

UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DE GARGALOS NO PROCESSO PRODUTIVO

Gustavo Valentim Loch

Universidade Federal do Paraná (UFPR) – PPGMNE Centro Politécnico. CEP: 81531-980. Curitiba-PR gustavo.valentim@ufpr.br

Volmir Eugênio Wilhelm

Universidade Federal do Paraná (UFPR) – PPGMNE Centro Politécnico. CEP: 81531-980. Curitiba-PR volmirw@gmail.com

RESUMO

A identificação de gargalos de produção, assim como solucioná-los, faz parte do planejamento das empresas. Os gargalos representam restrições ao sistema produtivo, influenciando o tempo de espera entre a realização de suas tarefas e merecem especial atenção pelo fato de as perdas geradas por eles significarem perdas diretas em todo o sistema. No presente trabalho, é realizado um estudo de caso sobre o gargalo na parte do diagnóstico de falhas e reparos, de uma empresa de grande porte do ramo de eletroeletrônicos. A ferramenta utilizada para encontrar possíveis soluções à ocorrência dos gargalos foi a simulação computacional, a qual mostrou-se apropriada e produziu resultados satisfatórios e de grande utilidade para a tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE. Simulação. Gargalos. Retrabalho.

ABSTRACT

The identification of production bottlenecks, as solve them, is part of business planning. Bottlenecks represent restrictions in the production system, influencing de lead time among the completion of their tasks and deserve special attention because the losses generated by them imply direct losses throughout the system. In this paper it is presented a case study based on a bottleneck in the station of failure diagnosis and rework in a large company of the electronics branch. The tool used to provide possible solutions to the bottlenecks was computer simulation, which showed to be appropriate to the case and produced satisfactory results, being very useful for the decision making.

KEY-WORDS. Simulation. Bottlenecks. Rework.



1. Introdução

A avaliação da capacidade da produção é necessária dentro do planejamento das empresas. Segundo Slack (1999, p.253): "um equilíbrio adequado entre capacidade e demanda pode gerar altos lucros e clientes satisfeitos, enquanto que o equilíbrio "errado" pode ser potencialmente desastroso".

Caso a capacidade da produção seja insuficiente para atender a demanda, a empresa sofrerá uma queda do nível de serviços aos seus clientes, principalmente em relação a prazos e confiabilidade (CORRÊA, 2001).

No estudo da capacidade de produção, deve ser considerada a possibilidade da ocorrência de gargalos. Segundo Goldratt e Fox (1997), os gargalos representam restrições às saídas do sistema produtivo. Uma vez que os gargalos formam a principal restrição, em termo produtivo, do sistema, é essencial a sua administração, a fim de minimizar os tempos de espera entre tarefas sucessivas.

Para uma melhora, em termos de eficiência, do sistema produtivo, o gargalo da produção deve ter sua administração destacada em relação aos demais estágios, pois as perdas geradas pelo gargalo significam perdas diretas em todo o sistema, enquanto perdas ocorridas em outros estágios podem ser mais facilmente recuperadas e diluídas no tempo da produção (BARROS e MOCCELLIN, 2004).

No presente trabalho, foi utilizado como exemplo o processo produtivo de uma empresa de grande porte do ramo de eletroeletrônicos. Nesta empresa, para garantir uma maior qualidade final do produto (produtos conformes), todos os aparelhos (Inspeção Cem por Cento) são inspecionados em dois diferentes pontos da linha de produção (conforme Figura1). Em cada posto de inspeção diversos testes são realizados.

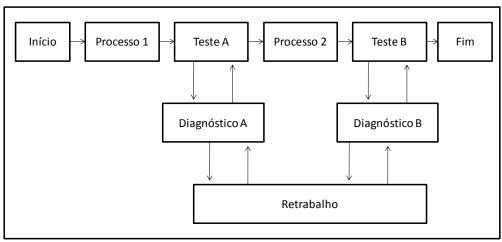


Figura 1 - linha de produção simplificada da empresa estudada

Para cada um dos postos de testes, caso o aparelho possua alguma característica fora das especificadas como padrão, ele é encaminhado a um técnico de diagnóstico.

Os técnicos de diagnóstico são responsáveis pela identificação do que causou a falta de conformidade do aparelho. Dependendo do componente defeituoso, o próprio técnico de diagnóstico realiza a substituição. Caso o componente não possa ser trocado na estação de diagnóstico, o aparelho é encaminhado à estação de reparo, onde um técnico de retrabalho realizará a substituição do componente.

Todos os aparelhos, após reparados, são encaminhados para o posto de teste no qual foi reprovado anteriormente, onde é novamente submetido ao teste. Em caso de nova reprovação de um aparelho, ele é dirigido para a estação de diagnóstico, e repete-se o processo descrito



anteriormente. Assim, o aparelho somente segue para a próxima etapa da produção depois de aprovado.

Neste processo produtivo, estavam ocorrendo gargalos nas estações de diagnóstico e retrabalho. Para eliminar a formação de estoques intermediários, devidos a existência dos gargalos, quatro alternativas são possíveis:

- i. Diminuir o número de aparelhos reprovados: neste caso, a empresa deveria adquirir insumos de maior qualidade e investir em treinamento da mão-de-obra da linha de produção;
- ii. Aumentar a quantidade de mão-de-obra: para isso, seria necessária a alocação de mais pessoas destinadas à realização do diagnóstico e reparo dos aparelhos;
- iii. Diminuir o tempo de diagnóstico e retrabalho: neste caso, treinamentos precisariam ser realizados para os técnicos de diagnóstico e retrabalho;
- iv. Uma combinação das três alternativas anteriores.

Portanto, existia a necessidade de uma ferramenta capaz de fornecer informações, confiáveis, sobre qual seria o comportamento do sistema. Neste trabalho será proposta a utilização da simulação computacional para realizar a previsão de gargalos nos setores de diagnóstico e retrabalho.

2. Revisão de Literatura

Simulação é definida por Kelton (2001) como sendo uma coleção de métodos e aplicações para imitar o comportamento de um sistema. Law e Kelton (2000) dizem que dependendo da simplicidade do sistema, ele pode ser resolvido por equações analíticas. Porém, também afirmam que muitos dos problemas reais são muito complexos para serem resolvidos por estes métodos exatos.

A realização do experimento no próprio sistema, em geral, não é a ideal. Em muitos casos é muito difícil, custoso, ou impossível realizar estudos físicos no próprio sistema. Portanto, surge como alternativa a simulação computacional, que constituí em desenvolver um modelo, em um ambiente computacional, que imite o sistema (KELTON, 2001).

Uma vez que o modelo tenha sido desenvolvido, ele é executado para que sejam avaliadas as conseqüências causadas por diferentes conjuntos de condições. Quando um modelo é submetido a um conjunto de condições e executado, dizemos que um cenário foi simulado, ou seja, um cenário é um conjunto de condições para o modelo.

A simulação computacional também pode ser utilizada para prever o que aconteceria caso um sistema fosse submetido a determinadas condições. Isto pode ser realizado para um sistema já existente, ou para planejar um novo sistema (BANKS, 1999).

A simulação computacional tem como uma de suas grandes vantagens a possibilidade da inclusão da aleatoriedade, do sistema, no modelo. Em geral, a inclusão da aleatoriedade é realizada por meio da utilização de distribuições de probabilidade. Uma revisão sobre as distribuições de probabilidades mais utilizadas é realizada em Law e Kelton (2000).

Uma vez que os dados de entrada (tempos de processos, taxa de falhas, etc.) utilizados na simulação da produção são estocásticos, os dados de saída (quantidades em filas, tempos em filas, etc.) também apresentaram aleatoriedade (FREITAS Filho, 2008). Isto está de acordo com o comportamento do sistema real, pois variações ocorrem quando diferentes dias são comparados.

A análise de resultados constitui uma parte extremamente importante de um projeto de simulação. A análise dos dados de saída (resultados) da simulação merece atenção especial para chegar a conclusões sobre o sistema. Segundo Vaccaro e Rodrigues (2005, p. 4669): "uma das principais ferramentas de análise estatística utilizadas em simulação é a construção de intervalos de confiança para as medidas observadas". Segundo Freitas Filho (2008) a principal razão para uma maior atenção ao processo de análise dos resultados é que os modelos apresentam, semelhantemente aos sistemas que estão imitando, comportamentos estocásticos (aleatórios).



Então, para uma melhor aproximação da realidade, e maior confiança nos resultados, diversas replicações devem ser realizadas para cada cenário. O número de replicações será definido com base na confiança desejada, e para isto é necessário o conceito de intervalo de confiança.

Ao serem executadas n replicações de um cenário, coletando em cada uma delas tempo médio em fila, quantidade máxima em fila, etc., existirão variações entre os valores de uma replicação para outra. A idéia da criação do intervalo de confiança é estabelecer um intervalo no qual o valor da média se encontrará, com um determinado percentual de confiança

$$P(y \in [\bar{x} - h, \bar{x} + h]) = 100.(1 - \alpha)\%$$
 (1)

A equação acima representa que em $100.(1-\infty)\%$ dos casos é esperado que os resultados estarão dentro do intervalo de confiança. Isto é, estima-se que em $100.(1-\infty)\%$ dos dias o que irá acontecer estará dentro do intervalo de confiança $[\bar{x} - h, \bar{x} + h]$.

Segundo FREITAS Filho (2008) o valor de h é calculado através da seguinte fórmula:

$$h = t_{n-1,1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{2}$$

Onde $t_{n-1,1-\alpha/2}$ é o valor da distribuição T de Student, para $1-\alpha/2$, com n-1 graus de liberdade.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$
 (3)

Assim, temos:

$$P\left(y \in \left[\bar{x} - t_{n-1,1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{x} + t_{n-1,1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}\right]\right) = 100. (1-\alpha)\%$$
(4)

 $O \ \ valor \ \ \bar{x} - t_{n-1,1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \ \ ser\'{a} \ \ aqui \ \ tamb\'{e}m \ \ chamado \ de \ limite \ inferior \ (LI).$ Analogamente, o valor $\bar{x} + t_{n-1,1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ ser\'{a} chamado de limite superior (LS).

É possível observar que para um dado α , o valor de h é inversamente proporcional ao de n, de modo que para diminuir o intervalo seria necessário aumentar o tamanho de n. Ao realizarmos um determinado número de replicações, n, é possível que o intervalo de confiança acabe sendo maior que o desejado. Porém, realizando um número adicional de replicações e recalculando o intervalo de confiança, este tende a diminuir.

Conforme literatura especializada da área, há uma grande variedade de aplicações de simulação na análise de diferentes processos de sistemas de produção. Por exemplo: Greasley (2004) utilizou a simulação para o estudo do layout do sistema produtivo; Oliveira (2008), Standrige e Marvel (2006) utilizaram simulação para estudos de projetos de manufatura enxuta (*lean manufacturing*); Rosset *et al* (2009) estudaram por meio de modelo de simulação os gargalos em uma fábrica de componente para semicondutores.

3. Estudo de caso

A primeira etapa do trabalho para a construção do modelo foi uma visita a empresa, utilizada como exemplo, para que assim fosse possível entender o processo produtivo e, conseqüentemente, traduzi-lo em um fluxograma.

Após a primeira visita o fluxograma foi criado, e em uma segunda visita este foi apresentado aos profissionais da área de produção, a fim de verificar se o fluxograma estava sendo fiel ao sistema. Pequenas alterações foram necessárias e então este novo fluxograma foi utilizado como base para o restante do estudo.

O processo produtivo foi analisado detalhadamente ao longo das visitas a linha de produção. Todos estes detalhes foram considerados para a construção do fluxograma inicial do processo produtivo (Figura 2)

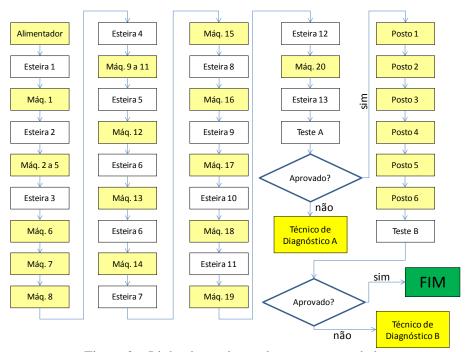


Figura 2 – Linha de produção da empresa estudada

Quando um modelo de simulação é desenvolvido, busca-se imitar o sistema, o mais fielmente possível. Porém, inserir detalhes tende a aumentar o tempo necessário para a construção do modelo e sua execução. Por isso, é importante identificar o que realmente exerce influência sobre as variáveis de interesse de estudo do sistema, a fim de evitar o aumento, desnecessário, da complexidade do modelo.

Caso fosse optado por considerar todas as etapas, detalhadamente, no modelo, este se tornaria mais complexo e, consequentemente, mais lento. Entretanto, isto não geraria ganhos relevantes em termos de resultado. Logo as etapas foram divididas em blocos, gerando o fluxograma adaptado do processo produtivo (Figura 3), o qual foi utilizado como base para a construção do modelo.

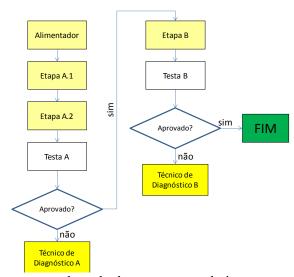


Figura 3 – Fluxograma adaptado do processo produtivo



Para o processo de diagnóstico também foram identificadas suas etapas. Elas foram identificadas por meio de visitas à linha de produção e conversas com os próprios técnicos de diagnóstico.

Os técnicos de diagnóstico estão localizados em estações à parte da linha de produção. Além de realizar os diagnósticos, eles são responsáveis por buscar os aparelhos reprovados nos respectivos testes, na linha de produção, e, também, levar os aparelhos até os técnicos de retrabalho.

Com base nas visitas à linha de produção e conversas com os técnicos de diagnóstico foi possível construir um fluxograma (Figura 4) do trabalho desenvolvido por eles.

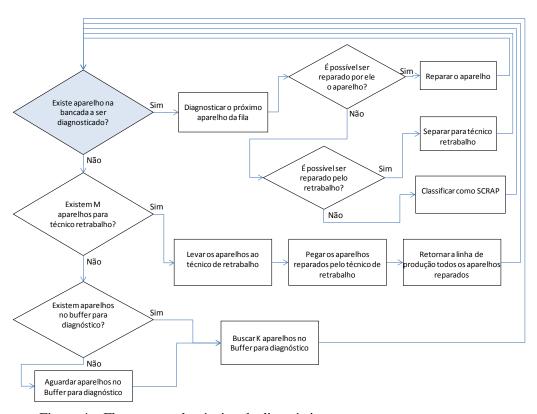


Figura 4 – Fluxograma do técnico de diagnóstico

O técnico de diagnóstico verifica se existe em sua bancada algum aparelho ainda não diagnosticado. Caso exista algum aparelho nesta condição, o técnico efetuara o diagnóstico. Três situações serão então possíveis: a primeira é de ser possível que ele mesmo realize o reparo; outra é a de não ser possível ele reparar, mas que seja possível o reparo pelo técnico de retrabalho, então o aparelho será separado para ser, posteriormente, levado ao técnico de retrabalho; a última opção é a de não ser possível o reparo, sendo, então, o aparelho classificado como SCRAP.

Após isso, o técnico verifica, novamente, se existe em sua bancada algum aparelho ainda não diagnosticado. Caso não exista aparelho nesta condição, ele verifica se existe um número de aparelhos M, considerado razoável, para levar até o técnico de retrabalho.

Se existir este número de aparelhos, ele leva-os até a estação dos técnicos de retrabalho, na qual também retira os aparelhos já reparados. Então, os aparelhos já reparados, tanto os pelo técnico de diagnóstico como pelos técnicos de retrabalho, são levados por ele à linha de produção. Caso o número de aparelhos separados para retrabalho seja inferior a M, ele se dirige ao buffer de aparelhos para diagnóstico para buscar mais aparelhos para diagnóstico. Caso não existam aparelhos no buffer, o técnico ficará aguardando a chagada de aparelhos neste buffer.

Os técnicos de diagnóstico são responsáveis por levar (e também buscar) os aparelhos aos técnicos de retrabalho. Os técnicos de retrabalho necessitam de componentes para realizar a



substituição do componente defeituoso na placa.

É possível que o técnico de retrabalho não possua o componente necessário para a troca em sua bancada. Quando isto acontece, ele se dirige até a linha de produção para buscar estes insumos.

4. Resultados

O modelo de simulação computacional do processo produtivo foi desenvolvido no ambiente de simulação Arena. Os tempos, fornecidos e coletados, de cada processo foram submetidos a análises estatísticas a fim de obter-se o padrão seguido por eles. Com isto feito, foi possível realizar a simulação de diversos cenários, por meio da alteração dos valores dos parâmetros (Quadros 1 e 2). Alguns dos resultados serão aqui apresentados, para exemplificar as consequências, previstas, para algumas mudanças no sistema. Ressalta-se que no quadro 2, TRIA(a,c,b) representa a distribuição triangular, sendo "a", "c" e "b" os parâmetros correspondentes aos valores de mínimo, moda e máximo, respectivamente.

Como já explicado anteriormente, um modelo de simulação não é resolvido, e sim executado. Logo, diferentes cenários foram executados, sendo que para cada um deles dez replicações foram realizadas, fixando o intervalo de confiança, para os valores das variáveis de saída, em 95%. A amplitude do intervalo gerada por esta combinação de parâmetros foi considerada satisfatória. Portanto, não foram necessárias replicações adicionais.

Etapa	Descrição		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Teste A	Quantidade de técnicos		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Aparelhos reprovados	% consertado pelo técnico	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		% possível de retrabalho	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
		% SCRAP	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Índice de falha %		1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Teste B	Quantidade de técnicos		2	3	3	3	2	2	2	2	2	2
	Aparelhos reprovados	% consertado pelo técnico	60	60	60	80	60	60	60	60	60	60
		% possível de retrabalho	30	30	30	10	30	30	30	30	30	30
		% SCRAP	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Índice de falha		5,6	5,6	5,6	5,6	5,0	4,0	5,6	5,6	5	4,5
Retrabalho	Quantidade de técnicos		1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Quadro 1 – Parâmetros para os cenários simulados

Cenário	Teste A	Teste B	Retrabalho
1	TRIA(50,80,180)	TRIA(70,120,210)	TRIA(75,140,280)
2	TRIA(50,80,180)	TRIA(70,120,210)	TRIA(75,140,280)
3	TRIA(50,80,180)	TRIA(70,120,210)	TRIA(75,140,280)
4	TRIA(50,80,180)	TRIA(70,120,210)	TRIA(75,140,280)
5	TRIA(50,80,180)	TRIA(70,120,210)	TRIA(75,140,280)
6	TRIA(50,80,180)	TRIA(70,120,210)	TRIA(75,140,280)
7	TRIA(50,80,180)	TRIA(65,100,155)	TRIA(75,140,280)
8	TRIA(50,80,180)	TRIA(60,90,140)	TRIA(75,140,280)
9	TRIA(50,80,180)	TRIA(65,100,155)	TRIA(75,140,280)
10	TRIA(50,80,180)	TRIA(65,100,155)	TRIA(75,140,280)

Quadro 2 – Tempos de diagnóstico e retrabalho para os cenários simulados



O cenário 1 refletia as condições originais do sistema. Como os resultados gerados pelo modelo, aqui apresentados na tabela 1, foram semelhantes aos ocorridos no sistema, o modelo foi validado e julgado apto a simular diferentes cenários.

	Descrips a	Mádia	Intervalo de confiança			
ETAPA	Descrição	Média	Limite Inferior	Limite Superior		
Teste A	Consertados pelo técnico	214,1	202	226		
Teste A	Encaminhados ao retrabalho	1706,4	1672	1741		
Teste A	Classificados como SCRAP	206,0	199	213		
Teste A	Média em estoque	1,0	1	1		
Teste A	Estoque Final	1,6	1	2		
Teste B	Consertados pelo técnico	3376,6	3354	3399		
Teste B	Encaminhados ao retrabalho	1685,1	1657	1713		
Teste B	Classificados como SCRAP	557,4	547	568		
Teste B	Média em estoque	508,1	467	550		
Teste B	Estoque Final	1046,8	1005	1089		
Retrabalho	Reprovados Teste A	1702,5	1672	1733		
Retrabalho	Reprovados Teste B	1681,1	1659	1703		
Retrabalho	Estoque Final	24,5	11	38		
Total de Aparelhos Produzidos		116621,2	116590	116652		

Tabela 1 – Resultados para o cenário 1

Ao analisar-se a tabela 1, percebe-se que em média 2126,5 aparelhos foram diagnosticados pelo técnico do teste A. Destes aparelhos, em média 214,1 foram reparados pelo próprio técnico, 1706,4 foram encaminhados ao retrabalho e 206,0 foram classificados como SCRAP. Além disso, a média de aparelhos em estoque foi de 1,0, e o estoque final foi em média de 1,6.

Como existem variáveis estocásticas no modelo, faz-se necessário determinar o intervalo de confiança. Em particular, para o número de aparelhos reprovados no teste A e reparados pelo próprio técnico de diagnóstico, isto significa que em 95% das semanas espera-se que o número de aparelhos reprovados no teste A e consertados pelo próprio técnico de diagnóstico esteja entre 202 e 226.

A análise dos resultados referentes ao teste B é análoga aquela apresentada para os do teste A. Analisando os resultados do teste B percebe-se que em 95% das semanas um número entre 1005 e 1089 unidades serão acrescidas ao estoque semanalmente, o que indica que o cenário atual não é suficiente para atender a demanda de aparelhos reprovados no teste B, e que o custo extra para diagnosticá-los e repará-los será elevado.

Quanto aos resultados referentes ao retrabalho, infere-se que em média 1702 aparelhos, dos reprovados no teste A, e 1681, dos reprovados no teste B, serão reparados pelo técnico de retrabalho. O estoque final aumentará em poucas unidades (em média 24) a cada semana, isso indica que o técnico de diagnóstico pode estar no limite da capacidade.

Observando-se os resultados do cenário 1, o principal gargalo deste processo produtivo estava na estação de diagnóstico do teste B. Portanto, buscou-se encontrar alternativas para a eliminação deste gargalo. O número médio de aparelhos que seria esperado de não serem diagnosticados pelos técnicos de diagnóstico do teste B estão representados na tabela 1 e no gráfico 1.

Na tentativa de eliminar o gargalo do diagnóstico dos aparelhos reprovados no teste B, poderia acontecer de o gargalo "mudar de lugar", e foi isso o que aconteceu no cenário 2. Ao observar-se os gráficos 1 e 2, percebe-se que não ocorreria a formação de estoque no diagnóstico para os aparelhos reprovados no teste B, mas passaria a existir formação de estoque no retrabalho. Isso aconteceu pelo fato de mais aparelhos serem diagnosticados e, consequentemente, mais aparelhos serem encaminhados ao retrabalho, sendo que não existia



capacidade para o reparo de todos eles. Dessa forma, o gargalo passou a ser na estação de retrabalho.

Ainda pela análise dos gráficos, infere-se que os cenários que eliminariam a formação de estoques excessivos são os cenários 3, 4, 6 e 10. Ao comparar estes quatros cenários é possível verificar que existem alternativas diferentes para reduzir a formação dos estoques intermediários. No cenário 3 foram alterados o número de técnicos no diagnóstico do teste B e no retrabalho, enquanto que para o cenário 4 houveram mudanças apenas na estação de diagnóstico dos aparelhos reprovados no teste B. Por outro lado, o cenário 6 considerou redução no número de aparelhos reprovados no teste B. Já o cenário 10 foi composto por uma combinação alterações menores em diferentes parâmetros do modelo.

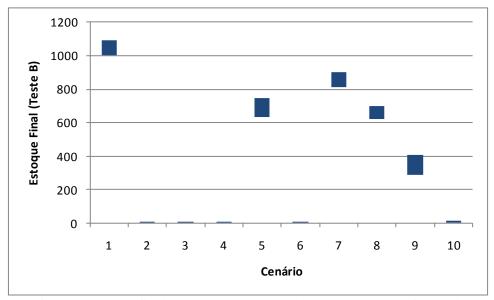


Gráfico 1 – Estoque final de aparelhos reprovado no teste B e não diagnosticados

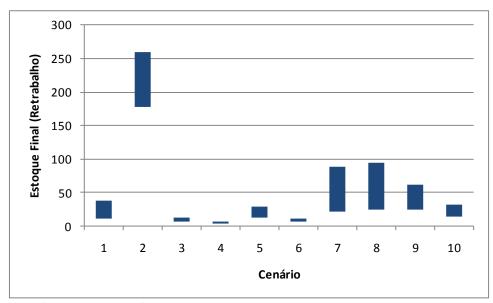


Gráfico 2 – Estoque final de aparelhos diagnosticados e não reparados

Para cada um dos cenários, além da análise de formação de estoques, foi observada a quantidade de aparelhos que seria produzida. Esta informação é importante para que a empresa consiga definir a capacidade produtiva da linha de produção e consiga estabelecer se ela é suficiente ou não para atender a demanda. No gráfico 3 são apresentadas as quantidades que



Quantidade Produzida

117800
117400
117200
116800
116600
116400

seriam produzidas caso cada um dos cenários aqui apresentados fosse implantado no sistema.

Gráfico 3 – Quantidade de aparelhos produzidos para cada cenário

4

1

2

3

Como última análise, são apresentadas na tabela 2 as variações em quantidade (u) e percentual (%) no número médio de aparelhos reprovados no teste B que não seriam diagnosticados, no número de aparelhos diagnosticados e não retrabalhados, e na quantidade produzida.

5

6

7

8

10

		Estoqı	Quantidade					
Cenário	Teste B		Retra	abalho	Produzida			
	u	%	u	%	u	%		
2	-1045,4	-99,87%	193,5	789,80%	614,8	0,53%		
3	-1043,8	-99,71%	-14,8	-60,41%	802,0	0,69%		
4	-1045,6	-98,89%	-19,4	-79,18%	755,5	0,65%		
5	-358,6	-34,26%	-4,1	-16,73%	302,4	0,26%		
6	-1042,8	-99,62%	-16,2	-66,12%	952,8	0,82%		
7	-190,2	-18,17%	30,6	124,90%	101,1	0,09%		
8	-388,0	-37,07%	34,5	140,82%	281,8	0,24%		
9	-700,6	-66,93%	19,1	77,96%	547,6	0,47%		
10	-1038,8	-99,24%	-1,8	-7,35%	886,5	0,76%		

Tabela 2 – Comparação das alterações nos estoques finais em relação ao cenário 1

Pela análise da tabela 2 percebe-se que o cenário que geraria mais benefícios ao sistema seria a redução do índice de falhas do teste B para 4% (cenário 6). Neste caso o estoque final de aparelhos não diagnosticados seria nulo, o estoque formado por aparelhos não retrabalhados seria desprezível e o aumento da capacidade produtiva seria o maior entre todos os cenários.

Entretanto, a escolha da alternativa depende do valor financeiro necessário para a adoção de cada um dos cenários. Por isso, é importante que os gestores possuam uma ferramenta que consiga prever o impacto causado no sistema caso cada decisão venha ser tomada.



5. Conclusões

Neste trabalhou foi mostrado o potencial da utilização da simulação computacional no estudo de gargalos em um sistema produtivo. Uma vez que o estudo de gargalos exige o estudo do sistema como um todo, a utilização de técnicas de otimização apenas em pontos específicos pode não trazer o resultado esperado para o sistema. Por isso, a simulação é uma técnica com grande potencial de utilização neste contexto, pois com ela é possível verificar como o sistema se comportará quando alterações ocorrem em alguma parte dele.

As vantagens da simulação são fáceis de serem identificadas. Entretanto, a construção de um modelo de simulação exige estudo e experiência. Como o modelo deverá representar o sistema, é necessário que o desenvolvedor consiga compreender a dinâmica de funcionamento do sistema, dialogar com as diferentes partes envolvidas e analisar quais detalhes são necessários, importantes e insignificantes, tudo isso dentro do contexto de qual o objetivo do modelo.

Este último aspecto é muito importante de ser analisado, decidir quais informações devem ser fornecidas pelo modelo, pois será com base nisso que ocorrerá análise do que deve ser considerado no modelo, do que pode ser "descartado" e de quais as variáveis de entrada são necessárias para isso.

Uma das grandes vantagens da simulação é a possibilidade da consideração da aleatoriedade das variáveis, as quais são representadas por distribuições de probabilidade. Porém, o processo de escolha da distribuição que representará cada variável requer conhecimentos estatísticos. Quando existe aleatoriedade nos dados de entrada, existirá aleatoriedade nos dados de saída, e novamente serão necessárias análises estatísticas. Embora existam softwares que auxiliem nestas análises, é importante que quem está desenvolvendo o modelo conheça a parte teórica utilizada.

Mesmo que o modelo em si esteja representando fielmente o sistema, a escolha de uma distribuição inapropriada para pelo menos uma das variáveis poderá gerar resultados não correspondentes ao do sistema. Por isso, a análise estatística é tão importante quanto a construção do próprio modelo.

Para a empresa estudada, foram aqui apresentados quatro cenários, que se fossem aplicados ao sistema, eliminariam a formação de estoques intermediários excessivos. Na análise dos resultados ficou clara que nem sempre uma solução pontual gera o resultado esperado para o sistema. Por exemplo, ao adicionar-se um técnico de diagnóstico para os aparelhos reprovados no teste B, a formação de estoque nesta etapa será eliminada, mas passará a ocorrer a formação de estoques no retrabalho.

Em outra análise, verificou-se para quanto deveria ser reduzido o índice de falhas para que não ocorresse a formação dos estoques. Além disso, foi observado que a solução poderia ser uma combinação de pequenas mudanças. Com essas informações e baseado nos valores necessários para implementar cada uma destas alterações no sistema.

O teste de cada um dos cenários na própria linha de produção seria economicamente inviável, tornando impossível a análise e, consequentemente, mais difícil o processo decisório. Conhecer as consequências do sistema para diferentes cenários, sem ter que implantá-los no sistema, torna o processo decisório mais fácil e mais dinâmico.

Além disso, caso os teste fossem realizados no próprio sistema, seria necessária a observação do sistema durante várias semanas. Por outro lado, o tempo necessário no modelo desenvolvidos para a simulação de 10 semanas de funcionamento do sistema foi inferior a 40 minutos. Ou seja, com o modelo é possível gerar em um curto período de tempo o que levaria um grande tempo no sistema.

Dessa forma, conclui-se que a simulação é uma técnica a ser considerada no estudo de gargalos e que o crescimento da utilização desta técnica dependerá de pessoas preparadas para interpretar um sistema e que tenha conhecimento das técnicas estatísticas utilizadas para as análises dos dados.



Referencias

Banks, J. "Principles of Simulation", In: *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. J. Banks, John Wiley & Sons, New York, 1998, p. 3-30.

Barros, A. D. e Moccellin, J. V. Análise da flutuação do gargalo em flow shop permutacional com tempos de setup assimétricos e dependentes da sequência. *Gestão & Produção*, vol. 11, p. 101-108, 2004.

Corrêa, H. L. et al. Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

Freitas Filho, P. J. de. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: com Aplicações em Arena*. 2 ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

Goldratt, E. e Fox, J. A meta: um processo de aprimoramento contínuo. São Paulo: Educador, 1997.

Greasley, A. The case for the organizational use of simulation. *Journal of Manufacturing Technology Management*. v. 22, n. 4, p. 560–566, 2004

Kelton, W. D., Sadowski, R. P. e Sturrock, D. T. *Simulation with Arena*. Second Edition, McGraw-Hill, Boston, 2001.

Law, A. M. e Kelton, W. D. Simulation Modeling Analysis. Third Edition, McGraw Hill, 2000.

Oliveira, C. S. Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. *Estudos Tecnológicos*, v. 4, n. 3, p. 204-217, set/dez. 2008.

Rosset, M. D. *et al.* A bottleneck detection and dynamic dispatching strategy for semiconductor wafer fabrication facilities. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 2009, p. 1646-1656.

Slack, N. et al. Administração da Produção. 1 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

Standridge, C. R.; Marvel, J. H. Why Lean Needs Simulation. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 2006, p. 1907-1913.

Vaccaro, G. L. R. e Rodrigues, L. H. Características Desejadas em Softwares de Análise de Resultados de Simulação. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005. Porto Alegre: *Anais do XXV ENEGEP*, 2005, p. 4665-4672.