

Avaliação da capacidade de produção de uma célula de usinagem de componentes automotivos através de simulação

Artigo a ser submetido ao periódico Gestão e Produção

Marcelo Pivato Tussi (UFRGS)

mptussi@gmail.com

Michel José Anzanello (UFRGS)

anzanello@producao.ufrgs.br

Resumo

O presente artigo apresenta a análise, através de simulação no software ProModel, da capacidade de produção de uma célula de manufatura em uma empresa do ramo automotivo. A metodologia proposta inicia com a análise do sistema em questão e com a coleta de dados relevantes para a construção de um modelo. Após validado esse modelo, criaram-se cenários alternativos com o intuito de aumentar a capacidade produtiva do processo dentro dos tempos disponíveis para o trabalho. Apresentou-se uma proposta de ganhos significativos no número de peças fabricadas com o manejo e distribuição de recursos dentro dos turnos de trabalho, sempre buscando uma melhor utilização desses recursos. O estudo contribuiu significativamente para a compreensão da dinâmica da célula por parte dos gestores, auxiliou na análise de ganhos necessários em decorrência de aumentos de demandas, e forneceu subsídios para possíveis intervenções e projetos de melhorias.

Palavras-chave: *simulação computacional; capacidade de produção; célula de manufatura; setor automobilístico.*

Abstract

This paper presents an analysis of the capacity of a manufacturing cell in an automotive company, through ProModel simulation software. The proposed methodology begins with a system examination with a collection of relevant information to the model construction. Once validated this model, alternative scenarios was built in order to increase the production volume within the time available for work. Presented a proposal

for significant gains in the number of parts made with the management and distribution of resources within the shift work, always seeking a better use of resources. The study contributed significantly to understanding the cell dynamics by the managers, assisted in necessary gains analysis as a result of increased demands, and to guide future interventions and improvement projects.

Keywords: *Computer Simulation; production capacity; cell manufacturing; the automotive sector.*

1. Introdução

Com o ambiente dinâmico em que as empresas estão inseridas e a concorrência acirrada do mercado, exige-se cada vez mais eficiência das organizações na definição das suas estratégias de negócios. Reformular um planejamento que em outra época parecia adequado torna-se fundamental para manter-se competitivo.

Uma prática comum no meio produtivo é a terceirização de parte da produção, ora por falta de capacidade produtiva, ora por estratégia do negócio. Etapas da produção podem ser realizadas em fornecedores, retornar ao produtor principal da cadeia para beneficiamento adicional e só então ser enviadas para o cliente. As desvantagens da estratégia de terceirização ficam por conta da dificuldade no controle do processo e da qualidade, às vezes questionável, do subproduto processado pelo agente terceirizado.

Características de fornecedores terceirizados, como qualidade e entrega no prazo, são fundamentais para o êxito na busca dos melhores negócios e resultados. Uma entrega atrasada resulta na insatisfação dos clientes, reclamações e até mesmo a parada de uma linha de montagem, visto que um item com defeito gera inúmeros problemas em etapas posteriores de processamento. Dentro deste contexto, a internalização de etapas de processo anteriormente delegadas a terceiros passa a ser vista como uma estratégia competitiva, visto que assegura maior controle do processo produtivo, além de garantir qualidade e cumprimento de prazos.

Um setor onde a qualidade de fornecedores é amplamente controlada é o ramo automotivo. O segmento automotivo é responsável por aproximadamente 25% do PIB do Brasil, segundo dados da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos

Automotores). Além disso, o Brasil é o quinto maior mercado mundial e o sexto maior produtor de veículos, com mais de 3,64 milhões de veículos produzidos em 2010.

O presente artigo propõe avaliar os impactos da internalização de um processo produtivo em uma empresa do ramo automobilístico através da utilização de ferramentas de simulação. As peças, após o primeiro processo de usinagem (caracterizado por quatro operações), são atualmente enviadas para outra planta onde se localiza a linha de montagem. Passam então por um tratamento térmico e, posteriormente, pela operação mais crítica, na qual determinadas dimensões de processo servem de referência para a fixação na última usinagem e garantia da qualidade do produto, requerida pelo projeto do veículo. O processo em questão trata da usinagem de peças em fornecedores externos, o qual vem apresentando diversos problemas de qualidade, que acabam afetando a qualidade do produto final, e gerando perdas caracterizadas por sucatas no decorrer do processo e atrasos nas entregas para os clientes.

A sistemática de ação do artigo consiste na utilização de ferramentas de simulação para desenvolver e analisar o sistema de produção resultante da internalização da etapa de usinagem de Pinhões. Esta etapa consiste em três processos: ponteamento, torneamento do perfil e rolamento de entalhado e rosca. Segundo Bateman et al. (1999, apud ZAGONEL, 2006) a simulação é uma experiência realizada com um modelo que configure um sistema real, com o intuito de se verificar como esse sistema reage às alterações sugeridas. Para Prado (1999), simular significa entender as peculiaridades de um sistema através de outro semelhante. A simulação tem por objetivo compreender um determinado sistema sem que esse necessite ser criado realmente. Juntamente com o processo de internalização, o estudo analisa alguns cenários que melhor aproveitariam os recursos para fins de *lead time* e produtividade.

Este artigo está organizado em cinco seções, incluindo a introdução. Na Seção 2 apresenta-se o referencial teórico, na seção 3 a descrição dos procedimentos metodológicos aplicados e na seção 4 os resultados e discussões. A seção 5, por fim, traz conclusão e considerações finais.

2. Revisão Bibliográfica

Nesta seção apresenta-se o conceito de simulação, definições e classificações para o tema. Também são abordados alguns métodos e aplicações práticas, além de estudos já realizados na área.

2.1. Simulação

A simulação, em sua essência, é um ramo da matemática aplicada. Usualmente é a opção de ferramenta escolhida quando se tem um modelo muito complexo a ser analisado (IUCKSCH, 2005). Para PRITSKER (1986) simulação refere-se ao processo de se criar um modelo lógico-matemático de um sistema real e testá-lo, geralmente com a ajuda de um computador. Tal ferramenta permite a análise de sistemas ou processos sem a necessidade de criá-los, no caso de serem novos, ou de perturbá-los, no caso de já existirem. Iucksch (2005) corrobora tal definição, afirmando que pode-se utilizar a ferramenta de simulação para processos em desenvolvimento. Com a criação de diferentes cenários e situações, possibilita-se a avaliação do comportamento do processo em diferentes contextos, como na introdução de um novo produto ou de uma nova máquina para o processamento.

Law e Kelton (1991) definem simulação como a ação de criar um sistema real, modelado em computador com o intuito de avaliar seu desempenho. Portanto, a simulação gera uma “imitação” ou cópia de algo existente, ou de uma situação proposta, com o objetivo de compreender o seu comportamento perante as mudanças de diversas condições diferentes. Tais autores enfatizam que a simulação permite análises com o menor gasto possível e sem riscos para a operação.

Segundo Lobão e Porto (1999), realizar um estudo de simulação preliminarmente à implementação de um sistema é de grande importância. Tal recurso permite acelerar o funcionamento do sistema, prever possíveis acidentes ou falhas decorrentes de uma nova implantação, além de poupar quantia significativa de recursos econômicos.

Em contraponto, Banks (2000) postula que, com base em uma história artificial intencionalmente criada, realizam-se observações e geram-se conclusões acerca de características do sistema real em questão. Isso configura a simulação computacional.

A simulação computacional, quando utilizada em um modelo de uma linha de produção, pode ser um forte argumento de apoio à tomada de decisões. Antes mesmo de

os resultados serem passados a uma situação real, tem-se uma previsão do sistema ou processo com certa confiabilidade (FACCHIN; SELLITTO, 2008). Em termos da classificação dos modelos de simulação, os mesmos podem ser categorizados em (BRAGHIROLI, 2009):

- a) Modelos de simulação estáticos e dinâmicos: sistemas que não sofrem alteração com o decorrer do tempo são chamados de estáticos. Já os modelos que sofrem alteração com o tempo são ditos dinâmicos.
- b) Modelos de simulação determinísticos e estocásticos: modelos que não contém elementos probabilísticos são os modelos determinísticos. Enquanto isso, os modelos que sofrem com incertezas ou aleatoriedades são chamados de estocásticos.
- c) Modelos de simulação discretos e contínuos: discretos são os modelos que sofrem mudanças instantâneas em momentos específicos no tempo. Por outro lado, se essas mudanças ocorrem a todo o instante, o modelo é chamado de contínuo.

Segundo Law (2007), a abordagem escolhida deve ser adequada ao estudo a ser realizado. Para o autor, as alterações físicas no sistema não deixam dúvidas quanto aos resultados dos experimentos. Porém, não raro os custos são demasiadamente elevados. A alternativa seria então a construção de um modelo que, segundo o autor, pode ser classificados como físico ou matemático. Aos modelos nos quais se pode usar os dados e quantidades exatos para o trabalho dá-se o nome de Modelos de Solução Analítica. Para os modelos com maior nível de complexidade, onde o modo Analítico torna-se impossível de ser usado, usa-se a simulação. A Figura 1 foi adaptada do autor em questão e mostra a abordagem sugerida para estudos de sistemas reais.

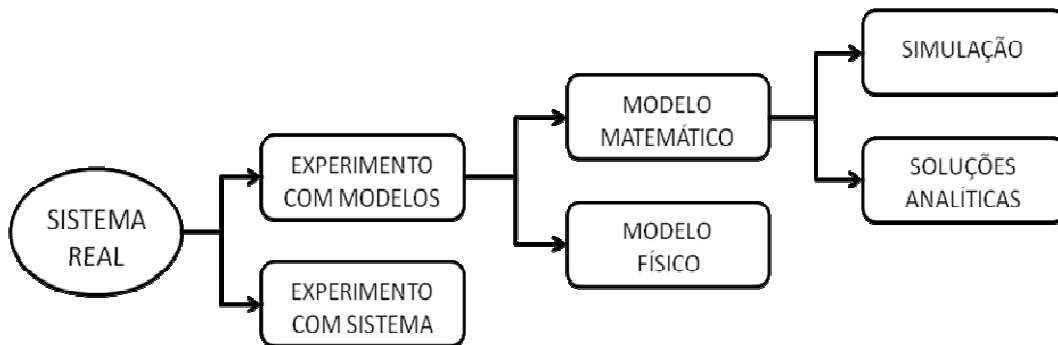


Figura 1: Maneira de estudar um sistema real
Fonte: adaptado de Law (2007).

2.2. Métodos de modelagem

É de fundamental importância para o processo de simulação que a estrutura do sistema a ser modelado seja bem compreendida e gerada através de dados confiáveis. As principais fases do desenvolvimento de um estudo de simulação se resumem à formulação do modelo conceitual, à coleta de dados e à programação do modelo, segundo Sakurada e Miyake (2009).

A estrutura do sistema, incluindo as interações entre os componentes, o levantamento das hipóteses sobre as variações desses componentes e os parâmetros e variáveis incluídas no sistema, forma o chamado Modelo Conceitual. A fase seguinte, de Coleta de Dados, está vinculada à Formulação do Modelo, uma vez que será a partir das informações obtidas que o modelo será criado. Os dados coletados devem ser altamente confiáveis, para assegurarem credibilidade ao Modelo e poderem ser empregados em processos de tomada de decisão (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

Na fase de Programação do Modelo é definida qual a melhor linguagem ou *software* a ser aplicada. Esta fase deve ser atrelada a testes para verificação de eventuais erros de programação (*debugs*), e também para a validação do correto funcionamento do modelo na representação do fenômeno real (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

Considerando que a sistemática a ser adotada no estudo deve ser rigorosamente seguida, Dietz apud Pereira (2000) sugere sete passos para a condução de um projeto de simulação eficiente:

- Definição dos objetivos do estudo e um plano para o trabalho;
- Coleta e documentação dos dados;
- Formulação de tabelas de dados e demais informações pertinentes ao projeto;
- Criação e validação do modelo de simulação;
- Determinação de tempos de duração da simulação;
- Validação do desempenho do modelo;
- Análise dos resultados e tomada de decisão.

Giani et al. (1998) obtiveram resultados satisfatórios utilizando a metodologia acima descrita para simulação juntamente com o pensamento sistêmico. O problema a ser estudado dizia respeito à falta de espaço físico em uma indústria manufatureira.

Para Cheng et al. apud PINHO et al. (2010), são duas as formas mais comuns de se utilizar a simulação para avaliação de melhoria de um processo. Na primeira, a simulação é executada após a seleção de todas as configurações e recursos disponíveis para então se

analisar os resultados obtidos. Esse processo pode despende muito tempo, além de ser cansativo. Na outra forma sugerida de avaliação, são testadas algumas combinações dos recursos disponíveis, selecionados com base em algum critério pré-estabelecido, com o intuito de melhorar o rendimento do processo avaliado.

2.3. Aplicação da Simulação

Para Souza et al. (2003), a simulação é amplamente utilizada em diversas áreas na manufatura, incluindo a avaliação de arranjos físicos de fábricas (*layout*), fluxos de processos e de material dentro de uma linha ou célula, planejamento de capacidades e utilização de recursos. Também é utilizada na área da logística e configuração de ferramentas, bem como na programação de máquinas de usinagem. O trabalho dos autores faz uso da simulação para análise de um estudo de caso de alocação de mão-de-obra em uma linha de produção com demanda variável. Como resultado, cita-se a agilidade de resposta de uma organização em desenvolver um plano de decisão, adaptando-se rapidamente às mudanças de cenário.

Santoro e Moraes (2000) utilizaram a simulação para testar a implementação de uma nova linha de montagem de motores. Com ela definiram características importantes para a implementação do novo sistema, bem como otimizaram o número de paletes na linha, permitindo uma redução no investimento. Os autores citam também a complexidade de um sistema de produção e o quanto, na prática, a simulação auxilia na avaliação dos aspectos importantes do sistema produtivo.

Uma maneira de reduzir tempo e custo de desenvolvimento é criar sistemas de simulação, também chamados de Manufatura Virtual. Eles permitem aos projetistas prever eficientemente como o desempenho dos processos e produtos será afetado com as mudanças sugeridas (PORTO et al., 2002).

Por fim, Sellitto e Walter (2008) utilizaram a simulação computacional para avaliar o comportamento da variável tempo de atravessamento em um sistema de manufatura. Através dos modelos criados, os autores identificaram efeitos indesejáveis nos processos e propuseram medidas corretivas para os mesmos.

3. Metodologia

A empresa foco do trabalho é uma multinacional do ramo automotivo sediada nos Estados Unidos. Está presente em mais de 26 países e emprega cerca de 25 mil funcionários em nível mundial. No Brasil, conta com 3,2 mil funcionários distribuídos em 6 cidades de diferentes estados e 15 Unidades Industriais, além de dois Centros de Serviços. O desenvolvimento do estudo será na planta de Gravataí, Rio Grande do Sul, onde estão algumas das principais operações de usinagem do grupo no país. Esta pesquisa pode ser classificada de natureza aplicada, com uma abordagem quantitativa, pois está basicamente relacionada com medições e quantificação dos resultados (GODOY, 1995), e seus procedimentos demonstrados através de um estudo de caso, uma vez que se tem pouco controle sobre os eventos analisados (YIN; 2001).

Para a obtenção dos objetivos propostos, foi definida uma sistemática para o trabalho, com base na sequência sugerida por Law e Kelton (1991). As seis etapas propostas são:

- i. Planejamento do estudo do problema;
- ii. Coleta de dados;
- iii. Construção e validação de modelo conceitual;
- iv. Construção e validação de modelo computacional;
- v. Simulação dos experimentos;
- vi. Análise dos resultados.

Tais etapas são detalhadas na sequência.

Etapa 1 – Planejamento do estudo do problema

Na primeira etapa é definido o problema a ser analisado, bem como o impacto causado por ele, com o objetivo de planejar o estudo e delimitar o modelo de simulação a ser criado. Nessa etapa também é delimitado o sistema, de forma que processos menos importantes não sejam incluídos na simulação. A definição do sistema depende da análise de especialistas, e deve levar em conta aspectos estratégicos da empresa.

Etapa 2 – Coleta de dados

Na segunda etapa são coletados os dados relevantes para a construção do modelo, tais como tempos de ciclo, tempos de carga e descarga, distâncias a serem percorridas, além de

tempos para eventuais medições e acertos de máquinas (set ups e ajustes). Os tempos históricos de manutenção e de paradas em geral também são importantes para a construção do modelo. A qualidade dos dados gerados é fundamental para descrição do processo da fábrica, fazendo com que os mesmos sejam analisados em termos de consistência e presença de dados atípicos antes da sua efetiva inserção no modelo (dados espúrios devem ser analisados cuidadosamente e, se necessário, retirados da análise). Os dados são coletados diretamente no chão de fábrica, históricos e documentações oficiais.

Etapa 3 – Construção e validação do modelo conceitual

Para a etapa de Construção do Modelo Conceitual, são tomadas como base as características gerais do processo a ser modelado. Fatores operacionais e medidas do desempenho, como variáveis de entrada e saída do modelo, serão considerados nessa etapa. Após a construção do modelo, deve-se passar para a etapa de validação desse modelo, garantindo fidelidade em relação ao sistema real a ser representado. Tal validação é realizada com o auxílio de especialistas de processo.

Etapa 4 – Construção e validação do modelo computacional

Com o Modelo Conceitual validado, gera-se o Modelo Computacional de Simulação. Avalia-se qual o *software* que melhor se adéqua ao processo e ao modelo a ser criado. Com o modelo computacional validado verifica-se sua confiabilidade através de simulações e comparações com situações reais e conhecidas. As informações geradas são então verificadas quanto à assimilação pelo modelo computacional.

Etapa 5 – Simulação dos experimentos

Na sequência, as simulações dos cenários são executadas com base nos problemas e melhorias previstos na etapa inicial. Mudanças e novos experimentos são definidos e utilizados para analisar melhorias no processo e propor alterações. Diversos cenários são testados com o intuito de aprimorar o desempenho do sistema modelado, e normalmente incluem ações para aumento da utilização do sistema e dos níveis de capacidade produtiva, redução da ociosidade e decréscimo da distância percorrida no sistema.

Etapa 6 – Análise dos resultados

Nesta fase é avaliada a viabilidade de implantação das alterações balizadas pelos resultados da simulação. Com esses dados e resultados comparados, espera-se ter uma visão global da linha de produção e avaliar sua capacidade quanto à possibilidade de

aumento. Os resultados serão passados para a gerência responsável a fim de validar e implementar possíveis melhorias no processo.

4. Resultados

O método aqui proposto iniciou com a identificação do sistema a modelado, bem como com a verificação de deficiências no processo que justificassem a intervenção. Constatou-se, em observações iniciais, que o operador da célula de manufatura apresentava ociosidade durante a operação, gerando potenciais oportunidades de melhorias. Além disso, os históricos de produção mostravam a necessidade de aumento de capacidade produtiva para atender demandas de até 12.000 peças por mês. Atualmente, a capacidade da célula foi estimada a pouco mais de 5.000 peças por mês, quando operando em três turnos de trabalho. Para esse cálculo considerou-se o maior tempo médio de processamento entre os recursos da célula divididos pela disponibilidade de horas no mês. Tal identificação prévia de problemas alinhou o aumento de capacidade produtiva como principal objetivo para a análise de simulação proposta.

4.1. Situação atual

Na sequência, mapeou-se o processo de produção com o objetivo de delimitar as características e indicadores a serem monitorados para a criação do sistema e posterior aplicação no modelo computacional. A célula em análise possui três máquinas dispostas em um *layout* do tipo “U”. A sequência das operações, bem como o fluxo de materiais na célula de manufatura, é apresentada na Figura 2 e descrita a seguir.

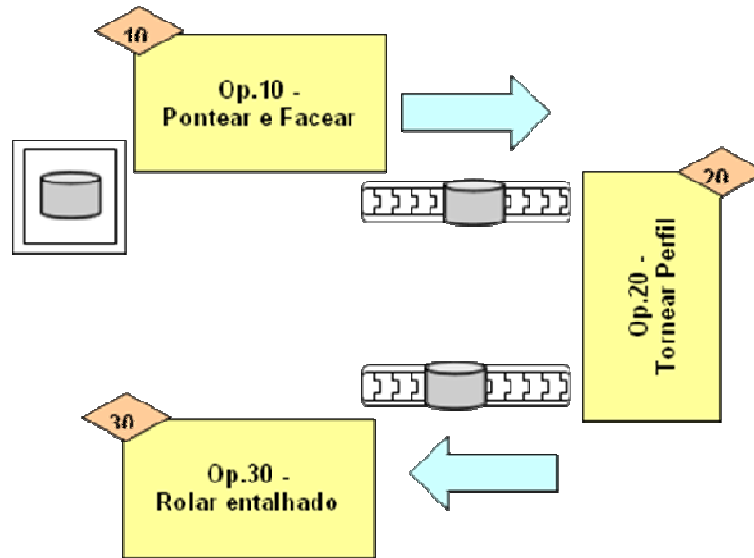


Figura 2: Fluxo do processo produtivo

Fonte: Elaborado pelos autores

A matéria-prima, ou o Forjado, chega em containers com aproximadamente 400 peças para a operação de pontejamento, a primeira da sequência. Em seguida, a peça ponteadada passa pela operação de Torneamento do Perfil e, por fim, a peça Torneada passa pela máquina chamada de Roladora, que gera a Rosca e o Entalhado por conformação. A peça finalizada é armazenada em caixas com 12 unidades. A partir desses dados, criou-se o modelo conceitual da célula, apresentado na Figura 3.

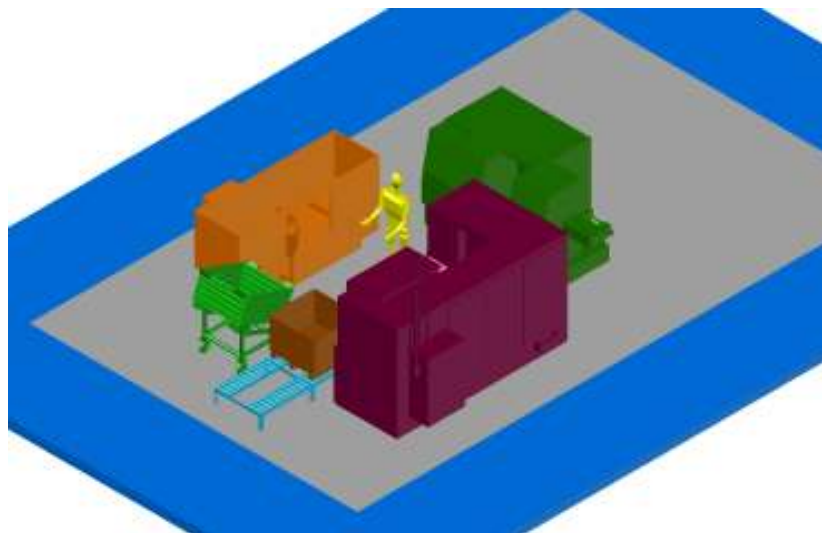


Figura 3: Modelo conceitual da célula

Fonte: Elaborado pelos autores

Levantaram-se também os tempos médios das operações com base em dados de cronoanálise realizados pela empresa. Para ponderar esses tempos, utilizaram-se os históricos de programas dos últimos 12 meses. A Tabela 1 apresenta os dados de tempos médios ponderados.

Tabela 1: Tempos médios ponderados

PEÇA	TEMPO PONTEAR (min)	TEMPO TORNO (min)	TEMPO ROLADORA (min)	PROD. MENSAL (média)
BA203328-U	0,99	3,15	0,33	2.500
32171-U	1,13	3,31	0,25	2.050
BA203556-U	1,13	3,19	0,25	1.050
47670-U	1,13	3,09	0,25	1.860
32073-U	1,13	3,84	0,25	275
48084-u	1,13	3,67	0,25	120
44196-U	1,08	3,47	0,45	295
2003415-u	1,10	3,56	0,55	400
42419-U	1,08	3,42	0,45	420
ba203647-u	1,10	3,50	0,55	80
40967-u	1,08	3,45	0,45	410
48104-u	1,08	4,00	0,45	240
50550-U	1,08	3,42	0,45	60
BA203443-U	1,10	2,97	0,50	386
040826-U	1,00	3,07	0,33	205
BA203445-U	1,10	3,50	0,55	190
040823-U	1,00	3,07	0,25	60
040740-U	1,10	6,30	0,42	420
55360-U	1,13	4,68	0,42	60
2001611-U	1,23	4,68	0,42	440
2002386-U	1,23	4,68	0,42	420
BA203260-U	1,23	3,82	0,42	50
				11.991
Tempos ponderados	1,10	3,48	0,33	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da empresa

Outro índice coletado foi a Disponibilidade Técnica de recursos. Em uma análise prévia, identificou-se significativa perda de capacidade produtiva por paradas para manutenção das máquinas durante a produção em outras células similares. Os dados históricos de manutenção forneceram tempos médios entre as falhas (MTBF – *Mean Time Between Failures*) e os tempos médios para reparos (MTTR – *Mean Time to Repair*), permitindo-se estimar os valores de Disponibilidade Técnica de cada máquina, expressa em percentual, conforme proposto por Elsayed (1996). Quanto mais próximo de 100%,

maior a disponibilidade da máquina. Foram considerados três turnos diários de trabalho, totalizando 500 horas disponíveis por mês. A disponibilidade foi calculada sobre a média das disponibilidades apresentadas nos últimos quatro anos de recursos similares, contabilizando também a média até então do corrente ano de 2012.

Utilizou-se, para o modelo de simulação, paradas para manutenção em uma distribuição normal, conforme os resultados de disponibilidade, com um desvio padrão calculado com base nas médias históricas. As Figuras 4, 5 e 6 mostram esses dados em gráficos, com as médias anuais apresentadas em percentual, enquanto a Tabela 2 mostra os resultados de disponibilidade técnica média obtidos. Na Tabela 3 encontram-se os tempos médios entre falhas e tempos médios de reparo dos últimos quatro anos além do desvio padrão calculado.

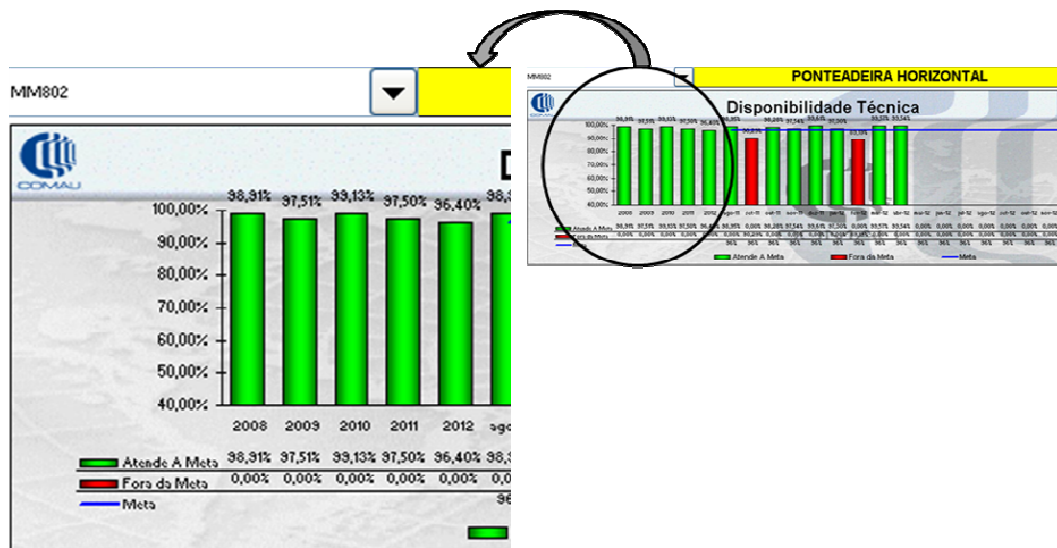


Figura 4: Disponibilidade Técnica – Ponteadeira

Fonte: Dados da empresa

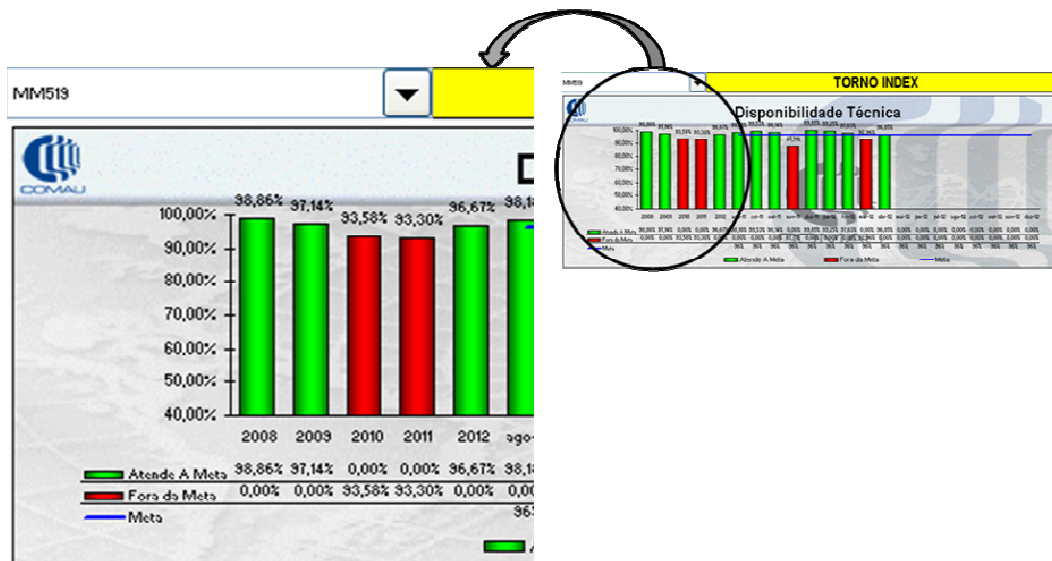


Figura 5: Disponibilidade Técnica – Torno
 Fonte: Dados da empresa

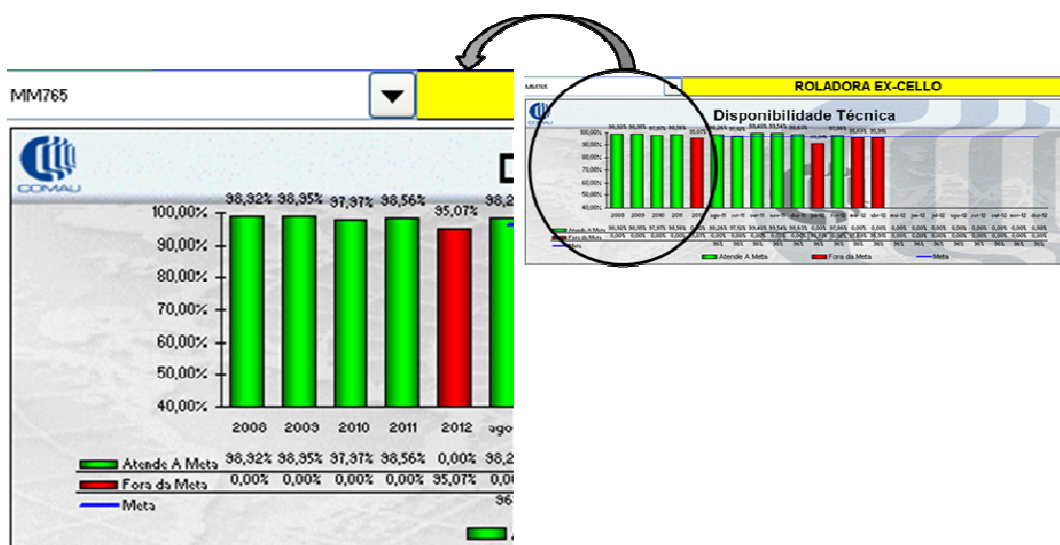


Figura 6: Disponibilidade Técnica – Roladora
 Fonte: Dados da empresa

Tabela 2: Resultados de Disponibilidade Técnica média

Máquina	Disponibilidade Técnica Média	
	%	Horas
Ponteadeira	97,89%	367,0875
Torno	95,91%	479,55
Roladora	97,90%	489,50

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da empresa

Tabela 3: Tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio para reparos (MTTR)

MTBF (Mean Time Between Fails)						
	2008	2009	2010	2011	2012	MÉDIA (h)
Ponteadeira	279,38	244,63	241,44	154,94	152,73	214,62
Torno	244,86	165,27	94,92	159,09	131,72	159,17
Roladora	304,26	249,86	133,07	282,30	75,79	209,06
MTTR (Mean Time to Repair)						
	2008	2009	2010	2011	2012	MÉDIA (h)
Ponteadeira	2,16	3,69	1,15	2,78	3,44	2,64
Torno	2,10	2,46	4,10	5,03	3,00	3,34
Roladora	2,29	1,96	1,43	2,59	3,96	2,45

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da empresa

Baseado nos dados coletados, criou-se o modelo computacional com o auxílio do *software* ProModel. Esse *software* foi escolhido pela sua facilidade e simplicidade de utilização, bem como por ser um *software* com linguagem dirigida à modelagem e simulação de processos de produção. O tempo de duração para cada experimento de simulação foi fixado em quatro semanas, considerando as atualizações de pedidos em carteira, que ocorrem uma vez por mês. A jornada de trabalho considerada foi de 8 horas diárias, com uma hora de intervalo por turno, gerando um total de 7 horas de trabalho por turno. A Tabela 4 mostra a distribuição dos horários, sendo que espaços em preto sinalizam tempo de trabalho, cinza as paradas e branco o tempo não trabalhado.

Tabela 4: Distribuição dos turnos de trabalho

		Horário																							
	Dias da Semana	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	1 TURNO	DOM																							
SEG																									
TER																									
QUA																									
QUI																									
SEX																									
SÁB																									
2 TURNOS	DOM																								
	SEG																								
	TER																								
	QUA																								
	QUI																								
	SEX																								
	SÁB																								
3 TURNOS	DOM																								
	SEG																								
	TER																								
	QUA																								
	QUI																								
	SEX																								
	SÁB																								

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da empresa

4.2. Cenários propostos

Foram criados diversos cenários visando aprimorar a capacidade produtiva da planta analisada. Em um primeiro momento, inseriu-se um turno extra somente na operação de torneamento, facilmente identificada como a operação gargalo pelo destacado tempo de ciclo quando comparado às outras operações. Após, inseriram-se dois turnos extras na operação gargalo. Para esses cenários, criou-se um *buffer* intermediário de peças antes e outro depois da máquina.

Confrontando os resultados, observou-se um aumento significativo na utilização da máquina gargalo com o aumento do número de turnos, bem como da produção total no final do período de simulação. Conforme a Tabela 5, nota-se um aumento de mais de 100% no total de peças produzidas a cada acréscimo de turno na operação gargalo. São apresentados, na mesma tabela, o percentual de tempo ocioso de cada máquina, bem como o tempo de máquina bloqueada ou aguardando o término de uma operação subsequente para iniciar novo ciclo, além dos tempos de parada para manutenção. O elevado percentual de tempo de máquina bloqueada no início explica-se pelo fato de que a jornada de trabalho se dá em apenas em um turno, ficando os outros dois turnos sem operar. Consequentemente, ao se aumentar o número de turnos trabalhados, diminui-se o tempo em que as máquinas ficam bloqueadas.

Tabela 5: Ocupação de máquinas com aumento de turnos trabalhados

	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
1X Gargalo - 1T	Ponteadeira	6,89	0,64	79,58	12,89	132 caixas / 529 peças
	Torno	17,41	0,47	66,62	15,50	
	Roladora	5,19	52,13	31,44	11,24	
1X Gargalo - 2T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	17,94	1,65	74,06	6,36	318 caixas / 1282 peças
	Torno	44,47	1,18	30,91	23,45	
Roladora	14,62	51,55	20,04	13,79		
1X Gargalo - 3T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	62,44	5,69	14,78	17,08	530 caixas / 2122 peças
	Torno	66,06	1,75	7,93	24,26	
Roladora	25,06	44,15	17,57	13,22		

Fonte: Elaborado pelos autores

Em um cenário alternativo, simulou-se o efeito do acréscimo de uma máquina gargalo dentro de cada turno de trabalho. Como mostrado na Tabela 6, o percentual de utilização das máquinas aumentou com o acréscimo dos turnos trabalhados, mas não de forma tão significativa como no caso anterior. Observa-se também que o número de peças produzidas ao final das 4 semanas não aumentou muito de 2 turnos para 3 turnos, o que

caracteriza um travamento no processo. Pode-se afirmar que, nesse caso, o gargalo não é mais o Torno, e sim a máquina com maior utilização (Ponteadeira).

Tabela 6: Ocupação de máquinas com duplicação da máquina gargalo nos turnos trabalhados

2X Gargalo - 1T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	12,76	1,16	72,27	13,81	
Torno 1	17,81	0,47	65,18	16,55		
Torno 2	19,09	0,51	64,07	16,33		
Roladora	9,28	37,69	38,69	14,35		
2X Gargalo - 2T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	37,28	3,39	52,85	6,48	
Torno 1	40,94	1,11	34,72	23,25		
Torno 2	42,95	1,14	32,91	23,02		
Roladora	28,78	39,76	20,04	11,42		
2X Gargalo - 3T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	76,45	6,97	0	16,58	
Torno 1	44,89	30,29	1,10	24,82		
Torno 2	42,56	28,81	3,05	24,58		
Roladora	19,97	23,55	46,85	9,63		

Fonte: Elaborado pelos autores

O terceiro cenário considerou a duplicação da máquina gargalo (Torno) com 2 turnos de trabalho, além da potencial máquina gargalo (Ponteadeira), identificada no cenário anterior, também trabalhando em 2 turnos. Na sequência, acrescentou-se mais um turno nas máquinas gargalos já duplicadas, passando a trabalhar nos 3 turnos disponíveis, com a Ponteadeira trabalhando em 2 turnos apenas. Por fim, simularam-se tanto os dois Tornos quanto a Ponteadeira operando nos 3 turnos disponíveis, conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Ocupação de máquinas com Ponteadeira e máquina gargalo duplicada em 2 e 3 turnos

2X Gargalo - 2T Ponteadeira - 2T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	25,84	2,36	59,09	12,71	
Torno 1	41,01	1,09	34,71	23,19		
Torno 2	42,95	1,14	32,91	23,00		
Roladora	23,94	30,79	33,39	11,88		
2X Gargalo - 3T Ponteadeira - 2T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	57,95	5,28	22,52	14,25	
Torno 1	52,52	1,52	18,07	22,89		
Torno 2	61,98	1,64	11,53	24,85		
Roladora	20,38	6,11	62,52	11,00		
2X Gargalo - 3T Ponteadeira - 3T	Máquina	% Operação	% Ocioso	%Bloqueado	% Manutenção	Prod Total
	Ponteadeira	38,59	3,51	44,10	13,80	
Torno 1	67,10	1,78	7,79	23,34		
Torno 2	69,04	1,83	4,19	24,94		
Roladora	20,08	61,87	4,21	13,84		

Fonte: Elaborado pelos autores

A utilização dos Tornos e da Ponteadeira aumentou o volume de peças produzidas em 50%, se comparados com o primeiro caso desse cenário, onde se tem apenas 2 turnos de trabalho. Além disso, com 3 turnos, a produção aumentou em mais de 70%, chegando nas 12.000 peças por mês desejadas pela empresa.

Com base nos cenários gerados, pode-se entender que a máquina que em um primeiro momento seria o gargalo da linha (Torno), acaba cedendo essa característica para a Ponteadeira, no momento em que os recursos são duplicados e acrescidos de mais 1 ou 2 turnos. Em contrapartida, se a Ponteadeira acompanhar a produção nos turnos extras, consegue-se um balanço mais homogêneo da utilização em operação desses recursos, aproximando-se dos números desejados de entregas no final de um mês de trabalho.

Problemas com quebras e conseqüente perdas por paradas para manutenção são inerentes aos processos produtivos. Necessitam portanto serem avaliados nesse tipo de simulação, uma vez que afetam fortemente os resultados finais de produção.

Através da análise dos resultados obtidos, sugere-se a duplicação apenas da máquina gargalo com a distribuição dos 2 recursos nos 3 turnos disponíveis para trabalho, conforme o terceiro cenário. Acrescenta-se ainda a necessidade de utilização da Ponteadeira por pelo menos 2 turnos a fim de atender a produção de mais de 11.000 peças no mês, ampliando a utilização para o 3º Turno no caso dos meses com demandas acima de 12.000 peças.

5. Conclusões

O ritmo de produção de uma célula é ditado pelo seu gargalo, o qual deve sempre ser protegido para que não se interrompa a saída de peças. É fundamental, portanto, que se tenha o conhecimento da dinâmica do processo de maneira a alcançar o máximo possível de produção da célula. Com o conhecimento dessas características a empresa aprimora a distribuição dos seus recursos financeiros a fim de maximizar seus indicadores de desempenho.

Este estudo teve como objetivo aplicar a simulação de eventos discretos através do *software* ProModel em uma célula recém-instalada de produção de Pinhões. Avaliou-se cenários consistindo de variações nas quantidades de recursos disponíveis dentro dos turnos possíveis de trabalho, a fim de se atingir o volume de produção almejado. Inseriram-se ainda os *downtimes* por quebra e manutenção em todos os cenários, uma vez que são inerentes ao processo analisado. Por fim, a ferramenta apresentou-se de forma

eficiente na confecção e análise dos cenários, através da interface dinâmica e de seus relatórios gráficos e estatísticos.

Considerando os resultados obtidos na seção anterior, observa-se que a duplicação do recurso gargalo (Torno), bem como a distribuição deste e do potencial gargalo gerado (Ponteadeira) após a duplicação aumentam consideravelmente o volume de peças produzido. No cenário 3, no entanto, a utilização de 3 turnos na Ponteadeira provém um acréscimo de apenas 13% no volume total produzido. Em contrapartida, esse volume adicional supre a necessidade requerida pelo cliente, sem que se faça necessário a aquisição de mais recursos (novas máquinas).

A fim de validar a viabilidade técnica da implementação do cenário, a empresa deverá analisar os custos da aquisição de uma nova máquina além da ampliação da carga horária de trabalho para os 3 turnos. Por outro lado, uma redução no *downtime*, que chega a quase 25% do tempo disponível do gargalo, certamente traria ganhos bastante significativos em termos de volume de produção.

O modelo criado para o trabalho não considerou influências externas como paradas por falta de matérias-primas, ausência de operadores ou falta de ferramental para a usinagem. Estes problemas são comuns em processos produtivos, porém não foram inseridos no estudo, aspecto com o qual a empresa concordou.

Sugere-se como aprimoramento do modelo em questão a inserção das demais características frequentemente presentes nos processos produtivos, como falta de matérias-primas e absenteísmo dos trabalhadores, entre outros. Além disso, o monitoramento do tempo de atravessamento da linha e o inventário em processo podem mostrar outros ganhos a serem buscados pela empresa.

Referências Bibliográficas

ANFAVEA – Associação Nacional do Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário Estatístico. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>.

BANKS, J. Introduction to Simulation. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Atlanta, USA, 2000.

BRAGHIROLI, L. F. **Estudo da Linearidade da Produção em Células de Manufatura Através de Simulação a Eventos Discretos**. Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

ELSAYED, E.A. **Reliability Engineering**. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996.

FACCHIN, T.; SELLITTO, M. A. Medição do inventário em processo e tempo de atravessamento em manufatura por modelagem em redes de Petri e diagrama de resultados. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 15, n. 2, p. 307-321, maio-ago. 2008.

GIANI, E. P.; DIETRICH, F.; GEHLEN, P. R., MELO, R. B. **Aplicação conjunta do pensamento sistêmico e simulação computacional – um estudo de caso em manufatura**. ENEGEP, 1998.

GODOY, A.S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v.35, n.2, p.57-63, mar./abr. 1995.

IUCKSCH, A. M. **Simulação de Sistemas de Gestão de Produção em Manufatura Sazonal**. Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

LAW, A., KELTON D.; **Simulation Modeling and Analysis**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1991.

_____. **Simulation modeling and analysis**. 4. Ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

LOBÃO, E.C.; PORTO, A.J.V. Evolução das Técnicas de Simulação. **Revista Produção**, v.9, n.1, p.13-22, 1999.

PEREIRA, I. C., **Proposta de Sistematização da Simulação para Fabricação em Lotes**. Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado em Engenharia de Produção pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2000.

PINHO, A. F.; MONTEVECHI, J. A. B.; MARINS, F. A. S. Metodologia para utilização de algoritmos genéticos em modelos de simulação computacional em ambientes de manufatura. **Revista P&D em Engenharia de Produção**, Itajubá, v. 08, n. 1, p. 01-05, 2010.

PORTO, A. J. V. et al. Manufatura virtual: conceituação e desafios. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 297-312, dez. 2002.

PRADO, D. S. **Teoria das filas e da simulação**. Série Pesquisa Operacional, vol. 2. Belo Horizonte: Editora Desenvolvimento Gerencial, 1999.

PRITSKER, A.A.B.: **Introduction to Simulation and SLAM-II**, 3ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 25-43, jan-mar. 2009.

SANTORO, C. M., MORAES, L. H. Simulação de uma linha de montagem de motores. **Revista Gestão e Produção**, v. 7, n. 3, p. 338-351, 2000.

SELLITTO, M. A.; WALTER, C. Medição e controle do tempo de atravessamento em um sistema de manufatura. **Revista Gestão e Produção**, v. 15, n. 1, p. 135-147, 2008.

SOUZA, M. C. F., Yamada, M. C., PORTO, A.J.V., FILHO, E.V.G. Análise da alocação de mão-de-obra em linhas de multimodelos de produtos com demanda variável através do uso da simulação: um estudo de caso. **Revista Produção**, v. 13, n. 3 p. 63-77, 2003.

YIN, R.K. **Estudo de Caso – Planejamento e Métodos**. 2ª ed. São Paulo: Bookman, 2001.

ZAGONEL, Evaldo. **Implantação do fluxo unitário de peças numa célula de usinagem**: estudo de caso por meio de simulação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2006.