

Um método híbrido para escalonar turnos de enfermeiras

Alexandre Luiz J. H. Albano e Marcio Oshiro

Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística
Departamento de Ciência da Computação

Escalonamento de enfermeiras

Objetivo: atribuir, para cada enfermeira, um subconjunto de turnos de trabalho em um hospital por um determinado período de tempo (janela).

Escalonamento de enfermeiras

Objetivo: atribuir, para cada enfermeira, um subconjunto de turnos de trabalho em um hospital por um determinado período de tempo (janela).

	4a-feira	5a-feira	6a-feira	sábado	domingo
Enf. 1	manhã	manhã	–	tarde	noite
Enf. 2	tarde	noite	noite	noite	tarde
Enf. 3	madrugada	tarde	manhã	–	–
Enf. 4	–	madrugada	tarde	manhã	manhã

Motivação

Uma boa solução se revela interessante já que:

- Evita contratação excessiva
- Garante número suficiente de enfermeiras (cobertura)
- Evita sobrecarregar enfermeiras individualmente
- Aumenta a qualidade de vida das enfermeiras

Isso significa que

Motivação

Uma boa solução se revela interessante já que:

- Evita contratação excessiva
- Garante número suficiente de enfermeiras (cobertura)
- Evita sobrecarregar enfermeiras individualmente
- Aumenta a qualidade de vida das enfermeiras

Isso significa que

Aumentamos a qualidade do serviço de atendimento do hospital!

Dificuldades

Escalonar enfermeiras aparenta ser mais difícil do que escalonar empregados em geral

Dificuldades

Escalonar enfermeiras aparenta ser mais difícil do que escalonar empregados em geral

- Um hospital precisa funcionar 24h/dia
- Leis e acordos trabalhistas restringem escalonamentos de enfermeiras

Dificuldades

Escalonar enfermeiras aparenta ser mais difícil do que escalonar empregados em geral

- Um hospital precisa funcionar 24h/dia
- Leis e acordos trabalhistas restringem escalonamentos de enfermeiras

Isso significará: muitas restrições!

Dificuldades

Em geral:

- Restrições Fortes são regras do hospital, leis e acordos trabalhistas
- Restrições Fracas são preferências das enfermeiras

As restrições variam dependendo da localização e do hospital.

Caso estudado

- hospital holandês
- 16 enfermeiras igualmente qualificadas
- enfermeiras podem ter tipos de contratos diferentes
- 4 tipos de turnos: manhã, tarde, noite e madrugada
- janela de 4 semanas

Restrições fortes

Fo1: Cobertura mínima de serviço.

Fo2: Para cada dia, uma enfermeira não pode iniciar dois turnos.

Fo3: Número máximo de dias de trabalho total dentro da janela.

Fo4: Número máximo de dias de trabalho em fins de semana dentro da janela.

Restrições fortes

Fo5: Número máximo de turnos de madrugada dentro da janela.

Fo6: Para cada enfermeira, é proibido que esta receba um turno de madrugada “isolado”.

Fo7: Após uma série de turnos de madrugada, é obrigatório que uma enfermeira receba dois dias livres de folga.

Restrições fortes

Fo8: Número máximo de turnos de madrugada seguidos dentro da janela.

Fo9: Número máximo de dias de trabalho seguidos dentro da janela.

Fo10: Existe uma enfermeira que não pode receber turnos noturnos

Restrições fracas

Fr1: Ter fim de semana completo.

Fr2: Evitar dia de trabalho entre dois dias de folga.

Fr3: Número mínimo de dias de folga após uma série de turnos.

Fr4: Número máximo/mínimo de turnos de um tipo específico designados.

Restrições fracas

- Fr5: Número máximo/mínimo de dias de trabalho por semana.
- Fr6: Número máximo de dias consecutivos de trabalho para enfermeiras contratadas em regime de meio período.
- Fr7: Evitar certas seqüências de turnos (por exemplo, um turno da tarde em um dia e de manhã no dia seguinte).

Abordagens tradicionais

Existem duas abordagens tradicionais para o problema.

- Algoritmos exatos: em geral programação matemática, como por exemplo, programação inteira.
- Metaheurísticas: algoritmos genéticos, busca tabu, *simulated annealing*, vns.

Estudamos um artigo de Burke *et al.* [1] que propõe uma abordagem híbrida.

Modelo matemático

Burke *et al.* [1] modela o problema de escalonamento de enfermeiras como um problema de otimização multi-objetivo. A função objetivo será

$$F(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x), f_6(x), f_7(x))$$

Na realidade, minimiza-se $\sum_{i=1}^7 \lambda_i f_i(x)$.

Cada f_i está associada a uma restrição fraca.

Os pesos λ_i dependem da importância da restrição fraca i .

Programação inteira

Burke *et al.* [1] apresenta um modelo do problema como programa inteiro.

Usa-se um *solver* para resolver o programa inteiro. Por exemplo: CPLEX.

Programação inteira

Burke *et al.* [1] apresenta um modelo do problema como programa inteiro.

Usa-se um *solver* para resolver o programa inteiro. Por exemplo: CPLEX.

Resolver programa inteiro é NP-difícil. Portanto, obter uma solução ótima pode demorar muito.

VNS

- É uma metaheurística, variante da busca local
- Define-se um conjunto de sistemas de vizinhanças N_1, N_2, \dots, N_k
- Começa-se com uma solução x e a N_1 vizinhança de x é explorada.

VNS

- É uma metaheurística, variante da busca local
- Define-se um conjunto de sistemas de vizinhanças N_1, N_2, \dots, N_k
- Começa-se com uma solução x e a N_1 vizinhança de x é explorada.
- Se não houver uma solução melhor do que x , passamos para a N_2 vizinhança.

VNS

- É uma metaheurística, variante da busca local
- Define-se um conjunto de sistemas de vizinhanças N_1, N_2, \dots, N_k
- Começa-se com uma solução x e a N_1 vizinhança de x é explorada.
- Se não houver uma solução melhor do que x , passamos para a N_2 vizinhança.
- Se encontrarmos na N_2 vizinhança de x uma solução y melhor do que x , então atualizamos 'melhor_solucao' para y e recomeçamos a busca na N_1 vizinhança de y

VNS

- É uma metaheurística, variante da busca local
- Define-se um conjunto de sistemas de vizinhanças N_1, N_2, \dots, N_k
- Começa-se com uma solução x e a N_1 vizinhança de x é explorada.
- Se não houver uma solução melhor do que x , passamos para a N_2 vizinhança.
- Se encontrarmos na N_2 vizinhança de x uma solução y melhor do que x , então atualizamos 'melhor_solucao' para y e recomeçamos a busca na N_1 vizinhança de y
- Acaba quando não encontramos solução melhor do que 'melhor_solucao' em N_k

Vizinhanças usadas (1)

	Seg	Ter	Qua	Qui
Enfermeira 1	T	N	Man	T
Enfermeira 2	Man	Man	N	Man
Enfermeira 3	N		Mad	Mad

Vizinhança N1

	Seg	Ter	Qua	Qui
Enfermeira 1	T	N	Man	T
Enfermeira 2	Man	Man	N	Man
Enfermeira 3	N	N	Mad	Mad

Vizinhança N2

Vizinhanças usadas (2)

	Seg			Ter			Qua			Qui		
Enfermeira 1		T			N	Man					T	
Enfermeira 2	Man			Man				N		Man		
Enfermeira 3			N						Mad			Mad

Vizinhança N3

	Seg			Ter			Qua			Qui		
Enfermeira 1		T			N	Man					T	
Enfermeira 2	Man			Man				N		Man		
Enfermeira 3			N						Mad			Mad

Vizinhança N4

VNS (pseudocódigo)

defina um conjunto de estruturas de vizinhanças N_k ,

$k = 1, \dots, k_{max}$

obtenha uma solução inicial x

$k \leftarrow 1$

enquanto $k \leq k_{max}$ **faça**

 faça busca na vizinhança N_k de x

 seja x' a melhor solução encontrada

se $x' < x$ **então**

$x \leftarrow x'$

$k \leftarrow 1$

senão

$k \leftarrow k + 1$

devolva a melhor solução encontrada

Resultados prévios

Dados	A.G. (após 1 hora)	VNS (após 1 hora)
Jan	775	735
Fev	1791	1866
Mar	2030	2010
Abr	612	457
Mai	2296	2161
Jun	9466	9291
Jul	781	481
Ago	4850	4880
Set	615	647
Out	736	665
Nov	2126	2030
Dez	625	520
Média	2225	2145

A.G.: ORTEC (2004) | VNS: predecessor do método híbrido, do mesmo autor (2005)

Abordagem híbrida

Primeiramente produzimos uma solução viável X usando programação inteira.

O programa inteiro não é necessariamente resolvido até o fim.

X é usado como solução inicial para o VNS para ser refinada.

Resultados prévios vs. método híbrido

Dados	Tamanho IP reduzido		Resultado IP		VNS do autor	
	Restrições	Variáveis	Após 49mins	Δ %	Após 1min	Δ %
Jan	7286	5995	631	14.1	460	37.4
Fev	6709	5588	1822	-1.7	1526	14.8
Mar	7203	5974	3890	-94	1713	14.8
Abr	6931	5760	1268	-177	391	14.4
Mai	7298	6067	5348	-147	2090	3.3
Jun	7044	5849	9126	1.8	8826	5.0
Jul	7170	5911	2498	-419	425	11.6
Ago	7362	6067	4582	5.5	3488	28.1
Set	6867	5708	680	-11.0	330	46.3
Out	7234	5963	605	9.0	445	33.1
Nov	7203	5974	2605	-28.0	1613	20.5
Dez	7106	5859	1037	-99.0	405	22.1
Média	7118	5893	2841	-33.0	1809	15.2

Bibliografia

Referências

- [1] E. K. Burke, J. Li, and R. Qu. A hybrid model of integer programming and variable neighborhood search for highly-constrained nurse rostering problems. *European Journal of Operational Research*, 2010. (a ser publicado).