

Resultados de um estudo de cenários por meio da simulação computacional: o caso de um ambiente *flow shop* em uma linha semi-paralela com estoque intermediário e operação de sincronização ao final das semi-linhas

Danielle Murta Silva

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas –Departamento de Engenharia de Produção (DEPRO) Campus
Universitário S/N – Bauxita 35400000 - Ouro Preto, MG – Brasil
danielle_murta@live.com

Irce Fernandes Gomes Guimarães

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas –Departamento de Engenharia de Produção (DEPRO) Campus
Universitário S/N – Bauxita 35400000 - Ouro Preto, MG – Brasil
irce@ufop.edu.br@email.com

Davi das Chagas Neves

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas –Departamento de Engenharia de Produção (DEPRO) Campus
Universitário S/N – Bauxita 35400000 - Ouro Preto, MG – Brasil
davi.neves@ufop.edu.br

RESUMO

Neste artigo são apresentados os resultados de uma simulação computacional em um ambiente *flow shop* que possui duas semi-linhas que funcionam paralelamente entre si, com uma operação de sincronização ao final. O objetivo foi analisar o desempenho desta linha, com vistas a minimizar o estoque entre as semi-linhas e atividade de sincronização. Diferentes cenários foram idealizados para verificar o melhor sequenciamento das atividades. Sequências mais eficientes comparadas as utilizadas atualmente foram apresentadas, uma vez que foi possível avaliar os impactos de diferentes intervenções no sistema.

Palavra-chave: Sequenciamento de operações; Simulação Computacional; *Flow shop*; Estoque em processo.

ABSTRACT

This article discusses the results of a computational simulation in a Flow shop environment that has two semi lines that provide semi-products for the synchronization operation at the end. The objective was to analyze the performance of this line in order to minimize the stock between the semi lines and synchronization activity. Different scenarios

were designed to verify the best sequence of activities. The proposed sequences were more efficient compared to those currently used, since it was possible to evaluate the impacts of different interventions on the system.

Keywords: Operation Scheduling; Computational simulation; Flow shop; Work in process.

Como Citar:

Silva, Danielle Murta; Guimarães, Irce Fernandes Gomes; Neves, Davi das Chagas. Resultados de um estudo de cenários por meio da simulação computacional: o caso de um ambiente *flow shop* em uma linha semi-paralela com estoque intermediário e operação de sincronização ao final das semi-linhas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de operações industriais têm buscado cada vez mais a otimização e inovação de seus processos. Esses aspectos são importantes para obtenção de lucro, eficiência e boas posições na competição de mercado. Para isso, é necessário que haja uma boa gestão dos processos e recursos produtivos, pois a complexidade dos problemas encontrados neste setor podem causar distúrbios de informações e consequências negativas em todo processo. Neste sentido, muitos gestores buscam métodos e técnicas que orientem o processo de tomada de decisão e controle de seus sistemas. A Pesquisa Operacional, por meio da simulação de sistemas, tem contribuído de maneira efetiva para esse fim (GAVIRA, [1]).

De maneira geral, intervenções em sistemas produtivos, sejam elas em produtos, processos, tecnologias ou arranjo físico, necessitam de altos investimentos e por isso implicam em risco. Por meio da simulação é possível detalhar o funcionamento de um processo e ainda fazer testes com cenários alternativos, diminuindo dessa forma o risco de investimentos desnecessários.

Neste trabalho será abordado uma variante do problema que envolve um ambiente *flow shop*. No ambiente *flow shop* de produção, consideram-se n tarefas, que devem ser processadas sequencialmente em m máquinas. O modelo estudado é uma linha constituída por duas semi-linhas, chamadas de semi-linha 1 e semi-linha 2. Cada semi-linha produz uma parte do produto e ao final dessas semi-linhas ocorre a operação de sincronização. Para que a operação ocorra é necessário que tenham dois semi produtos, provenientes das duas semi-linhas. Cada *job* requer operações em cada uma das máquinas das semi-linhas com diferentes tempos de processamento. Na Figura 1 é mostrado um esquema deste tipo de sistema.

Neste artigo é apresentada uma análise do desempenho de uma linha de montagem em ambiente *flow shop* por meio da simulação computacional. As características dessa linha de montagem podem ser observadas na Figura 1 e o modelo validado em uma aplicação prática em uma linha de processamento de produtos cárneos. Para apresentação dos resultados desta pesquisa organizou-se este artigo como segue. Na seção 2 apresenta-se uma breve descrição sobre *flow shop*. Na seção 3 apresenta-se o modelo estudado em uma



Figura 1: Esquema representativo do problema proposto

Fonte: Guimarães, Souza e Yalaoui [2]

empresa de alimentos. Os métodos de resolução e os experimentos computacionais obtidos são descritos nas seções 4. E finalmente, as considerações finais são apresentadas na seção 5.

2. SISTEMA PRODUTIVO EM UM AMBIENTE *FLOW SHOP*

Segundo Kieskoski [3], um sistema produtivo pode ser pensado em diferentes ambientes de produção, de acordo com o número de máquinas, padrão de fluxo das tarefas, controle das máquinas por computadores ou por pessoas. Na teoria de programação, quanto as máquinas, pode-se considerar cinco ambientes básicos: máquina única (*single machine shop*), máquinas paralelas (*parallel machine shop*), *job shop*, *flow shop* e *open shop*.

Nagano, Mocelin e Lorena [4] caracterizam a relação entre as classes dos problemas de programação de operações em máquinas através das variáveis: número de estágios da produção (K) e número de máquinas (M) em cada estágio (s), que caracterizam a complexidade para cada tipo de problema.

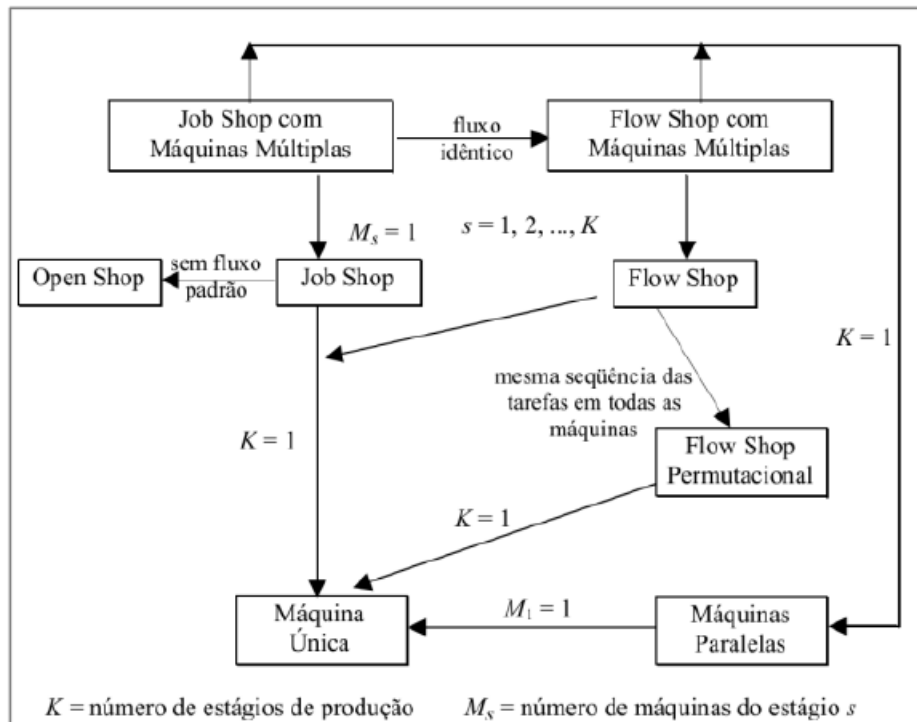
Na Figura 2 são mostradas as relações entre os diferentes ambientes de produção de acordo com o tipo de fluxo, sequência de tarefas, número de máquinas e estágios de produção. Pode-se salientar que o *job shop* é o ambiente que dá origem aos demais.

2.1. Ambiente *flow shop*

Dado que existem m máquinas em série, Pinedo [5] define que o modelo de sequenciamento da produção *flow shop* ocorre quando cada *job* tem que ser processado em cada uma das m máquinas e seguem o mesmo caminho no sistema produtivo. Além disso, depois de ser concluído em uma máquina o *job*, obrigatoriamente, deve entrar na fila da próxima máquina. Cada tarefa tem um tempo específico de processamento em cada uma das máquinas.

A Figura 3 exemplifica um ambiente *flow shop* com quatro máquinas. Nota-se que todos os *jobs* seguem a mesma rota, durante o processamento. Passando obrigatoriamente e nessa sequência, pelas máquinas 1, 3, 2 e 4.

Figura 2: Relação entre as classes de problemas de programação de operações em máquinas



Fonte: Nagano, Moccellini e Lorena [4].

Figura 3: Exemplo de um ambiente *Flow shop*



Fonte: Pesquisa direta (2019)

O ambiente de fabricação do tipo *flow shop* caracteriza-se pela rota constante que materiais e peças seguem durante o processo de fabricação. O *layout* deste tipo de ambiente de fabricação é organizado de acordo com o produto, apresentando um alto nível de automação, fato que possibilita a produção em grande escala e, conseqüentemente, a um baixo custo. Porém, abrange um portfólio restrito de produtos, visto que possui baixa flexibilidade produtiva (BORGES e DALCOL [6]).

O *flow shop* é amplamente utilizado em vários tipos de indústrias, principalmente naquelas que visam produzir um grande volume de produtos com pouca variedade. Entre os segmentos que utilizam esse tipo de *layout* pode-se destacar a indústria alimentícia, a indústria automobilística, frigoríficos, restaurantes *self-service*, fábrica de cotonetes e até mesmo na prestação de serviços, como por exemplo os programas de vacinação em massa, onde o vacinador é visto como uma máquina e as pessoas como os *jobs*, cada pessoa

receberá o mesmo tipo de vacina e na mesma ordem (PEINALDO e GRAEML [7]).

2.2. Simulação de sistemas *flow shop*

Desde o início dos anos 90, os estudos em simulação de ambientes dinâmicos *flow shop* foram conduzidos para examinar a efetividade das células de manufatura e das regras de sequenciamento. Os modelos que veem sendo simulados são caracterizados por *jobs* com chegadas dinâmicas, seguindo distribuições estatísticas. Além disso, parâmetros como tempos de processamento das tarefas e das operações também são gerados dinamicamente, e não estabelecidos de antemão (NEUFELD, GUPTA, BUSCHER [8]).

Segundo os mesmos autores, o primeiro trabalho envolvendo a avaliação de regras de sequenciamento em ambientes *flow shop* foi realizado por Hitomi, Nakamura e Yoshida [9]. Foram realizadas simulações considerando tempos de *setup* dependentes da sequência, para examinar os resultados gerados por oito regras de sequenciamento, com objetivo de minimizar o tempo máximo de fluxo.

Azadeh et al. [10] em seu trabalho utilizaram a simulação para lidar com o sequenciamento *flow shop* em uma indústria de produtos enlatados, com o objetivo de minimizar o custo total, por meio da abordagem de otimização em redes neurais artificiais. Como resultado, o autor encontrou um conjunto de soluções quase ótimas em um tempo computacional razoável, levando em consideração o tamanho do problema.

Plassart et al. [11] realizaram um estudo em linhas de montagem automatizadas de uma indústria. O objetivo foi estimar o impacto da implementação de um sistema de controle nos critérios relacionados a produtividade. A partir das simulações realizadas, os autores concluíram que a implementação de um sistema de controle tem influência positiva direta na eficiência de produção da indústria em questão.

Wilhelm, Chiou e Chang [12] propõe em seu trabalho um sistema inteligente de geração de planos de sequenciamento para um ambiente *flow shop*. O autor utilizou a simulação para criar uma base de dados contendo informações sobre o comportamento de regras de prioridade para alguns critérios de desempenho de acordo com os contextos operacionais do sistema de manufatura. O autor concluiu que a regra SPT, foi a que resultou em melhor resultado para os critérios de desempenho abordados.

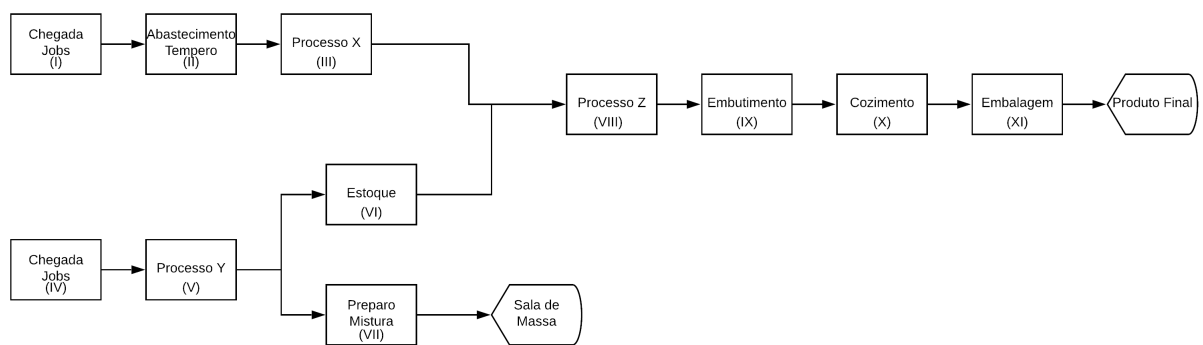
Gross[13] realizou uma análise de duas linhas de produção do setor automobilístico, com o objetivo de examinar o comportamento das regras de desempenho, verificar pontos de melhoria no sistema e simular dois *layouts* alternativos. Como resultado, o autor verificou a existência de gargalos em função da discrepância de produtividade entre os equipamentos. Além disso, em um dos cenários simulados, obteve uma redução nos custos devido a eliminação de alguns equipamentos, e conseqüentemente, uma maior taxa de utilização dos equipamentos restantes.

3. A SIMULAÇÃO EM UMA EMPRESA DE ALIMENTOS

3.1. O processo

A linha de produção considerada para simulação produz três produtos semelhantes, esses produtos serão chamados de Alfa, Ômega e Beta. O processo de fabricação é o mesmo para todos, todos os *jobs* seguem o mesmo roteiro dentro do processo, trata-se de um ambiente *flow shop*. O processo desde a entrada de matéria prima até o primeiro lote de produto acabado, dura aproximadamente 3 dias. A linha funciona em 3 turnos de trabalho, 22 hrs por dia de segunda a sexta. O fluxograma do processo pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4: Fluxograma do processo de fabricação dos produtos Alfa, Ômega e Beta



Fonte: Pesquisa direta (2019)

As matérias primas ficam armazenadas em uma câmara, a partir daí são encaminhadas para a semi-linha 1 (I) ou para semi-linha 2 (IV), dependendo do tipo de cada uma, será dado a elas os nomes de MP1 e MP2. Neste trabalho foi considerado que as matérias primas sempre estarão disponíveis para serem processadas. O sistema aguarda a chegada da ordem de produção ou *job* para dar início ao processo.

Na semi-linha 1, o primeiro processo consiste em fazer o abastecimento dos condimentos(II). Dado que o sistema foi abastecido, o Processo X (III) pode ser realizado, nessa etapa são adicionados os condimentos à MP1.

Simultaneamente ao Processo X e ao processo de abastecimento, ocorre na semi-linha 2 o Processo Y (V) e o Processo de Preparo da Mistura (VII). O Processo Y baseia-se na fragmentação da MP2 em porções com granulometria reduzida.

O Processo de Preparo da Mistura utiliza uma porção da MP2 que foi processada em Y. Além disso, a semi-linha 2 possui um Estoque (VI) da MP2 processada por Y, dado que o processo X (III) é muito mais lento do que o processo Y (V).

No Processo Z (VIII), as matérias primas precisam chegar nas proporções certas, estabelecidas pelos parâmetros de fabricação. Esse processo consiste na movimentação e no descanso da massa formada pelas MP's 1 e 2 processadas, tem o objetivo de homogeneizar a mistura.

Posteriormente a massa é embutida (IX) em formas, e em seguida dá entrada no processo de cozimento (X). Depois do cozimento, os produtos são retirados e seguem para serem embalados(XI).

O processo de embalagem (XI) é todo automático, a máquina coloca os produtos nas caixas e faz o lacre.

3.2. Coleta de Dados

A coleta foi realizada por meio da análise dos tempos por lotes de fabricação, no mês de fevereiro foram produzidos um total de 341 lotes, logo, essa quantidade será considerada para fins de comparação e validação entre a simulação e o processo real.

Após a coleta, os dados foram analisados com o objetivo de identificar alguma anomalia, *outlier* ou qualquer erro na coleta. Feita essa análise, os dados foram carregados na ferramenta *Input Analyser*, disponível no pacote do *software Arena 15.0* para encontrar a distribuição estatística que melhor de enquadra aos tempos de processamento. As curvas ajustadas com menor erro quadrático, que consiste na soma do quadrado da diferença das observações esperadas da distribuição ajustada em relação a curva empírica, estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Distribuições do processo

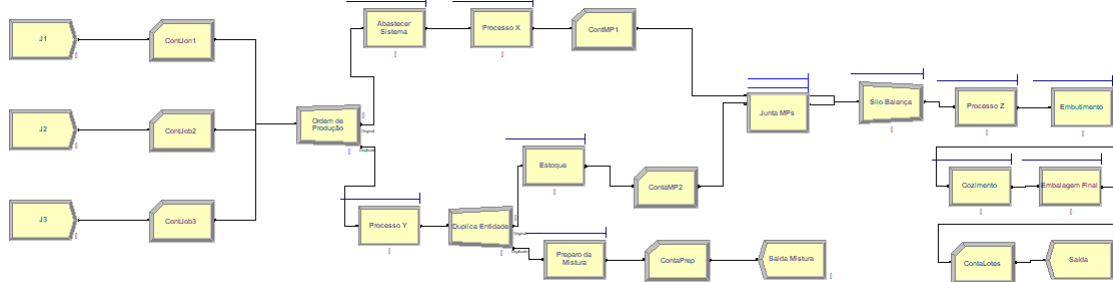
Etapa	Curva Ajustada	Erro Quadrático
Abastecimento da máquina	$68 + 111 * \text{BETA}(1.08, 0.859)$	0.034660
Processo X	$29.5 + \text{GAMM}(6.88, 4.06)$	0.006911
Processo Y	$4.5 + 18 * \text{BETA}(1.18, 1.87)$	0.015504
Estoque	$\text{NORM}(40.4, 13.5)$	0.026036
Preparo Mistura	$12 + \text{GAMM}(26.7, 2.21)$	0.350567
Processo Z	$\text{TRIA}(585, 1.12e+003, 1.22e+003)$	0.022805
Embutimento	$31.5 + 15 * \text{BETA}(0.945, 0.912)$	0.013612
Embalagem	$34.5 + 15 * \text{BETA}(0.907, 0.786)$	0.026893

4. MODELO COMPUTACIONAL

O sistema simulado foi construído considerando a fabricação em lotes. No modelo real existem dois lotes de diferentes tamanhos, mas em função da dificuldade em mensurar o tempo processamento de cada tipo de lote em cada etapa foi considerado o lote que ocorre com maior frequência.

O modelo simulado a partir dos dados coletados está representado na Figura 5

Figura 5: Modelo de simulação no Arena



4.1. Validação do Modelo

A validação do modelo simulado foi realizado por meio da comparação de alguns indicadores do sistema real com os dados obtidos a partir da simulação. São eles:

- Número de lotes produzidos: o indicador apresentou um bom comportamento, desviando apenas 1 unidade comparado ao modelo real.
- Número de lotes produzidos do Job 1: o indicador apresentou um bom comportamento, desviando apenas 1 unidade comparado ao modelo real.
- Número de lotes produzidos do Job 2: esse indicador foi bem assertivo, apresentou a quantidade exata produzida do produto em questão.
- Número de lotes produzidos do Job 3: comportamento similar ao indicador anterior, apresentou a quantidade exata do produto Beta.
- Média em estoque: também apresentou um comportamento satisfatório, visto que está entre o intervalo encontrado no cenário real.

Tabela 2: Comparação entre os resultados reais e simulados

Parâmetro	Sistema Real	Simulado	Diferença (%)
Nº total de lotes produzidos	341	340	0.3
Nº total de lotes produzidos do Job1	305	304	0.3
Nº total de lotes produzidos do Job2	13	13	0
Nº total de lotes produzidos do Job3	23	23	0
Média em estoque	1 a 2	1.12	0

Observe que os indicadores utilizados para comparação apresentaram um resultado satisfatório quando comparados aos indicadores do modelo real, logo, conclui-se que o modelo computacional se comporta de maneira semelhante ao modelo real.

4.2. Cenário Alternativo 1

Tabela 3: Número de Lotes e media em estoque para chegada 0.90 Job/h e diferentes quantidades de recursos

Quantidade de Recursos			Lotes	
Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Nº de Lotes	Média em Estoque
1	14	11	433	1.75
2	19	13	454	0.27
2	20	15	462	0.26

Para o cenário alternativo 1 foi proposto o aumento da taxa de chegada dos *jobs* no modelo planejado, a fim de avaliar e o comportamento do sistema sob um a situação de *stress* na chegada. As Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 esquematizam os resultados gerados

Tabela 4: Taxa de ocupação para chegada 0.90 Job/h e diferentes quantidades de recursos

Quantidade de Recursos			Taxa de ocupação		
Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Pro. X	Pro. Z	Cozimento
1	14	11	0.67	0.8	0.74
2	19	13	0.36	0.62	0.65
2	20	15	0.36	0.59	0.57

pelo sistema quando a taxa de chegada dos trabalhos foram aumentadas para 0.9 Job/h e 1 Job/h de acordo com diferentes cenários de recursos.

A primeira configuração exposta na Tabela 3 se refere a configuração real do sistema, observe que o modelo consegue absorver essa chegada, porém ocorre um aumento na média em estoque e nos tamanhos das filas, demonstradas na Tabela 5. Com o aumento do número dos recursos do Processo X, do Processo Z e do Cozimento, ocorre uma queda significativa no estoque e também nas filas, como consequência a taxa de utilização também cai, aumentando a ociosidade das máquinas conforme Tabela 4.

Tabela 5: Tamanho das filas para chegada 0.90 Job/h e diferentes quantidades de recursos

Quantidade de Recursos			Tamanho da Fila			
Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Sincronização
1	14	11	1.69	4.12	0.23	1.75
2	19	13	0.14	0.48	0.58	0.27
2	20	15	0.15	0.51	0.13	0.26

Com o aumento da taxa de chegada para 1.0 Jobs/h, a configuração atual não conseguiu suportar, devido a esse fato ela não pôde ser avaliada. Ou seja, para que o sistema suportasse essa chegada obrigatoriamente o número de recursos teve que sofrer alterações. A primeira configuração que suportou essa taxa de chegada foi a que considera 15 recursos para o Processo Z e 12 recursos para o Cozimento. Percebe-se que essa configuração apresentou um número de lotes inferior a primeira configuração que mantém os recursos atuais e aumenta a taxa de chegada para 0.9 Jobs/h. Isso se dá pelo fato de que o Processo Z funciona basicamente como um estoque, logo, quando a quantidade desse recurso é aumentada, automaticamente o estoque em processo aumenta e pode ocorrer uma diminuição das saídas em função deste. Esse fato pode ser verificado na Tabela 6, onde a média em estoque é considerada alta, logo mais produtos estão em processo.

Tabela 6: Número de lotes e media em estoque para chegada 1.0 Job/h e diferentes quantidades de recursos

Quantidade de Recursos			Lotes	
Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Nº de Lotes	Média em Estoque
2	18	13	472	0.26
2	20	13	487	0.25
1	16	12	448	1.79
1	15	12	424	2.63

Tabela 7: Taxa de ocupação para chegada 1.0 Job/h e diferentes quantidades de recursos

Quantidade de Recursos			Taxa de ocupação		
Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Pro. X	Pro. Z	Cozimento
2	18	13	0.34	0.62	0.61
2	20	13	0.33	0.60	0.55
1	16	12	0.70	0.72	0.70
1	15	12	0.66	0.73	0.66

Aumentando o número de recursos para essa taxa de chegada, é possível observar uma mudança significativa quando os recursos do Processo X foram aumentados em 1 unidade, o Processo Z foi aumentado em 4 e o Cozimento em 2 unidades. Os demais cenários não obtiveram um aumento satisfatório.

Tabela 8: Tamanho das filas para chegada 1.0 Job/h e diferentes quantidades de recursos

Quantidade de Recursos			Tamanho da Fila			
Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Pro. X	Pro. Z	Cozimento	Sincronização
2	18	13	0.1	0.18	0.31	0.22
2	20	13	0.13	0.30	0.40	0.23
1	16	12	1.71	0.47	0.23	1.88
1	15	12	2.54	1.88	1.79	2.63

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi analisar por meio de simulação computacional o desempenho de uma linha produtiva caracterizada por um ambiente *flow shop*, com semi-linhas e atividade de sincronização ao final, a fim submeter o sistema simulado a diferentes demandas e configurações dos recursos. O modelo computacional atendeu as expectativas, já que representou o sistema real de forma satisfatória, uma vez que os indicadores utilizados na validação obtiveram comportamento similar ao modelo real.

Após a construção e validação do modelo computacional no *software Arena 15.0*, foi proposto cenários alternativos considerando aumento na demanda do produto para as taxas de chegada de 0.9 e 1.0 jobs/h, além da implementação de diferentes configurações dos recursos do sistema.

Concluiu-se que a configuração atual conseguiu absorver a demanda de 0.9 jobs/h porém manter 4.12 lotes estocados nessa etapa do processo é inviável, por questões de espaço físicos e também sanitárias, visto que a matéria prima é altamente perecível. A configuração que apresentou os melhores resultados para o número em fila e média em estoque para essa taxa de chegada citada na análise dos resultados, obteve um ganho de 21 lotes que é considerado pequeno, dado que houve um aumento significativo dos recursos.

Além disso, para a demanda de 1 jobs/h a configuração que apresentou os melhores indicadores foi o que considerou 2 recursos no Processo X, 18 recursos no processo Z e 13 recursos no cozimento. Essa configuração apresentou um baixo estoque e um número

bem pequeno de *jobs* nas filas dos processos críticos.

O cenário gerado proporcionou uma boa reflexão sobre os efeitos das mudanças no sistema além de ter proporcionado a abertura de novas possibilidades em relação para futuras modificações quanto aos recursos da linha. Para uma análise mais completa a simulação deve ser combinada com outros métodos que abrangem outras variáveis que também são importantes para a tomada de decisão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GAVIRA, M. d. O. *Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2003. 2
- [2] GUIMARÃES, I. F. G.; SOUZA, M. C. de; YALAOUI, F. O problema de sequenciamento da produção em um ambiente flowshop com linhas semi-paralelas e operação de sincronização final. *XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2015. 3
- [3] KIESKOSKI, A. Um estudo do problema de flow shop permutacional, uma proposta de solução através da metaheurística colônia de formigas. 2016. 3
- [4] NAGANO, M. S.; MOCCELLIN, J. V.; LORENA, L. A. N. Programação da produção flow shop permutacional com minimização do tempo médio de fluxo. *XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. São João Del-Rei*, 2004. 3, 4
- [5] PINEDO, M. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. Springer, 2008. (Prentice Hall international series in industrial and systems engineering). ISBN 9780387789347. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=EkpDak9kEs0C>>. 3
- [6] BORGES, F. H.; DALCOL, P. R. Indústrias de processo: comparações e caracterizações. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v. 22, 2002. 4
- [7] PEINADO, J.; GRAEML, A. R. *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. [S.l.]: UnicenPI, 2007. 5
- [8] NEUFELD, J. S.; GUPTA, J. N.; BUSCHER, U. A comprehensive review of flowshop group scheduling literature. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 70, p. 56–74, 2016. 5
- [9] HITOMI, K. et al. An experimental investigation of group production scheduling. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Production Research*. [S.l.: s.n.], 1977. p. 608–617. 5
- [10] AZADEH, A. et al. A hybrid computer simulation-adaptive neuro-fuzzy inference system algorithm for optimization of dispatching rule selection in job shop scheduling problems under uncertainty. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, v. 79, n. 1-4, p. 135–145, 2015. 5
- [11] PLASSART, L. et al. Performance evaluation of a controlled flow-shop system with a timed petri net model. In: *ICINCO 2006, Third International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, Robotics and Automation*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 494–499. 5

- [12] WILHELM W. E.; CHIOU, C. C. C. D. B. Integrating design and planning considerations in cellular manufacturing. *Annals of Operations Research*, v. 77, n. 1-4, p. 97–107, 1998. 5
- [13] GROSSO, D. P. Simulação de uma linha de produção de segmentos para a indústria automóvel. In: *Dissertação de Mestrado*. [S.l.: s.n.], 2012. 5