

MODELAGEM E SIMULAÇÃO - APLICAÇÃO A UMA LINHA DE MANUFATURA DE COMPONENTES AUTOMOTIVOS

ALEXANDRE BETIATTO (PUC)
alexandre@linecon.com.br



Com resultado surpreendente, este artigo apresenta o desenvolvimento de um projeto de Modelagem e Simulação em um setor crítico da linha automatizada de manufatura de virabrequins em uma empresa nacional de componentes automotivos. A finalidade do estudo é oferecer uma ferramenta para identificar pontos críticos e testar soluções aos recursos envolvidos. Dessa forma, melhorar a eficiência do setor, considerado como gargalo.

Palavras-chaves: Simulação, Modelagem, Análise, Otimização, Manufatura, Automotivo

1. Introdução

A simulação computacional, anteriormente uma ferramenta muito cara e especializada Kelton (1998), vem a cada ano sendo utilizada em inúmeras companhias e direcionada para diversas aplicações no processo de apoio à tomada de decisão. Hoje, havendo uma grande gama de softwares para desenvolvimento de simulações, tem-se disponível no mercado programas que diferem em complexidade para programação, resultados gráficos e custos e formas de aquisição. Dessa maneira, essa poderosa ferramenta de apoio à tomada e decisão, hoje, pode ser utilizada por empresas de qualquer ramo de atividade e, principalmente, de qualquer porte. Sejam em empresas prestadoras de serviços (supermercados, call centers, aeroportos, agências bancárias), empresas de logísticas (Centro de Distribuição, Portos, logística interna), ou em processos de manufatura (linhas de produção, células de produção, robotização), a Modelagem e Simulação, se aplicada de acordo com uma metodologia apropriada, disponibilizará resultados estatisticamente confiáveis para direcionar os gestores a identificar os melhores caminhos possíveis durante o processo de decisão.

A técnica de Modelagem e Simulação de Eventos Discretos torna possível desenvolver, em computadores, cenários virtuais os quais imitam o comportamento de praticamente qualquer tipo de sistema. Esses cenários podem ser modificados e testados sem comprometer o sistema real. Os valores gerados apoiam a tomada de decisão, pois se tem resultados confiáveis estatisticamente envolvendo o sistema, que pode ser simulado dias ou meses equivalentes ao sistema real, em poucos minutos de processo computacional. Além de uma ferramenta de análise de problemas, a simulação é uma ferramenta que promove uma melhor compreensão sobre os sistemas, servindo de meio de comunicação entre analistas, gerentes e pessoas ligadas a sua operação (CHWIF & MEDINA, 2007).

Para Kelton (1998), podem-se classificar as simulações segundo alguns parâmetros de comportamento:

- **Tempo:** Estático (quando o tempo não é considerado); ou Dinâmico (como na maioria dos modelos de simulação, o tempo é considerado);

- **Estado de Mudança:** Contínua (quando o estado do sistema muda continuamente com o tempo, como o fluxo de água em reservatórios); ou Eventos Discretos (muda seus estados a partir da ocorrência de eventos no decorrer do tempo, como no processo de manufatura de peças com tempo de ciclo específico);
- **Aleatoriedade:** Determinísticos (não possuem entradas aleatórias, apenas valores de entrada fixos); ou Estocásticos (operam com entradas aleatórias, como chegadas de clientes na fila, tempo entre falhas de equipamentos, tempos de reparo).

2. Problema

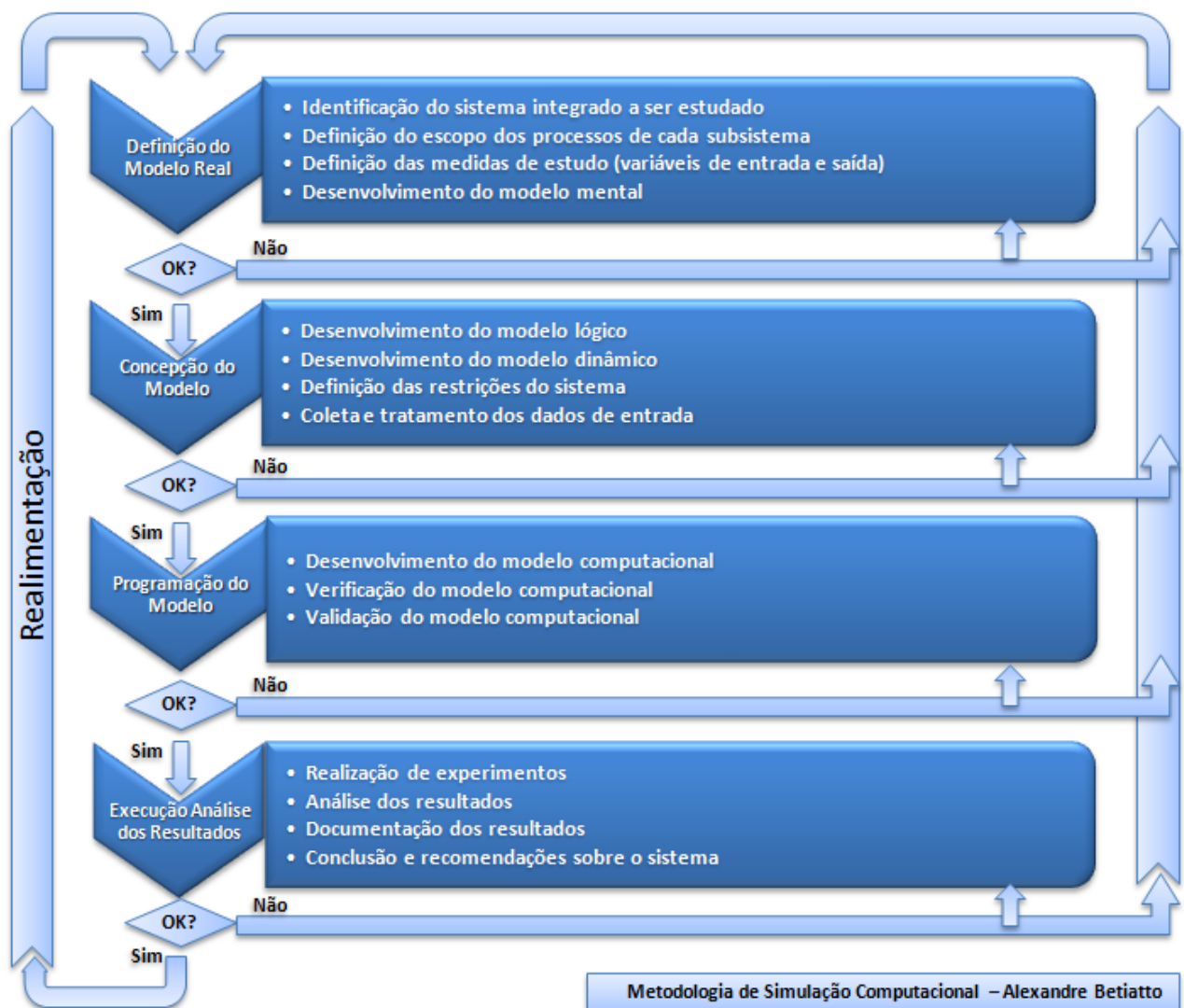
A linha de manufatura da empresa estudada conta com 28 equipamentos disponíveis em 6 Pórticos. O pórtico é uma estrutura que fica sobre um grupo de equipamentos e possibilita a movimentação de transportadores “aéreos” sobre seus trilhos. Estes transportadores carregam ou descarregam as peças das máquinas e as movimentam automaticamente conforme uma sequência lógica. A transferência das peças entre as máquinas é feito através de robôs que correm em trilhos sobre os equipamentos e estoques intermediários ou buffers. Já o transporte entre os pórticos é feito através de esteiras. O fluxo do processo inicia-se no Pórtico1 e segue até o final do Pórtico6. Segue então para a etapa de inspeção final e após, para embalagem e estocagem. Mesmo havendo inúmeros estoques intermediários para compensar falta de peças ou paradas de equipamentos, a baixa eficiência de um dos pórticos afeta toda a produção. Por se tratarem de processos totalmente automatizados e em linha, todo o sistema deve estar balanceado para um melhor aproveitamento dos recursos.

No entanto, os especialistas e gestores do setor vinham notando a baixa produtividade do Pórtico1. Depois de várias reuniões e conversas, percebeu-se que o número de variáveis relacionadas entre si tornavam as soluções para os problemas no Pórtico difíceis de serem identificadas. Isso, porque era preciso considerar melhorias envolvendo as falhas dos equipamentos (MTBF, MTTR); os tempos de ciclo; a utilização dos operadores para reparo durante as falhas; buffers intermediários e vida útil das ferramentas. Devido às dificuldades encontradas para melhorias e considerando ser uma etapa crítica do sistema, optou-se por desenvolver um Modelo de Simulação do Pórtico1, o qual trata este artigo.

3. Metodologia de Simulação

Para desenvolver um projeto de simulação que obtenha os resultados esperados e possa apresentar de maneira confiável os valores gerados pelo modelo, é indispensável a utilização de uma metodologia que aborde todos os conceitos de modelagem e simulação. Segue abaixo, na Figura 1, a metodologia desenvolvida pelo autor e utilizada no projeto que originou este artigo.

Figura 1 - Metodologia para desenvolvimento de um modelo de simulação computacional



Fonte: o autor, 2011

4. Desenvolvimento do Projeto

4.1. Estudo do Pórtico1 da Linha de Manufatura de componentes automotivos

Conforme já comentado, escolheu-se o Pórtico1 para o desenvolvimento da simulação, por se perceber grande complexidade em lidar com as variáveis simultaneamente. Decidiu-se então, ser considerado como variáveis de interesse: o tempo de ciclo das máquinas; a eficiência dos operadores; a vida útil das ferramentas; e a média de tempo de troca das ferramentas feita pelos operadores. Nesta etapa do processo, possuem dois centros de usinagem (OP10A e OP10B) que divide a produção, ou seja, a peça é processada em uma ou em outra máquina. Após a OP10, há três tornos que também dividem o processo entre si (OP20A, OP20B e OP20C). Os centros de usinagem processam duas peças de cada vez. Já os tornos, processam apenas uma peça em cada ciclo de produção.

Para manipulação e transferência das peças entre as esteiras, as máquinas e os buffers, são utilizados dois Robôs que “correm” sobre o Pórtico 1: um que possui um braço de manipulação para a OP10 (que chamaremos aqui de G1A) e outro que conta com dois braços para a OP20 (chamado de G1B). Os dois têm um ponto em comum de acesso que é o buffer intermediário o qual o G1A fornece as peças que já foram processadas pelos centros de usinagem ao G1B que alimentará os tornos para o processo seguinte.

Para atender paradas dos equipamentos ou solicitação de trocas de ferramentas, há dois operadores que atendem os equipamentos da seguinte forma: operador 1 atende as necessidades dos centros de usinagem (OP10) e o operador 2 atende aos tornos (OP20).

4.2. Objetivo do Estudo

O objetivo proposto com este estudo foi o aumento de produção no final do Pórtico 1, ou seja, a melhora na eficiência e utilização dos recursos.

4.3. Coleta e Tratamento de Dados

Segundo Moreira (2001), a coleta de dados é um processo de recolhimento dos fatos e informações disponíveis que serão processados quando houver necessidade. De acordo com

Chwif & Medina (2007), um cuidado especial deve ser tomado para diferenciar o que são “dados de entrada” (valores fornecidos ao modelo de simulação) e o que são “dados de saída” (valores obtidos do modelo de simulação).

As amostras coletadas para representar a população dos dados envolvidos no sistema, foram definidas da seguinte forma: tempo de ciclo das máquinas; MTBF (Tempo Médio Entre Paradas); MTTR (Tempo Médio Para Reparo); vida útil das ferramentas (em número de peças processadas). Os dados relacionados à parada e reparo dos equipamentos foram coletados através do Supervisório que gerencia o “status” de cada máquina na linha. Os valores foram extraídos de um período de cinco dias, totalizando aproximadamente 150 mudanças de estado. Segundo Vicent *apud* Chwif & Medina (2007), o tamanho da amostra deve estar entre 100 e 200 observações. Amostras com menos de 100 observações podem comprometer a identificação do melhor modelo probabilístico, e amostras com mais de 200 observações não trazem ganhos significativos.

Por se tratar de um sistema estocástico (valores de entrada aleatórios), as amostras coletadas tiveram que sofrer um tratamento para então serem aderidas às distribuições estatísticas conhecidas. Para esse processo de identificação das distribuições e aderência estatística foi utilizado o módulo para modelagem de dados da Simul8®, o Stat::Fit®.

4.3.1. Tratamento dos Dados

Primeiramente, os valores foram transformados em “segundos” como medida de tempo e plotados em forma de gráficos para uma análise preliminar do comportamento das observações. A partir daí, aplicou-se a técnica de identificação de Outliers (identificados como valores fora da normalidade se comparados ao comportamento dos valores no tempo). Para CHWIF & MEDINA (2007) as razões mais comuns para o surgimento dos outliers são algum erro na coleta de dados ou um evento raro e totalmente inesperado. Foi então aplicada a técnica apresentada por estes mesmos autores, que é a de construir um intervalo de valores a partir dos quartis da amostra, segundo os cálculos apresentados abaixo:

- $A=Q^3-Q^1$
- $Q^1-1,5A$ (abaixo desse valor considera-se outlier moderado);

- $Q^3+1,5A$ (acima desse valor considera-se outlier moderado);
- Q^1-3A (abaixo desse valor considera-se outlier extremo);
- Q^3+3A (acima desse valor considera-se outlier extremo);

Na Tabela 1 são apresentados os valores referentes à identificação dos outliers:

Tabela 1: limite para identificar os Outliers

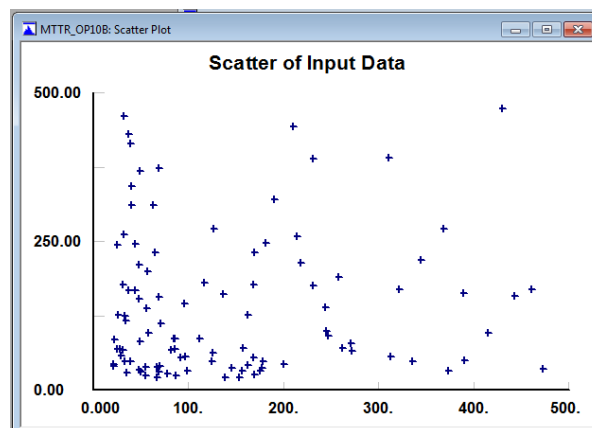
MTBF					
	OP10A	OP10B	OP20A	OP20B	OP20C
Q1	83	52	127	123	148
Q3	1248	2744	4235	3869	3828
A	1165	2692	4108	3746	3680
LI	-1664	-3985	-6034	-5497	-5372
LS	2995	6782	10396	9488	9348

MTTR					
	OP10A	OP10B	OP20A	OP20B	OP20C
Q1	4	9	158	128	118
Q3	132	170	529	473	502
A	128	161	372	345	384
LI	-187	-232	-400	-390	-458
LS	323	411	1086	991	1078

Fonte: o autor, 2011

Após a identificação dos outliers, o passo seguinte foi a entrada dos dados no módulo para modelagem de dados Stat::Fit. O primeiro procedimento após os valores serem processados pelo software deve ser a análise de correlação entre os dados, ou seja, se há alguma forma de dependência entre os valores. Na Figura 2, são apresentados os dados de tempos de reparos da OP10B, é possível comprovar que não há correlação entre as observações da amostra.

Figura 2: análise de dispersão do MTTR OP10B

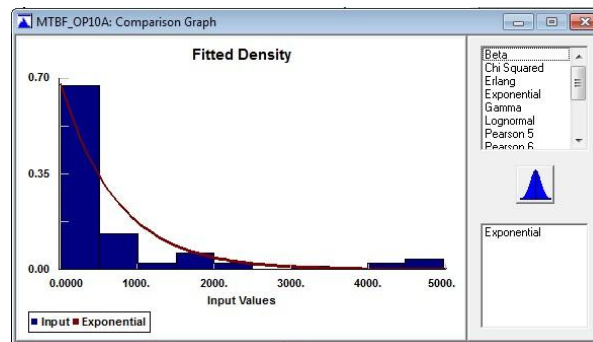


Fonte: o autor, 2011

Dados os valores das amostras, agora tratados, faz-se o ajuste estatístico utilizando o software Stat::Fit®. Dos resultados apresentados, vale acrescentar que ainda é importante e necessária a ação do analista para avaliar de maneira crítica e conclusiva as reais curvas que mais se aderem às amostras coletadas. Para isso, alguns fatores importantes devem ser analisados, como os *Histogramas*, *Box-plot* e *p-value*.

Abaixo, a Figura 3 apresenta o Histograma das amostras de MTBF da OP10A. Esta sequência para aderência ao conjunto de dados coletados foi realizada em cada equipamento.

Figura 3: Histograma das amostras do MTBF OP10A



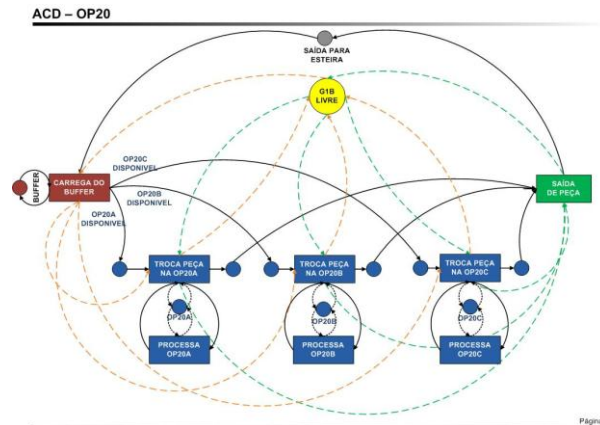
Fonte: o autor, 2011

Tendo todas as distribuições estatísticas que representam o comportamento de cada recurso estudado, agora são necessárias as inserções destas informações no modelo. Portanto, a partir deste momento passa-se a desenvolver o Modelo Conceitual e Computacional.

4.4. Desenvolvimento do Modelo Conceitual

Para construirmos o Modelo Conceitual, utilizamos a forma de modelagem ACD (Activity Cycle Diagram). Essa metodologia permite uma modelagem simplista e direta do sistema real. Segue na Figura 4 um exemplo de ACD da OP20 desenvolvido para o sistema em estudo.

Figura 4: Exemplo do ACD desenvolvido para máquinas e Robô da OP20



Fonte: o autor, 2011

4.5. Desenvolvimento do Modelo Computacional

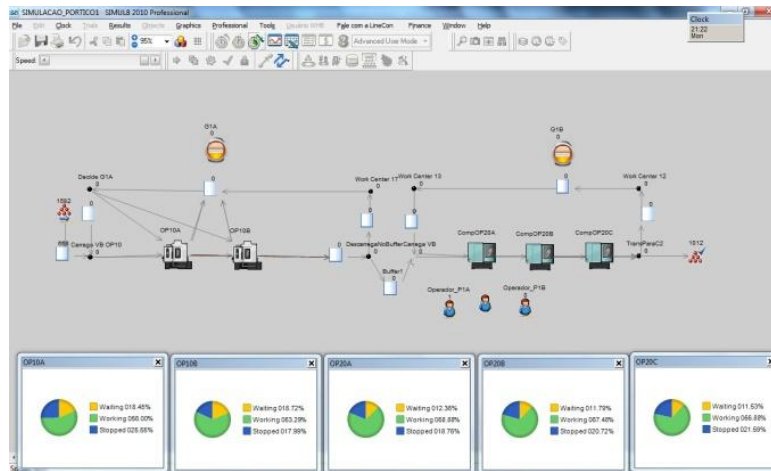
Seguindo a classificação apresentada por Kelton (1998), este projeto se enquadra da seguinte maneira:

- **Tempo:** Dinâmico;
- **Estado de Mudança:** Eventos Discretos;
- **Aleatoriedade:** Estocástica;

Para o desenvolvimento da simulação foram considerados como fatores a serem estudados e, conseqüentemente, como o perímetro do escopo as seguintes considerações: a lógica de processo das máquinas; a lógica de processo dos Robôs G1A e G1B; a utilização dos recursos operadores para atender as paradas das máquinas e o buffer intermediário que é dimensionado para 9 peças.

Segue apresentado na Figura 5, o Modelo Computacional desenvolvido no ambiente do Simul8.

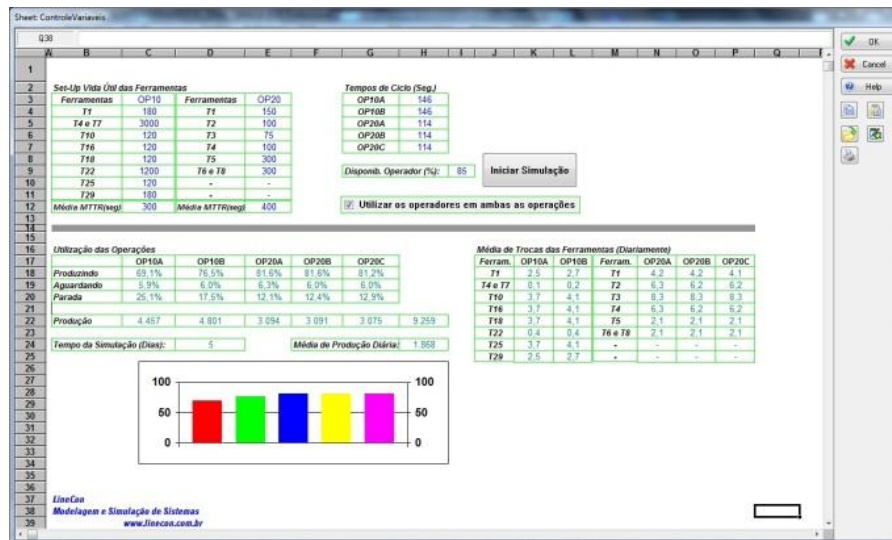
Figura 5: ambiente do Simul8 com a disposição dos recursos simulados do Pórtico1



Fonte: o autor, 2011

Para criar uma interface amigável com os analistas responsáveis pelos processos no sistema estudado, foi desenvolvido um painel de controle com entradas para as variáveis de interesse e com a demonstração dos resultados obtidos a cada “rodada”, vista na Figura 6. Esse recurso se torna interessante, pois o Simul8® possui uma versão disponível gratuitamente que realiza simulações que foram desenvolvidas pela versão “Professional” em um ambiente simplificado e de fácil utilização. Essa versão é chamada de “Simul8 Viewer®”. Dessa forma, o programa desenvolvido pode ficar de posse dos analistas e gestores da empresa para utilizar sempre que ocorrer a necessidade de testes envolvendo os recursos simulados.

Figura 6: painel de controle desenvolvido pela Linecon para ser usado pelos analistas da empresa



Fonte: o autor, 2011

4.5.1. Verificação e Validação do Modelo

Segundo Chwif & Medina (2007), o objetivo de validar o modelo é o mesmo que responder à pergunta: “Será que estamos desenvolvendo o modelo correto?” e quando verificamos o modelo a pergunta é: “Será que estamos desenvolvendo o modelo corretamente?”. Portanto, validação trata do que será modelado e verificação do modelo implementado.

Para validação, levou-se em consideração que o sistema modelado já existe e está em funcionamento, portanto, foi relativamente facilitada esta etapa. Através de algumas reuniões que contaram com a presença de analistas e gestores responsáveis pelo setor envolvido, foi possível confirmar a validação do modelo após pequenas correções no decorrer do desenvolvimento.

Quanto à verificação, foram vários testes e correções. Durante a construção da lógica, devido à alta complexidade das relações entre as máquinas e os transportadores, foram utilizados alguns recursos disponíveis no Simul8®, como por exemplo, o *debugger*, que possibilita o acompanhamento da simulação passo a passo, além dos recursos gráficos, que apoiaram durante todo o processo de desenvolvimento para que o fluxo estivesse programado de acordo com o sistema real.

4.5.2. Identificação das dimensões relacionadas à execução do programa

Nesta etapa foram dimensionados os parâmetros pelo qual o simulador deve executar suas corridas. A seguir é explicado de forma simplificada o que significa e quais os fatores que foram utilizados nesta simulação.

4.5.3. Regime transitório / permanente

No regime transitório, o sistema a ser simulado sofre alterações importantes durante um pequeno período até sua estabilização. Como na abertura de uma agência bancária, quando o intervalo entre chegada dos clientes pode ser muito menor que o normal, pois pode haver fila do lado de fora da agência. Passado um período, o processo se estabiliza e torna-se regime permanente. A partir daí os valores e médias tornam-se mais confiáveis. No caso deste projeto, consideramos que a simulação inicia em regime transitório, pois as máquinas e os buffers ainda estão “vazios”. Para isso, segundo Chwif & Medina (2007) há três técnicas que podem ser aplicadas para eliminar ou minimizar essa interferência:

- Simular por um período muito longo de modo que o número de amostras em regime transitório seja desprezível;
- Eliminar o período transitório através de alguma técnica apropriada;
- Iniciar o sistema já em um estado dentro do regime permanente;

Para este projeto especificamente, decidiu-se eliminar o período transitório. Para isso, foram realizadas várias “rodadas” e acompanhado as situações de processo dos equipamentos através dos gráficos “tipo Pizza” disponível no Simul8® (ver Figura 5). Em seguida, o tempo corrido de simulação para a estabilização dos processos – neste caso 20.000 segundos – foi usado no recurso “*Warm Up Period*” que “diz” para o simulador que não deve ser considerado os valores resultantes deste período nos dados estatísticos de saída.

4.5.4. Terminal ou não-terminal:

Neste caso, deve ser analisado se o sistema a ser simulado possui um período definido de funcionamento, ou não se pode afirmar qual o intervalo de tempo que se deve simular. Para a simulação considerada neste artigo foi definido um sistema não-terminal, pois a empresa estudada possui três turnos produzindo 24 horas por dia e cinco dias por semana. Com essas informações definiu-se também que as “rodadas” de simulação teriam um período de cinco dias, ou no caso computacional, 432.000 segundos.

4.5.5. Número de replicações e intervalo de confiança

A replicação considerada nos modelos computacionais de simulação consiste na geração de “rodadas” utilizando sementes de geração dos valores aleatórias diferentes. Sendo assim, os valores relacionados às entradas são os mesmos, mas os resultados possuem algumas variações, pois contam com sementes diferentes durante a geração dos números aleatórios.

Por se tratar de simulações que usam números aleatórios para gerar os resultados, necessariamente temos que considerar as variações destes resultados e que eles estão dentro de uma probabilidade de ocorrerem. Com isso, precisamos então criar um intervalo de confiança, considerando uma precisão desejada. Intervalo de confiança é um intervalo em que

há a probabilidade dos valores se encontrarem. Já precisão, é o tamanho desse intervalo. O software utilizado conta com uma ferramenta que facilita a tarefa para ser encontrado o número de replicações para que os resultados estejam dentro de um intervalo de confiança seguindo uma precisão pré-estabelecida.

O resultado da quantidade de replicações a ser utilizada, com confiança de 95% e precisão de 5%, foi de quatro replicações para um período de 432.000 segundos. Os resultados de saída considerados para o cálculo da quantidade de replicações foram a quantidade total produzida e o índice de utilização dos dois operadores.

4.6. Análise dos cenários

Conforme comentado no início deste documento, o grande problema apresentado pelo Pórtico1 da linha de manufatura estudada é a baixa eficiência dos seus processos. Esse problema está diretamente relacionado com a baixa produtividade na saída de peças que darão sequência na linha produtiva. Por outro lado, é exposto pelos analistas responsáveis do setor estudado, que as paradas dos equipamentos para troca de ferramentas devido ao alcance de sua vida útil, são um dos fatores que mais preocupam. Além dessas paradas, há também as paradas por falhas diversas que ocorrem nas máquinas. Com posse dessas informações, pudemos direcionar o experimento de diversos cenários relacionados com as paradas das máquinas e conseqüentemente o tempo de reparo gasto pelos operadores.

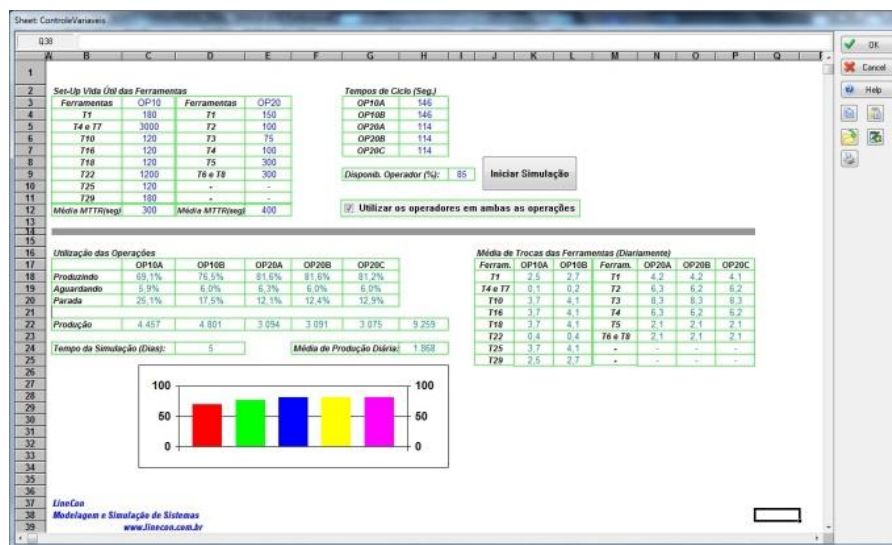
4.6.1. Cenário 1

No cenário atual, dois operadores acompanham o desempenho das máquinas e realizam testes de qualidade. O operador 1 é disponibilizado para atender as paradas das operações OP10A e OP10B. Já o operador 2 atende as paradas das operações OP20A, OP20B e OP20C. O que pode se perceber é que muitas vezes ocorre de, enquanto o operador repara um equipamento, outro equipamento que é responsabilidade do mesmo operador, para também. Nesse momento, um equipamento está parado para reparo e outro fica aguardando para ser reparado. Se for, no caso a OP10 e duas máquinas pararem ao mesmo tempo, todo o Pórtico1 para seu processo. Se for a OP20 e duas das três máquinas pararem, apenas aproximadamente 33% do

Pórtico1 continua produzindo. Isso significa que o envolvimento dos operadores é muito mais importante no desempenho do Pórtico como pode parecer.

No desenvolvimento do modelo computacional foi considerada a hipótese dos dois operadores atenderem todas as máquinas, isso poderia reduzir o tempo de espera por reparo pelos equipamentos. É o que foi comprovado após as simulações, conforme visto nas Figuras 6, 7 e 8. Com a opção de diferente utilização dos operadores, foi possível confirmar uma melhora média de aproximadamente 7,7% na produção final. Esse valor se torna muito mais expressivo se considerarmos que não haverá praticamente nenhum investimento para as alterações, a necessidade estaria apenas no treinamento e criação de alguns procedimentos para os operadores envolvidos.

Figura 6: localização dos valores e Box de opção para usuário no painel de controle



Fonte: o autor, 2011

Figura 7: Box desabilitado indicando, situação dos operadores como estão atualmente e produção diária

<input type="checkbox"/> Utilizar os operadores em ambas as operações		
		
OP20B	OP20C	
73,9%	73,7%	
10,3%	9,9%	
15,8%	16,4%	
2.801	2.793	8.434
Média de Produção Diária:		1.673

<i>Média de Trocas das Ferrame</i>		
<i>Ferram.</i>	<i>OP10A</i>	<i>OP10B</i>
<i>T1</i>	2,2	2,4
<i>T4 e T7</i>	0,1	0,1
<i>T10</i>	3,4	3,6
<i>T16</i>	3,4	3,6
<i>T18</i>	3,4	3,6
<i>T22</i>	0,3	0,4
<i>T25</i>	3,4	3,6
<i>T29</i>	2,2	2,4

Fonte: o autor, 2011

Figura 8: Box habilitado indicando, utilização dos operadores em ambas as operações e produção diária

<input checked="" type="checkbox"/> Utilizar os operadores em ambas as operações		
OP20B	OP20C	
79,0%	78,4%	
7,0%	7,0%	
14,0%	14,7%	
2.994	2.970	8.943
Média de Produção Diária:		1.802

Média de Trocas das Ferram		
Ferram.	OP10A	OP10B
T1	2,4	2,6
T4 e T7	0,1	0,2
T10	3,6	3,9
T16	3,6	3,9
T18	3,6	3,9
T22	0,4	0,4
T25	3,6	3,9
T29	2,4	2,6

Fonte: o autor, 2011

4.6.2. Cenário 2

Como o volume de produção é muito alto, uma das grandes preocupações no setor analisado é a utilização das ferramentas envolvidas nas máquinas. No Pórtico1, as ferramentas utilizadas são oito ferramentas em cada máquina da OP10 e seis ferramentas em cada máquina da OP20. É notório que a forma que é utilizada e a vida útil de cada ferramenta interferem, de maneira significativa, na produção total do Pórtico. Visto isso, outro ponto em que executamos vários cenários para a otimização dos recursos analisados foram, tanto as alterações da vida útil das ferramentas optando por qualidades diferentes de produto, quanto a combinação de paradas para troca dessas ferramentas. Dos resultados destes cenários, foram extraídas informações importantes que indicam alterações nesses fatores para uma redução no tempo de paradas para troca de ferramenta. Uma das simulações realizadas considerando a vida útil das ferramentas foi a substituição da ferramenta T3 da OP20. Essa substituição consiste na troca da ferramenta de “metal-duro” com vida útil de 75 pallet de produção, para ferramentas de materiais como, por exemplo, cerâmica. Esse material possui vida útil de 500 pallet de produção. Pode-se observar nos resultados da simulação na Figura 9 (ferramenta “metal-duro”) e na Figura 10 (ferramenta cerâmica) um aumento médio na produtividade de 5%. Isso devido à redução nas paradas para troca de ferramenta nas três máquinas da OP20.

Figura 9: resultado da simulação com a ferramenta T3 de Metal-duro na OP20

Set-Up Vida Útil das Ferramentas				Tempos de Ciclo (Seg.)	
Ferramentas	OP10	Ferramentas	OP20	OP10A	OP10B
T1	180	T1	150	146	146
T4 e T7	3000	T2	100	OP20A	114
T10	120	T3	75	OP20B	114
T16	120	T4	100	OP20C	114
T18	120	T5	300	Disponib. Operador (%): 85	
T22	1200	T6 e T8	300	<input type="checkbox"/> Utilizar os operadores em	
T25	120	-	-		
T29	180	-	-		
Média MTTR(seg)	300	Média MTTR(seg)	400		

Utilização das Operações					
	OP10A	OP10B	OP20A	OP20B	OP20C
Produzindo	63,2%	69,1%	75,0%	73,9%	73,7%
Aguardando	10,0%	10,2%	10,1%	10,3%	9,9%
Parada	26,8%	20,8%	15,0%	15,8%	16,4%
Produção	4.085	4.346	2.840	2.801	2.793
Tempo da Simulação (Dias):	5		Média de Produção Diária:	1.673	

Fonte: o autor, 2011

Figura 10: resultado da simulação com a ferramenta T3 de Cerâmica na OP20

Set-Up Vida Útil das Ferramentas				Tempos de Ciclo (Seg.)	
Ferramentas	OP10	Ferramentas	OP20	OP10A	OP10B
T1	180	T1	150	146	146
T4 e T7	3000	T2	100	OP20A	114
T10	120	T3	500	OP20B	114
T16	120	T4	100	OP20C	114
T18	120	T5	300	Disponib. Operador (%): 85	
T22	1200	T6 e T8	300	<input type="checkbox"/> Utilizar os operadores em	
T25	120	-	-		
T29	180	-	-		
Média MTTR(seg)	300	Média MTTR(seg)	400		

Utilização das Operações					
	OP10A	OP10B	OP20A	OP20B	OP20C
Produzindo	65,6%	72,2%	78,0%	77,1%	76,5%
Aguardando	6,4%	6,6%	11,5%	11,6%	11,5%
Parada	28,0%	21,2%	10,5%	11,3%	12,0%
Produção	4.234	4.540	2.954	2.922	2.900
Tempo da Simulação (Dias):	5		Média de Produção Diária:	1.761	

Fonte: o autor, 2011

5. Resultados Obtidos

Conforme apresentado nas seções anteriores, foram realizadas simulações considerando inicialmente dois fatores que poderiam melhorar a eficiência do Pórtico1, são eles: utilização dos operadores quanto aos reparos durante paradas das máquinas, e a substituição da ferramenta T3 de metal-duro da OP20 por ferramenta com durabilidade maior.

Seguem abaixo os valores resumidos referentes aos cenários simulados. Na Tabela 2 estão demonstrados os valores dos cenários relativos à utilização dos operadores. Na Tabela 3 são expostos os resultados referentes à qualidade da ferramenta T3 da OP20. Já na Tabela 4, as melhorias propostas são simuladas simultaneamente, dessa forma, é possível observar o comportamento do sistema com todas as alterações. Neste último cenário, pode-se perceber a importante melhora no Pórtico1 com a implantação das modificações – aproximadamente 9,9%.

Tabela 2: resultados dos cenários referentes à utilização dos operadores

Cenários	Operadores	OP10	OP20	Utilização	Média de produção diária	Melhora
Cenário 1	Operador 1	Atende	Não Atende	50.8%	1673	7,70%
	Operador 2	Não Atende	Atende	51.7%		
Cenário 2	Operador 1	Atende	Atende	53.6%	1802	
	Operador 2	Atende	Atende	53.3%		

Fonte: o autor, 2011

Tabela 3: resultados dos cenários referentes à vida útil das ferramentas T3 da OP20

Cenários	Ferramenta	Metal-duro (vida útil por peça produzida)	Cerâmica (vida útil por peça produzida)	Melhora
	Ferramenta T3 OP20	75	500	
Cenário 3	Média de produção diária	1673	1761	5.3%

Fonte: o autor, 2011

Tabela 4: resultados dos cenários referentes à utilização dos operadores e a vida útil das ferramentas T3 da OP20

Cenário	Recursos Estudados	OP10	OP20	Média de produção diária	Melhora
Cenário 4	Operador 1 Operador 2 Ferramenta T3 OP20	Atende Atende	Atende Atende Vida útil 500 peças	1839	9,90%

Fonte: o autor, 2011

6. Conclusões e Recomendações

Conforme visto nos resultados das simulações nas tabelas acima, é possível entendermos claramente as possibilidades de ganhos de produção final relativo ao Pórtico1. Devido à melhora significativa de 7,7% e o baixo custo para implantação das alterações propostas para se chegar ao cenário 2, sugere-se que a primeira melhoria seja a alteração dos métodos de trabalho dos operadores do Pórtico1 para que ambos atendam as paradas das operações OP10 e OP20. Já a alteração da ferramenta para cerâmica, apesar de apresentar uma melhora importante, na prática a ferramenta não se mostrou resistente à carga necessária. Esse fator leva a identificação de novas ferramentas que ofereçam durabilidade maior que a atual, considerando que a simulação demonstrou que é possível o ganho na produtividade com o aumento da vida útil de apenas uma ferramenta.

REFERÊNCIAS

Vincent, Stephen. **Input data analysis. In: Handbook of Simulation**, Ed. J. Banks, p.55-91, New York: John Wiley and Sons, 1998.

Kelton, David W.; Sadowski, Randall P.; Sadowski, David. **Simulation with Arena**. Boston: McGraw Hill, 1998.

Pidd, Michael. **Tools for hinking: modeling in management science**. Quarta edição, Chichester: John Wiley & Sons, 2000.

Chwif, Leonardo; Medina, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. Segunda edição. São Paulo, 2007.

Chwif, Leonardo. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Mecânica, 1999.

Leal, Fabiano. **Um diagnostico do processo de atendimento a clientes em uma agencia bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá, MG, 2003.

Moreira, C. M. **Estratégias de reposição de estoques em supermercados: avaliação por meio de simulação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.