

Simulação de uma linha de produção em U com deslocamento de operadores

Simulation of a traveling worker U-shaped assembly line

Gustavo Maysonnave Franck
gustavofranck@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil

Ricardo Lüders
luders@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil

RESUMO

A busca pela otimização dos processos de manufatura visando a eficiência e redução dos custos é importante na área acadêmica e desenvolve-se por meio de diversas ferramentas disponíveis. Uma das principais ferramentas da pesquisa operacional é a simulação de eventos discretos. Neste trabalho, a simulação de uma linha de produção em U com deslocamento de operadores considerada em um modelo de otimização MILP da literatura foi atualizado com novas estruturas do pacote Simio. Nesta linha, o número de operadores é menor do que o número de estações de trabalho, sendo necessário o compartilhamento de operadores, que se movimentam entre as estações compartilhadas. Os resultados da simulação são compatíveis com os obtidos na otimização. Assim, as simplificações adotadas no modelo de otimização são adequadas para representar o comportamento da linha de produção e não geram conflitos na alocação dos operadores às estações. Testes adicionais mostram que a inclusão de tempos de transporte não alteram o tempo de ciclo da linha. Porém, a retirada de um operador afeta significativamente o tempo de produção e o tempo para regime permanente. Os novos cenários simulados com tempos de transporte e redução no número de operadores deverão ser considerados futuramente no modelo de otimização.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação de eventos discretos. Manufatura. Automação.

Recebido: 29 ago. 2018.
Aprovado: 04 out. 2018.

Direito autorial:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The research in optimization of manufacturing process is important for the academy and is developed by means of several methods which aims to achieve efficiency and cost reduction. One important method in operations research is discrete event simulation. In this work, the simulation model of a traveling worker U-shaped assembly line was updated with new programming structures of Simio software package. This assembly line was also considered in a MILP optimization model from the literature. The number of workers in this line is less than the number of workstations. Therefore, workers have to move between shared workstations. The simulation results are comparable to those obtained by optimization. This means that the simplifications adopted in the optimization model of the literature are suitable to represent the assembly line behavior and they do not generate conflicts in the allocation of workers to workstations. Additional tests do not show changes in the cycle time by including transportation time of items between workstations. However, the removal of an operator affects significantly the production time and the time to reach the steady-state of the assembly line. The new scenarios including transportation time and decreasing in the number of workers shall be considered for optimization in the future.

KEYWORDS: Discrete event simulation. Manufacturing. Industrial automation.

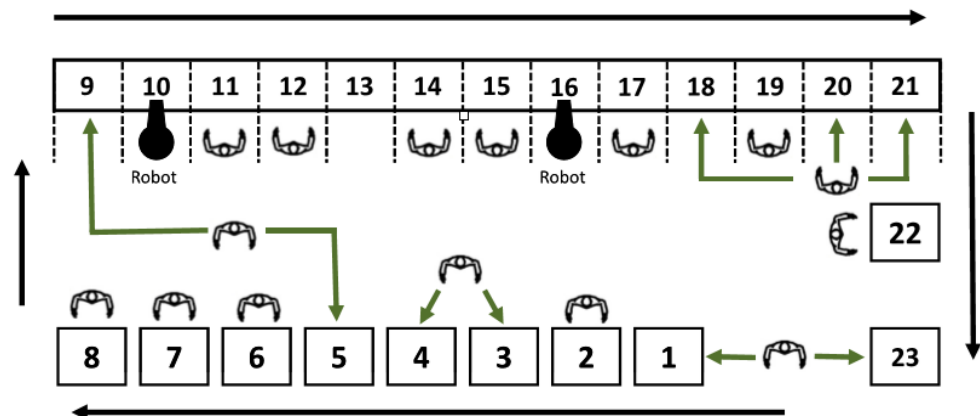
INTRODUÇÃO

A busca pela otimização dos processos de manufatura em prol da eficiência e redução dos custos é assunto de extrema importância na área acadêmica e desenvolve-se por meio de diversas ferramentas disponíveis. Uma das principais ferramentas da Pesquisa Operacional é a simulação de eventos discretos (BANKS et al, 2009). Neste trabalho, um modelo de simulação de uma linha de produção em U com deslocamento de operadores continuamente desenvolvido no grupo de pesquisa foi aprimorado com novas estruturas do pacote de simulação Simio® (SIMIO, 2018), tornando-o mais compacto e eficiente na execução. Esta mesma linha de produção foi considerada em (SIKORA; LOPES; MAGATÃO, 2017), que propôs um modelo de otimização em Programação Linear Inteira Mista para o balanceamento da linha. Entretanto, o modelo de otimização considera algumas simplificações que não aparecem no modelo de simulação. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar por simulação os resultados obtidos pela otimização.

MÉTODOS

Utilizando o *software* Simio, foi feita uma simulação de eventos discretos da linha de produção representada na Figura 1. A linha possui 23 postos de trabalho que são distribuídos dentre 17 operadores.

Figura 1 – Linha utilizada na simulação

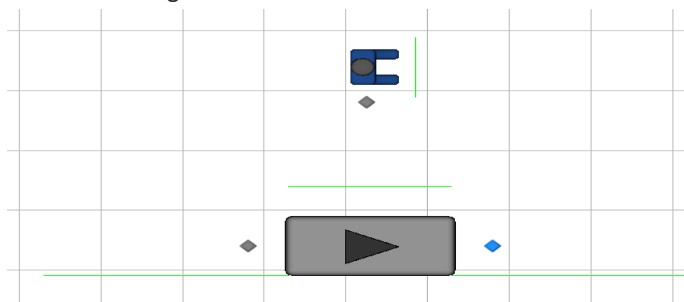


Fonte: (SIKORA; LOPES; MAGATÃO, 2017).

Na Figura 1 é possível observar quais postos são compartilhados e por quais trabalhadores, bem como o fluxo do material pela linha.

A Figura 2 mostra os blocos básicos do Simio utilizados para simular estações (*Servers*) e operadores (*Workers*). O bloco *Worker* (objeto na parte superior da Figura 2) é tratado como um recurso necessário pelo *Server* (bloco cinza na parte inferior da Figura 2) para processar os itens que entram na linha.

Figura 2 – Unidade básica do modelo



Fonte: (SIMIO, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram obtidos os tempos de ciclo de cada trabalhador para comparar com os resultados do modelo de otimização da literatura, assim como com os resultados do modelo anterior de simulação, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos tempos de ciclo em UT de cada trabalhador

Trabalhador	Otimização	Simulação anterior	Simulação proposta
1	1340,80	1340,76	1340,80
2	1340,00	1339,94	1340,00
3	1340,60	1340,56	1340,60
4	1294,80	1294,79	1294,80
5	1118,00	1117,94	1118,00
6	1341,00	1340,94	1341,00
7	1225,00	1224,94	1225,00
8	1337,00	1336,94	1337,00
9	1247,00	1246,94	1247,00
10	1197,00	1196,94	1197,00
11	1234,00	1233,99	1234,00
12	1043,00	1043,00	1043,00
13	1344,00	1343,94	1344,00
14	1337,56	1337,53	1337,56
15	1312,00	1311,94	1311,99
16	1338,00	1337,94	1338,00
17	1345,00	1344,94	1345,00

Fonte: (SIKORA; LOPES; MAGATÃO, 2017; SIMIO, 2018).

Conforme pode ser visto na Tabela 1, os tempos de ciclo obtidos são compatíveis com os obtidos tanto pela otimização quanto pela simulação anteriormente desenvolvida. O tempo de ciclo da linha de 1345 UT obtido pela simulação foi o mesmo da otimização. Além disso, o tempo necessário para a



linha entrar em regime permanente foi de aproximadamente 1370 vezes o tempo de ciclo da linha.

Considerando tempos de transporte dos itens na linha (que não foi considerado no modelo de otimização), obteve-se um incremento tanto no tempo de produção quanto no tempo para regime permanente. Entretanto, o tempo de ciclo da linha não foi alterado.

Em seguida foi feito um experimento retirando o trabalhador 10. A respectiva estação 12 de trabalho passou então a ser compartilhada com o trabalhador 5, responsável também pela estação 6. Os resultados do tempo de ciclo dos trabalhadores para este cenário são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempos de ciclo de cada trabalhador em UT com o operador 10 retirado

Trabalhador	Simulação proposta
1	2794,99
2	1455,00
3	1867,49
4	2209,90
5	2795,00
6	1454,00
7	1570,00
8	1336,99
9	1548,00
10	Retirado
11	1561,00
12	1752,00
13	1483,00
14	1457,00
15	1451,00
16	1467,91
17	1460,92

Fonte: Simio (2018).

A partir dos resultados da Tabela 2, nota-se um incremento nos tempos de ciclo dos trabalhadores. As estações 12 e 6 foram escolhidas para este teste, pois apresentam os menores tempos de ciclo e, portanto, não representam o gargalo da linha. Este teste deverá ser complementado futuramente por uma nova solução do modelo de otimização considerando o mesmo cenário, de forma que os resultados possam ser comparados adequadamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs uma nova implementação para o modelo de simulação de uma linha de produção em U com deslocamento de operadores. O modelo



anterior utilizava estruturas de programação que foram substituídas no modelo atual por objetos do pacote de simulação Simio. A partir do resultados obtidos, pode-se verificar que a nova implementação é compatível com os resultados obtidos anteriormente. Uma simplificação utilizada na literatura foi não considerar o tempo de transporte dos itens entre as estações. Ao considerar este tempo na simulação, foi possível observar que o tempo de ciclo não é alterado, mas o tempo de produção e o tempo necessário para a linha entrar em regime é significativamente incrementado. A retirada de um trabalhador da linha mostrou também um aumento significativo nos tempos de ciclo dos trabalhadores.

Trabalhos futuros deverão considerar cenários com número restrito de trabalhadores com o objetivo de forçar conflitos na alocação de trabalhadores nas estações.

REFERÊNCIAS

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-Event System Simulation**, 5th ed. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 2009.

SIMIO. **The Simio Product Family**. Disponível em: <<http://www.simio.com/products/>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

SIKORA, S.G.S.; LOPES, T.C., MAGATÃO, L. Traveling Worker assembly line (re)balancing problem: Model, reduction techniques, and real case studies. **European Journal of Operational Research**, v. 259, n. 3, p. 949-971, 2017.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária e a UTFPR pela bolsa concedida e a Ruan Rithelle de Faria Franco Chagas, bolsista PIBIC anterior, que auxiliou no processo de adaptação do novo modelo de simulação.