2n$+1 represent start and end nodes respectively (O&M base b).
$J^v \subseteq J^-$:the set of turbines that need the vessel to be present during the maintenance operations.

The MILP model aims to find the optimal route that minimises the cost (travel and technicians costs). Indices t, b, f, v, and r are known/fixed; therefore, in this MILP model, those indices are removed. There are three decision variables for this problem as follows:

$Y_{ii'}$:= 1 if vessel v travel from node i to i',=0 otherwise $(i, i' \in J^*)$.
$\hat{T}_i$:the time when vessel v visit (drop/pick) node i $(i \in J^*)$.
Q_{pi} :number of technicians (type p) on vessel v after leaving node i

Figure: Conjuntos e variáveis do modelo

The objective function is defined as follows:

$$\min Z = c^{qr} + c^{tr} \tag{6}$$

where c^{qr} and c^{tr} are the technicians and travel costs respectively for route r of vessel v in period t which is formulated as follows:

$$c^{qr} = \sum_{p \in P} (q_p \cdot \hat{c}_p) \tag{7}$$

$$c^{tr} = \sum_{i \in J^{\bullet}} \sum_{i' \in J^{\bullet}} (c_{ii'} \cdot y_{ii'}) \tag{8}$$

q_p is the number of technicians (for each type p) required by vessel v on period t with $q_p = Q_{p0}$. In other words, q_p is the number of technicians leaving from O&M base b.

Figure: Função Objetivo

The constraints are given as follows:

$$\sum_{i' \in J^*} Y_{ii'} = 1 \ , \forall i \in J^* \tag{9}$$

$$\sum_{i \in J^-} Y_{0i} = 1 \tag{10}$$

$$\sum_{i \in J^+} Y_{i(2n+1)} = 1 \tag{11}$$

$$\sum_{i' \in J^*} Y_{ii'} = \sum_{i' \in J^*} Y_{i'i} \ , \forall i \in J^* \tag{12}$$

$$\sum_{i' \in J^*} Y_{ii'} = \sum_{i' \in J^*} Y_{(n+i)i'} \ , \forall i \in J^- \tag{13}$$

$$Y_{i(n+i)} = 1 \ , \forall i \in J^{\nu} \tag{14}$$

$$\hat{T}_{n+i} - \hat{T}_i \geq \hat{\tau}_i + \tilde{\tau} \ , \forall i \in J^- \tag{15}$$

$$\hat{T}_{2n+1} \leq \psi \tag{16}$$

$$\hat{T}_0 = 0 \tag{17}$$

$$0 \leq \sum Q_{p,i} \leq \tilde{\rho} \ , \forall i \in J^* \tag{18}$$

Figure: Conjunto de Restrições

$$Y_{ii'}(\hat{T}_i + \tau_{ii'} + \tilde{\tau} - \hat{T}_{i'}) \leq 0 \ , \forall i, i' \in J^*, i' \neq i + n \tag{19}$$

$$Y_{ii'}(Q_{pi} - \rho_{pi'} - Q_{pi'}) = 0 \ , \forall p \in P, i \in J^-, i' \in J^* \tag{20}$$

$$Y_{ii'}(Q_{pi} + \rho_{pi'} - Q_{pi'}) = 0 \ , \forall p \in P, i \in J^+, i' \in J^* \tag{21}$$

$$q_p = \max_{i \in J^*}\{Q_{pi}\} = Q_{p0} \ , \forall p \in P \tag{22}$$

$$Q_{pi} \leq \widehat{\rho}_p \ , \forall p \in P, i \in J^* \tag{23}$$

Figure: Restrições não lineares

Considerações sobre o Modelo

- Restrição não linear de tempo e a linearização pelo Big M

Considerações sobre o Modelo

- Restrição não linear de tempo e a linearização pelo Big M
- Restrição não linear de técnicos e dificuldades encontradas

Considerações sobre o Modelo

- Restrição não linear de tempo e a linearização pelo Big M
- Restrição não linear de técnicos e dificuldades encontradas
- Simplificação do modelo

O Código em GLPK - Gusek

Arquivo Fonte


```
### Declaração dos parâmetros ###

param N, integer, >= 4; #Número de vértices (2*turbinas + 2 bases)

check: N mod 2 == 0; #Para verificar se nao tem entrada errada: N deve ser par

set Jminus := {2..(N/2)}; #Conjunto de entrega

set Jplus := {(N/2)+1..N-1}; #Conjunto de busca

set Jstar := {Jminus union Jplus union {1, N}}; #Conjunto total

set Jv within Jminus := {N/2}; #Subconjunto das turbinas com manutenção especial

set A, within Jstar cross Jstar; #Matriz de arestas

param C{(i,j) in A}; #Peso das arestas

```

Figure: Parâmetros

```
### Declaração das variáveis de decisão ###

var Y{(i,j) in A}, binary; #1 caso a aresta for visitada, 0 caso contrário

### Restrições ###

s.t. r1{i in Jstar}: sum{(i,j) in A} Y[i,j] = 1; #Entra no vértice uma única vez

s.t. r2{j in Jstar}: sum{(i,j) in A} Y[i,j] = 1; #Sai do vértice uma única vez

var X{(i,j) in A}, >= 0; #Variável auxiliar, funciona como um fluxo, impede criação de subrotas

s.t. r3{(i,j) in A}: X[i,j] <= (N - 1) * Y[i,j]; #Fluxo X rodando caso selecionar aresta Y

s.t. r4{i in Jstar}: sum{(j,i) in A} X[j,i] + (if i = 1 then N) = sum{(i,j) in A} X[i,j] + 1; #Fluxo diminui em uma unidade
    por vértice

s.t. r5{i in Jminus}: sum{(i,j) in A} Y[i,j] = sum{(i,j) in A} Y[i + (N/2) - 1,j]; #Entrega e devolução devem ser realizadas em
    todas as turbinas

s.t. r6{i in Jv}: Y[i, i + (N/2) - 1] = 1; #Barco precisa fazer entrega e devolução na turbina imediatamente

### Função objetivo ###

minimize Z: sum{(i,j) in A} C[i,j] * Y[i,j];

solve;
```

Figure: Variáveis, Restrições e Função Objetivo

O Código em GLPK - Gusek

Arquivo Fonte


```
param N := 8;

param : A :     C :=
        1 2   16
        1 3   10
        1 4   28
        1 5  999
        1 6  999
        1 7  999
        1 8  999
```

Considerações e Conclusão

O modelo original apresentou restrições que causaram dificuldade para sua remodelagem e simplificação. Desta forma, uma remodelagem mais simples foi feita do problema de "Pickup and Delivery".

Referências I

[1] C. A. I. et al.
Optimisation of maintenance routing and scheduling for offshore wind farms.
European Journal of Operational Research, 6(256), 2017.