

## Introdução

A elaboração de escalas de trabalho de equipes de enfermagem é um processo operacional rotineiro cujo objetivo é definir os turnos de trabalho de cada enfermeiro considerando um horizonte de planejamento e um determinado conjunto de restrições. Nas últimas décadas vários métodos foram propostos para resolver diversas variantes do problema [1]. Com o propósito de comparar os métodos, em 2010 foi organizada a *International Nurse Rostering Competition (INRC)* [2] na qual um problema mais genérico foi proposto. Porém o modelo da INRC não atende completamente às necessidades do Brasil. Neste trabalho é proposta uma Busca Tabu e um modelo de programação linear inteira para a elaboração de escalas de trabalho de equipes de enfermagem considerando um conjunto de restrições frequentemente encontradas no contexto dos hospitais de Porto Alegre.

## Restrições do Problema Proposto

### Restrições fortes

- O número mínimo de enfermeiros por turno deve ser respeitado.
- Um enfermeiro deve folgar um dia após trabalhar no turno da noite.
- Cada enfermeiro deve trabalhar apenas 1 turno por dia.
- A cada 7 dias trabalhados o enfermeiro deve folgar no mínimo 1 dia.

### Restrições fracas

- As preferências dos enfermeiros devem ser atendidas.
- O número de enfermeiros não deve exceder o valor da cobertura.

## Exemplo de uma escala de enfermagem

Enf.	Segunda-feira				Terça-feira				Quarta-feira				Quinta-feira				Sexta-feira				Sábado				Domingo			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
E1			X			X			X				X				X						X				X	
E2				X	X				X				X					X				X			X			
E3		X						X		X				X				X				X				X		
E4		X						X			X			X					X			X						X
E5				X		X			X						X				X			X						X
E6	X					X				X		X			X		X							X		X		
E7			X			X					X	X				X	X						X			X		
E8	X				X						X		X					X			X							X
E9			X			X				X			X						X			X				X		
E10		X					X			X				X				X			X				X			

## Busca Tabu (BT) [4]

### Algoritmo BT ( $t_1, t_2$ , Solução inicial $x$ )

- 1:  $x^* \leftarrow x$
- 2:  $L \leftarrow \emptyset$
- 3: **repeat**
- 4: seleciona  $x' \in \mathcal{N}(x)$  respeitando  $L$  e o critério de aspiração
- 5: adiciona o movimento que deu origem a  $x'$  em  $L$  com duração  $t \in [t_1, t_2]$
- 6:  $x \leftarrow x'$
- 7: **if**  $Z(x) < Z(x^*)$  **then**
- 8:  $x^* \leftarrow x$
- 9: **end if**
- 10: remove os elementos de  $L$  que não são mais proibidos
- 11: **until** condição de parada seja satisfeita
- 12: **return**  $x^*$

**Lista Tabu:** Proíbe movimentos que retornam ao turno de origem por um determinado número de iterações que variam no intervalo  $[t_1, t_2]$ .

## Modelo de Programação Linear Inteira

$$\min Z = \pi \sum_{n \in N} \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} p_{nds} x_{nds} + \lambda \sum_{d \in D} \sum_{s \in S} z_{ds} + \theta \sum_{n \in N} \left( \sum_{s \in S} f_{ds} + \sum_{d \in D^{-1}} g_{nd} + \sum_{d \in D^{-6}} h_{nd} \right)$$

$$\text{s.a. } \sum_{s \in S} x_{nds} = 1 \quad \forall n \in N, d \in D \quad (1)$$

$$1 + 2(v-1) \left( \sum_{n \in N} x_{nds} - c_{ds} \right) - v(v-1) \leq z_{ds} \quad \forall d \in D, s \in S, v \in N \quad (2)$$

$$1 + 2(v-1) \left( c_{ds} - \sum_{n \in N} x_{nds} \right) - v(v-1) \leq f_{ds} \quad \forall d \in D, s \in S, v \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \{d..d+6\}} x_{ni4} - \sum_{i \in \{d-1..d+5\}; i>0} x_{ni3} \geq 1 - h_{nd} \quad \forall n \in N, d \in D^{-6} \quad (4)$$

$$x_{nd3} + \sum_{s \in \{1,2,3\}} x_{n,d+1,s} \leq 1 + g_{nd} \quad \forall n \in N, d \in D^{-1} \quad (5)$$

$$x_{nds} \in \{0, 1\} \quad \forall n \in N, d \in D, s \in S$$

$$g_{nd} \in \{0, 1\} \quad \forall n \in N, d \in D^{-1}$$

$$h_{nd} \in \{0, 1\} \quad \forall n \in N, d \in D^{-6}$$

$$z_{ds}, f_{ds} \in \mathbb{N} \quad \forall d \in D, s \in S$$

## Experimentos Computacionais

- Foram utilizadas 33 instâncias da NSPLib [3].
- Características: 60 enfermeiros, 28 dias e 4 turnos de trabalho.

**Experimento 1:** Determinar os valores adequados para a Duração Tabu  $[t_1, t_2]$ .

**Experimento 2:** Avaliar o desempenho da Busca Tabu em comparação ao modelo matemático proposto utilizando a ferramenta comercial CPLEX.

## Experimento 1

**Objetivo:** Analisar as soluções obtidas com valores fixos da Lista Tabu.

### Análise:

- As faixas de melhores resultados variaram conforme o número mínimo de enfermeiros por turno ( $\beta$ ).
- Foram definidas duas funções por meio da interpolação dos valores de  $\beta$  que calculam os valores de  $t_1$  e  $t_2$ .

## Experimento 2

**Objetivo:** Comparar as soluções obtidas pela Busca Tabu e o modelo resolvido pelo CPLEX.

### Resultados comparativos:

	$\beta$	CPLEX		Busca Tabu	
		obj*	tempo (s)	obj	gap (%)
Média	7	9832,28	74,32	10828,59	11,29

## Referências

- [1] Burke, E. K., De Causmaecker, P., Berghe, G. V., e Van Landeghem, H. "The state of the art of nurse rostering," in *Journal of scheduling*, 2004, 7(6), 441-499.
- [2] Haspeslagh, S., De Causmaecker, P., Schaerf, A., e Stølevik, M. "The first international nurse rostering competition 2010," in *Annals of Operations Research*, 2012, pages 1-16.
- [3] Vanhoucke, M. e Maenhout, B. "NSPLib—a nurse scheduling problem library: a tool to evaluate (meta-)heuristic procedures," in *Operational research for health policy: making better decisions, proceedings of the 31st annual meeting of the working group on operations research applied to health services*, 2007, pagina 151-165.
- [4] Glover, F. "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence," in *Computers & Operations Research*, 1986, 13(5):533-549.

## Conclusões

- O valor médio da cobertura influencia diretamente no valor da duração da Lista Tabu.
- A utilização de um intervalo dinâmico da Duração Tabu proporciona soluções finais de melhor qualidade em relação à utilização de uma Lista Tabu de duração fixa.
- Quando o valor da cobertura ideal supera aproximadamente 17% do total de enfermeiros então é provável que não exista uma solução factível.
- A Busca Tabu proposta encontrou soluções com aproximadamente 11% do valor ótimo encontrado pelo modelo resolvido através do CPLEX.
- É plausível utilizar a Busca Tabu proposta para resolver instâncias reais, já que o resolvidor comercial não é necessariamente uma solução financeiramente viável para o uso em larga escala em hospitais públicos.

## Agradecimentos:

