



**Simpósio de Métodos  
Numéricos em Engenharia**

**25 a 27 de outubro, 2017**

## *Sequenciamento de atividades intrahospitalares por meio de máquinas paralelas idênticas*

Nathália Cristina Ortiz da Silva <sup>a,1</sup>

Cassius Tadeu Scarpin <sup>a,2</sup>

Angel Ruiz <sup>b,3</sup>

José Eduardo Pécora Junior <sup>a,4</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia

Universidade Federal do Paraná

Curitiba, Brasil

<sup>b</sup> Departamento de Operações e Sistemas de Decisão

Universidade Laval

Québec, Canadá

<sup>1</sup> [ncosilva2@gmail.com](mailto:ncosilva2@gmail.com), <sup>2</sup> [cassiusts@gmail.com](mailto:cassiusts@gmail.com), <sup>3</sup> [angel.ruiz@osd.ulaval.ca](mailto:angel.ruiz@osd.ulaval.ca), <sup>4</sup> [pecora@ufpr.br](mailto:pecora@ufpr.br)

**Resumo**—Face ao desenvolvimento do setor de saúde, torna-se necessário pesquisar políticas de melhoria dos processos hospitalares para otimizar os serviços prestados à população. A programação de um conjunto de atividades consiste em eger, simultaneamente, qual atendente disponível realizará determinada tarefa e em que ordem estas tarefas serão efetuadas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma estratégia para reduzir o tempo de conclusão das atividades solicitadas aos atendentes de um hospital, ou seja, minimizar o instante de término da última tarefa (*makespan*) a ser executada pelos atendentes. Este problema utiliza um modelo de sequenciamento em Máquinas Paralelas Idênticas (MPI) com tempo de *setup* dependente da sequência, no qual as máquinas representam os atendentes do hospital, os tempos de *setup* indicam o tempo necessário para um atendente sair da posição atual e chegar ao local da sua próxima tarefa e o tempo de processamento determina o tempo entre o início e o fim de uma atividade. Compara-se este sequenciamento com uma programação realizada manualmente pelos atendentes de acordo com as solicitações de atendimento e a disponibilidade de cada funcionário. Devido a complexidade do modelo matemático, cada turno é dividido em períodos fixos com 8 tarefas, nos quais o intervalo de tempo de cada período varia conforme a chegada dessas tarefas. Os resultados obtidos

mostram que o sequenciamento proposto garante uma redução no tempo de execução dos atendimentos se comparado aos resultados encontrados no sequenciamento manual, sendo que a maioria das atividades são realizadas de 5 a 10 minutos e nenhuma tarefa ultrapassa 23 minutos de execução. De maneira geral, o problema abordado gera períodos com intervalos de tempo pequenos no horário de pico do hospital. Por outro lado, existem alguns períodos com grande variação no intervalo de tempo. Sugere-se, em trabalhos futuros, encontrar métodos de resolução mais eficazes para estes períodos, já que os mesmos possuem tempos de espera altos em relação aos demais.

**Palavras-chave**—sequenciamento intrahospitalar; máquinas paralelas idênticas; minimização do *makespan*.

### I. INTRODUÇÃO

Uma das áreas que tem apresentado maior crescimento em países em desenvolvimento é o setor de saúde [1]. Todavia, muitos ainda são os desafios encontrados no sistema hospitalar: recursos limitados, alto custo da tecnologia médica, aumento na demanda e a falta de ferramentas de

planejamento e gerenciamento que acompanhem a crescente complexidade dos sistemas de cuidados de saúde [2]. Consequentemente, os gestores hospitalares buscam, cada vez mais, reduzir os custos operacionais do sistema e garantir a qualidade dos serviços aos pacientes.

Cada melhoria obtida em um sistema hospitalar pode trazer benefícios tanto aos pacientes quanto para o hospital [2]. O sequenciamento de produção, um dos principais processos de Planejamento e Controle de Produção (PCP), pode ser utilizado como ferramenta para atingir o desenvolvimento neste setor. Pode-se aplicar o sequenciamento em diversos trabalhos de gestão de cuidados hospitalares: atendimento aos pacientes agendados antecipadamente [3], atendimento domiciliar, em que os enfermeiros visitam regularmente os pacientes para prestação de serviços [4], sequenciamento no centro cirúrgico de um hospital [5] – [7], entre outros. As revisões de literatura encontradas em [8] e [9] auxiliam na organização de trabalhos recentes nos níveis estratégico, tático e operacional relacionados aos processos hospitalares.

Neste trabalho, o sequenciamento de produção é responsável por otimizar um dia de trabalho dos funcionários, denominados circulantes, em um hospital do Canadá. Circulantes são atendentes encarregados de transportar pessoas e equipamentos dentro do complexo hospitalar e são escalados conforme a necessidade de atendimento aos pacientes. O sequenciamento em máquinas paralelas idênticas com tempo de *setup* dependente da sequência é o modelo escolhido para realizar a otimização desejada. O objetivo do problema é minimizar o término de processamento de todas as atividades do sistema, o que permite que novas atividades, muitas vezes não conhecidas no início do dia (atendimentos de urgência), possam ser realizadas pelos circulantes cujas tarefas designadas a priori tenham sido finalizadas.

O objetivo principal desta pesquisa é comparar os resultados obtidos por meio do sequenciamento de MPI com o sequenciamento manual realizado pelos próprios funcionários do hospital, de acordo com a disponibilidade dos circulantes.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma: na Seção II, descreve-se brevemente as características do problema abordado. O modelo de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas é apresentado na Seção III. A Seção IV relata os principais resultados obtidos em um dia de trabalho no hospital. Por fim, as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas na Seção V.

## II. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Sequenciar uma grande quantidade de atividades de transporte de pacientes diárias em um hospital com um número limitado de atendentes não é uma tarefa fácil, já que: I) a chegada de pacientes ocorre de forma estocástica, II) existe a possibilidade de atendimentos de urgência, ou seja, pacientes que necessitem de atendimento prioritário, o que

interrompe o sequenciamento previamente estabelecido, e III) o quadro de funcionários pode ser alterado devido a algum imprevisto.

O problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas com tempo de *setup* dependente da sequência é utilizado, neste artigo, para otimizar um dia de trabalho dos atendentes responsáveis pelo traslado de macas, equipamentos e pacientes, dentro do hospital. Deste ponto em diante, denomina-se qualquer movimentação realizada pelos atendentes do hospital como atividade ou tarefa.

Algumas considerações em relação ao sistema de atendimento hospitalar são assumidas: I) cada circulante atende apenas uma atividade por vez e, do mesmo modo, nenhuma tarefa deve utilizar mais do que um atendente para ser realizada, e II) atendimentos de urgência não são considerados neste problema, ou seja, todas as atividades possuem o mesmo nível de prioridade.

## III. MODELO MATEMÁTICO

Nesta seção, apresenta-se a modelagem matemática utilizada para se obter a sequência de trabalho de cada atendente de acordo com o turno a ele designado.

O modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) adaptado de [10] é empregado para o problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas com tempo de *setup* dependente da sequência estabelecida. O objetivo do problema é minimizar o tempo total de conclusão de todos os pedidos, também conhecido como *makespan*.

Cada atividade pertencente ao conjunto  $N = \{1, \dots, n\}$  deve ser realizada por uma única máquina (circulante) pertencente ao conjunto  $M = \{1, \dots, m\}$ . O processo de preempção não é permitido durante o sequenciamento, isto é, nenhuma atividade pode ser interrompida durante a sua execução.

O problema de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas é considerado *NP-hard* [11], o que torna a obtenção de sua solução exata mais complexa conforme o aumento do número de atividades realizadas. De modo a obter uma resolução para o modelo matemático em um tempo computacional coerente a ocorrência dos pedidos de atendimento, cada turno de trabalho é dividido em períodos menores com 8 tarefas ( $N = 8$ ) a serem executadas por vez, de acordo com a quantidade de circulantes disponível em cada turno. Como a quantidade de tarefas em cada período é fixa e os instantes de chegada variam conforme a necessidade de atendimento, tem-se intervalos de tempo distintos em cada período.

No presente trabalho, o tempo de *setup* ( $s_{ij}$ ) entre as tarefas  $i$  e  $j$  representa o tempo, em minutos, do atendente sair da atividade  $i$  e chegar à atividade  $j$ , imediatamente sucessora a  $i$ . Já o tempo de processamento ( $p_j$ ) da tarefa  $j$  é definido como o tempo entre a origem e o destino da atividade em processo de execução.

O modelo possui as variáveis de decisão  $C_{ik}$  e  $C_{max}$ , que representam, respectivamente, o tempo de conclusão da atividade  $i$  realizada pelo circulante  $k$  e o tempo total de

conclusão dos atendimentos (*makespan*). Além disso, a variável binária  $x_{ijk}$  recebe o valor 1 caso a atividade  $i$  preceda imediatamente a atividade  $j$  e ambas sejam realizadas pelo mesmo atendente  $k$ . Caso contrário, a variável recebe o valor 0.

As equações (1) – (10) apresentam a função objetivo e suas restrições, como segue:

$$\min C_{\max} \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{k \in M} \sum_{\substack{i \in \{0\} \cup \{N\} \\ i \neq j}} x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{k \in M} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} \leq 1, \quad \forall k \in M \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{h \in \{0\} \cup \{N\} \\ h \neq i, h \neq j}} x_{hik} \geq x_{ijk}, \quad \forall i, j \in N, \quad i \neq j, \quad \forall k \in M \quad (5)$$

$$C_{jk} + M(1 - x_{ijk}) \geq C_{ik} + s_{ij} + p_j, \quad \forall i \in \{0\} \cup \{N\}, \quad \forall j \in N, \quad i \neq j, \quad \forall k \in M \quad (6)$$

$$C_{0k} = 0, \quad \forall k \in M \quad (7)$$

$$C_{ik} \geq 0, \quad \forall i \in N, \quad \forall k \in M \quad (8)$$

$$C_{\max} \geq C_{ik}, \quad \forall i \in N, \quad \forall k \in M \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in \{0\} \cup \{N\}, \quad \forall j \in N, \quad i \neq j, \quad \forall k \in M \quad (10)$$

A função objetivo indicada em (1) é responsável pela minimização do *makespan*, ou seja, minimiza o tempo de conclusão da última tarefa a deixar o sistema [12]. Neste trabalho, o valor mínimo encontrado para o *makespan* garante, em geral, uma boa utilização dos circulantes durante seus turnos de trabalho.

O conjunto de restrições (2), garante que cada atividade, associada a apenas um atendente, possui uma única tarefa imediatamente antecessora. No conjunto de restrições (3) afirma-se que existe, no máximo, uma atividade imediatamente sucessora para cada tarefa, caso ambas as atividades sejam realizadas pelo mesmo circulante. As restrições em (4) informam que a tarefa fictícia 0, responsável pela inicialização do sistema, é sucedida por apenas uma atividade para cada atendente do hospital. O conjunto (5) assegura que as atividades predecessoras e sucessoras entre si são efetuadas pelo mesmo atendente.

Em (6), as restrições certificam que o instante de término de atendimento da atividade  $j$  deve ocorrer após a soma entre instante de término de atendimento da tarefa  $i$  (imediatamente antecessora a tarefa  $j$ ), o tempo de *setup* entre as atividades  $i$  e  $j$ , e o tempo de processamento da atividade  $j$ . As restrições em (7) estabelecem que o instante de término de atendimento da tarefa fictícia é nulo para cada circulante. O conjunto (8) determina que as variáveis são não-negativas. No conjunto de restrições (9), o tempo total de conclusão

deve ser maior ou igual ao término de cada atividade para todos os atendentes. E, por fim, o conjunto (10) indica o domínio das variáveis de decisão.

#### IV. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Nesta seção, apresentam-se os principais resultados referentes a um dia de trabalho de circulantes em um hospital do Canadá. O sequenciamento das atividades foi realizado por meio do modelo matemático de máquinas paralelas idênticas apresentado na seção anterior. Além disso, comparou-se os resultados obtidos com a sequência elaborada manualmente pelos atendentes do hospital. Em ambos os casos, os circulantes foram distribuídos em três turnos (8 horas de trabalho) de acordo com a necessidade de atendimento em cada turno.

A formulação matemática apresentada na seção anterior foi solucionada, a cada período, por meio do software de otimização *Gurobi Optimizer* (versão 7.0.1) com parâmetros *default*. Os testes foram executados em um computador com processador Intel® Core™ i7-6500 U CPU @ 1.60 GHz, 8 GB RAM.

Na Tabela 1, apresentam-se as informações correspondentes a cada turno de trabalho do sequenciamento realizado manualmente pelos funcionários do hospital e também do sequenciamento com as soluções encontradas pela aplicação da modelagem matemática, respectivamente. Pode-se observar a mesma quantidade de circulantes em cada turno para ambos os sequenciamentos efetuados. Além disso, nota-se que o turno com maior necessidade de atendentes ocorreu entre 8 e 16 horas, devido ao número de atividades requeridas neste turno. A quantidade média de tarefas realizada por cada circulante variou entre, aproximadamente, 20 e 28 unidades, o que permitiu não sobrecarregar qualquer atendente escalado para determinado turno de trabalho.

Tabela 1: Quantidade média de atividades por circulante em cada turno para ambos os sequenciamentos

Sequenciamento manual	Turno (horas)			Total
	0 - 8	8 - 16	16 - 24	
Quantidade de circulantes	5	31	9	45
Quantidade de atividades	109	857	242	1208
Média de atividades/circulante	21,8	27,6	26,9	26,8
Sequenciamento por MPI	Turno (horas)			Total
	0 - 8	8 - 16	16 - 24	
Quantidade de circulantes	5	31	9	45
Quantidade de atividades	104	866	238	1208
Média de atividades/circulante	20,8	27,9	26,4	26,8

Com a quantidade de tarefas fixa por período, o intervalo de tempo de cada período com 8 tarefas variou entre 0,8 minutos (no horário de pico do hospital) e 58 minutos (em horários noturnos e durante a madrugada).

A primeira análise comparativa entre os dois sequenciamentos avaliou o tempo de execução, em minutos, de cada atividade solicitada. Para o sequenciamento realizado pelos próprios atendentes do hospital, seis intervalos de tempo de execução foram criados para se analisar a

quantidade de atividades, o tempo de espera total para atendimento e o tempo médio de espera para atendimento aos pacientes. O último intervalo apresentou tempos de execução maiores do que 25 minutos, sendo que algumas tarefas chegaram a levar aproximadamente 57 minutos para serem finalizadas. Em contrapartida, o sequenciamento por meio de máquinas paralelas idênticas gerou cinco intervalos de tempo de execução das tarefas, com o tempo máximo, no último intervalo, de aproximadamente 23 minutos para finalizar a realização de uma atividade. Isto se deve ao fato de que, neste sequenciamento, as atividades foram melhor organizadas, de modo a otimizar a distância percorrida pelos circulantes.

A quantidade de tarefas realizada pelos atendentes a cada intervalo de tempo de execução no sequenciamento do hospital e no sequenciamento de máquinas paralelas idênticas está indicada nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. No primeiro caso, verificou-se que aproximadamente 100 tarefas (cerca de 8% das tarefas) possuíam o tempo de execução maior do que 20 minutos, principalmente no segundo turno. Notou-se também que a maioria das tarefas (aproximadamente 41% das atividades diárias) foi realizada de 5 a 10 minutos.

Tabela 2: Quantidade de atividades realizadas em cada intervalo de tempo de execução por turno no sequenciamento manual

Intervalo de tempo de execução das atividades (minutos)	Turno (horas)			Total
	0 – 8	8 – 16	16 – 24	
0 – 5	29	103	53	185
5 – 10	44	340	110	494
10 – 15	22	225	46	293
15 – 20	7	114	17	138
20 – 25	5	31	11	47
Maior do que 25	2	44	5	51
<b>Total</b>	<b>109</b>	<b>857</b>	<b>242</b>	<b>1208</b>

Já no sequenciamento por meio de máquinas paralelas idênticas, apenas 7 tarefas (menos de 0,6% das atividades) foram efetuadas com tempo maior do que 20 minutos. Nesta abordagem, o intervalo de 5 a 10 minutos assumiu a realização da maioria das tarefas (cerca de 61% das atividades). Para ambos os casos, o segundo turno concentrou a maioria das tarefas requeridas, o que confirma a necessidade de um grande número de atendentes para esta escala de trabalho.

Tabela 3: Quantidade de atividades realizadas em cada intervalo de tempo de execução por turno no sequenciamento por MPI

Intervalo de tempo de execução das atividades (minutos)	Turno (horas)			Total
	0 – 8	8 – 16	16 – 24	
0 – 5	17	33	20	70
5 – 10	50	571	121	742
10 – 15	17	246	62	325
15 – 20	18	13	33	64
20 – 25	2	3	2	7
Maior do que 25	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>104</b>	<b>866</b>	<b>238</b>	<b>1208</b>

Na Tabela 4, encontra-se a soma do tempo de espera para atendimento, em minutos, em cada intervalo de tempo de execução das tarefas nos três turnos de trabalho. No sequenciamento manual, observou-se que, por mais que existisse um número considerável de tarefas com mais de 20 minutos de duração, as mesmas não aguardaram muito tempo na fila de espera ou até mesmo foram efetuadas imediatamente após a sua chegada, como ocorreu no último intervalo do primeiro turno, em que a soma do tempo de espera para atendimento é nula.

Tabela 4: Soma do tempo de espera para atendimento em cada intervalo de tempo de execução por turno no sequenciamento manual

Intervalo de tempo de execução das atividades (minutos)	Turno (horas)			Total
	0 – 8	8 – 16	16 – 24	
0 – 5	43,3	360,5	223,6	627,3
5 – 10	59,3	1317,7	376,9	1753,9
10 – 15	30,7	1132,9	137,3	1300,8
15 – 20	23,0	644,2	45,5	712,7
20 – 25	16,5	179,2	30,8	226,5
Maior do que 25	0	128,0	4,2	132,3
<b>Total</b>	<b>172,7</b>	<b>3762,4</b>	<b>818,3</b>	<b>4753,5</b>

A mesma análise foi realizada na Tabela 5, que indica a soma do tempo de espera para atendimento no caso do sequenciamento por máquinas paralelas idênticas. Em geral, esta abordagem assumiu uma soma de tempo de espera maior do que no caso anterior, principalmente no primeiro e no terceiro turno. Isto ocorreu pelo fato de que, tanto no início quanto no fim do planejamento diário, o tempo necessário para formar períodos com 8 tarefas foi bem maior do que o intervalo de tempo dos períodos construídos no horário de pico do hospital (segundo turno), como citado anteriormente. Sendo assim, quanto maior o intervalo de tempo do período, maior o tempo de espera para o atendimento.

Tabela 5: Soma do tempo de espera para atendimento em cada intervalo de tempo de execução por turno no sequenciamento por MPI

Intervalo de tempo de execução das atividades (minutos)	Turno (horas)			Total
	0 – 8	8 – 16	16 – 24	
0 – 5	297,2	121,5	146,1	564,8
5 – 10	890,6	2187,8	844,8	3923,2
10 – 15	346,7	805,3	553,1	1705,1
15 – 20	411,3	84,9	306,7	802,9
20 – 25	15,7	21,8	28,9	66,4
Maior do que 25	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1961,4</b>	<b>3221,4</b>	<b>1879,6</b>	<b>7062,4</b>

A última comparação realizada entre os dois sequenciamentos avaliou o tempo médio de espera, em minutos, para o atendimento das atividades solicitadas. O tempo médio de espera é encontrado pela razão da soma do tempo de espera para atendimento pela quantidade de atividades realizadas em cada intervalo de tempo de execução das tarefas por turno. As Tabelas 6 e 7 apontam essas análises

para o sequenciamento manual e para o sequenciamento por meio de máquinas paralelas idênticas, respectivamente.

No segundo turno, constatou-se que o tempo médio de espera para atendimento foi similar para as duas abordagens avaliadas, obtendo um valor menor para o sequenciamento por máquinas paralelas para o intervalo de 10 a 15 minutos de tempo de execução das atividades.

Tabela 6: Tempo médio de espera para atendimento em cada intervalo de tempo de execução por turno no sequenciamento manual

Intervalo de tempo de execução das atividades (minutos)	Turno (horas)			Total
	0 – 8	8 – 16	16 – 24	
0 – 5	1,5	3,5	4,2	3,4
5 – 10	1,3	3,9	3,4	3,6
10 – 15	1,4	5,0	3,0	4,4
15 – 20	3,3	5,7	2,7	5,2
20 – 25	3,3	5,8	2,8	4,8
Maior do que 25	0,0	2,9	0,8	2,6
<b>Total</b>	<b>1,6</b>	<b>4,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,9</b>

Verificou-se também que a diferença entre o tempo médio de espera para atendimento no primeiro e terceiro turnos aumenta significativamente no segundo método utilizado.

Tabela 7: Tempo médio de espera para atendimento em cada intervalo de tempo de execução por turno no sequenciamento por MPI

Intervalo de tempo de execução das atividades (minutos)	Turno (horas)			Total
	0 – 8	8 – 16	16 – 24	
0 – 5	17,5	3,7	7,3	8,1
5 – 10	17,8	3,8	7,0	5,3
10 – 15	20,4	3,3	8,9	5,2
15 – 20	22,8	6,5	9,3	12,5
20 – 25	7,8	7,3	14,5	9,5
Maior do que 25	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>18,9</b>	<b>3,7</b>	<b>7,9</b>	<b>5,8</b>

Como mencionado anteriormente, a otimização por períodos gerou intervalos de tempo muito maiores para períodos nesses turnos do que no horário de pico do hospital, agravando-se ainda mais no primeiro turno por se tratar do início do sistema.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo tem como principal objetivo otimizar o a sequência de trabalho dos circulantes de um hospital do Canadá, de modo que a minimização do tempo de conclusão das atividades permita o atendimento de novas tarefas incluídas ao sistema.

Uma análise comparativa entre o sequenciamento manual elaborado pelos funcionários do hospital e o sequenciamento em máquinas paralelas idênticas proposto mostra que os intervalos de tempo de atendimento foram reduzidos no segundo método, obtendo-se um tempo máximo de atendimento de 23 minutos, enquanto no caso manual algumas tarefas levaram até, aproximadamente, 57 minutos

para serem efetuadas. Em relação ao tempo de espera para atendimento, o primeiro e o terceiro turno do método proposto obtiveram soluções inferiores àquelas encontradas no sequenciamento manual, já que, nestes turnos, aumentou-se o intervalo de tempo para encerrar um período com 8 tarefas e iniciar o sequenciamento do mesmo. Por outro lado, no segundo turno encontrou-se tempos de espera para atendimento similares em ambos os casos.

Em pesquisas futuras, deseja-se aplicar o modelo de sequenciamento em máquinas paralelas idênticas conforme a chegada das atividades, ou seja, em tempo real e compará-lo aos resultados obtidos na otimização por períodos para se avaliar os ganhos obtidos em um sistema dinâmico.

## REFERÊNCIAS

- [1] P. K. Dey, S. Hariharan, and N. Brookes, “Managing healthcare quality using logical framework analysis,” *Managing Service Quality*, vol. 16, no. 2, pp. 203–222, 2006.
- [2] Z. Yahia, A. B. Eltawil, and N. A. Harraz, “The operating room case-mix problem under uncertainty and nurses capacity constraints,” *Health Care Manag. Sci.*, vol. 19, pp. 383–394, 2016.
- [3] C. Yan, J. Tang, B. Jiang, and R. Y. K. Fung, “Comparison of traditional and open-access appointment scheduling for exponentially distributed service time,” *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 345–376, 2015.
- [4] Y.-J. An, Y.-D. Kim, B. J. Jeong, and S.-D. Kim, “Scheduling healthcare services in a home healthcare system,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 63, pp. 1589–1599, 2012.
- [5] R. Day, R. Garfinkel, and S. Thompson, “Integrated block sharing: a win-win strategy for hospitals and surgeons,” *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 14, no. 4, pp. 567–583, 2012.
- [6] N. K. Freeman, S. H. Melouk, and J. Mittenthal, “A scenario-based approach for operating theater scheduling under uncertainty,” *Manufacturing and Service Operations Management*, pp. 1–17, 2015.
- [7] B. Roland and F. Riane, “Integrating surgeons’ preferences in the operating theatre planning,” *European Journal Industrial Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 232–250, 2011.
- [8] A. Ahmadi-Javid, Z. Jalali, and K. J. Klassen, “Outpatient appointment systems in healthcare: a review of optimization studies,” *European Journal of Operational Research*, in press.
- [9] P. Bhattacharjee and P. K. Ray, “Patient flow modelling and performance analysis of healthcare delivery processes in hospitals: a review and reflections,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 78, pp. 299–312, 2014.
- [10] E. Vallada and R. Ruiz, “A genetic algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times,” *European Journal of Operational Research*, vol. 211, pp. 612–622, 2011.
- [11] R. Garey and D. Johnson, *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*. W. H. Freeman, 1979.
- [12] M. L. Pinedo, *Scheduling. Theory, Algorithms, and Systems*. New York: Springer, 2012.