

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEANDRO DO AMARAL BOEIRA

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA
FABRICANTE DE CÂMARAS DE AR PNEUMÁTICAS

PORTO ALEGRE

2008

LEANDRO DO AMARAL BOEIRA

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA
FABRICANTE DE CÂMARAS DE AR PNEUMÁTICAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Modalidade: Profissional

Área de Concentração: Sistemas de Produção

Orientadora: Prof^a. Giovana S. Pasa, Dr^a.Eng.

Porto Alegre

2008

LEANDRO DO AMARAL BOEIRA

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA
FABRICANTE DE CÂMARAS DE AR PNEUMÁTICAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Modalidade: Profissional

Área de Concentração: Sistemas de Produção

Data de Aprovação:

___ / ___ / _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Honorato Schuch Santos
PPGT/UCS

Prof. Dr. Cláudio José Müller
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral
PPGEP/UFRGS

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos àqueles que contribuíram para a realização e conclusão deste estudo, em especial,

A Deus, que nos dá a vida e a sabedoria necessária para viver;

À minha esposa Andréa e ao meu filho Pedro Henrique, pela compreensão e suporte nos bons momentos e, principalmente, nos momentos mais difíceis;

A meus pais, meus sogros, irmãos e cunhados, que nunca mediram esforços para que meus sonhos e os sonhos de minha esposa se transformassem em realidade;

À professora Giovana Pasa, por toda a dedicação, apoio e paciência durante a orientação deste estudo;

Aos colegas Lynceo e Marcelo, pelas contribuições e amizade;

À empresa Rinaldi, pelo apoio e confiança no desenvolvimento deste estudo.

RESUMO

Atualmente o gerenciamento empresarial necessita de uma otimização nos recursos disponibilizados em busca de melhorias na produtividade e qualidade de produtos ou serviços, podendo tornar-se um diferencial para manter clientes. A simulação computacional pode contribuir com esta otimização, permitindo testar alterações para diferentes cenários propostos. Também pode auxiliar na compreensão das contribuições que estas alterações provocam nos processos existentes, para que se tenha um maior conhecimento de como os sistemas funcionam. Outra característica da simulação computacional é prever o comportamento futuro de sistemas, auxiliando no processo de tomada de decisão. O objetivo principal desta dissertação é a análise e avaliação da introdução da simulação computacional em uma empresa que fabrica câmaras pneumáticas de motocicletas, onde foi desenvolvido um estudo de caso. Para atingir este objetivo foram definidos os seguintes passos: identificação dos procedimentos recomendados pela literatura para estudos de simulação; execução destes procedimentos e análise do processo de implantação utilizado. Inicialmente o estudo de caso consistiu de reuniões com os gerentes para uma apresentação primária do estudo e definição do processo que poderia ser simulado. Então, foram executados os passos do método considerado e feita a análise do contato inicial da empresa com a ferramenta de simulação. Após, houve uma análise do aprendizado adquirido no processo de implantação. Finalmente, concluiu-se que o uso eficiente da técnica depende do envolvimento das pessoas conhecedoras e usuárias do processo simulado, também percebeu-se a necessidade de promover estudos futuros que aprofundem a investigação dos aspectos comportamentais envolvidos na introdução de uma nova ferramenta no ambiente fabril.

Palavras-Chave: simulação, manufatura, câmaras de ar

ABSTRACT

Currently, enterprise management requires an optimization of available resources aiming improvements in productivity and quality of products or services, becoming a differential for the customers. Computational simulation can contribute for such optimization, allowing testing changes for different scenarios proposed. Also it can help to understand their contributions in existing processes, to know better how systems operates. Another issue of computational simulation is predict the future behavior of systems, collaborating in the decision making process. The main goal of this dissertation is to analyze and evaluate the introduction of computational simulation in a company that produces rubber inner tubes. To reach this objective, the following steps were defined: identification of the literature recommended procedures in simulation studies; execution of these procedures; the analysis of the implantation process practiced. It was developed a case study in the rubber inner tubes company. The case study consisted initially in meetings with managers for an initial presentation of the study and definition of processes that could be simulated. Then, it was perform the steps of considered method and analysis of the first contact of the company with the simulation tool. Thus, there was learning about these deployment processes. Finally this dissertation concluded that the efficient use of the technique depends on the involvement of experts and users of the simulated process. This work raised need to promote further studies to deepen research on behavioral aspects involved in a introduction of a new tool in manufacturing environment.

Word-keys: simulation, manufacturing, inner tubes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definição dos termos para análise de um sistema	20
Figura 2 - Maneiras de se estudar um sistema.....	21
Figura 3 - Passos para um estudo de simulação (Law e Kelton).....	26
Figura 4 - Passos para um estudo de simulação (Banks)	33
Figura 5 - Etapas da linha de produção de câmaras pneumáticas	42
Figura 6 - Vista frontal do cilindro 1	43
Figura 7 - Vista frontal do cilindro 2.....	43
Figura 8 - Extrusão da massa	43
Figura 9 - Marcação da câmara	43
Figura 10 - Esteira de resfriamento	44
Figura 11 - Banho de talco	44
Figura 12 - Corte da massa.....	44
Figura 13 - Furação	44
Figura 14 - Armazenagem das massas cortadas	45
Figura 15 - Emenda automatizada.....	45
Figura 16 - Emendadeira automática.....	45
Figura 17 - Vulcanizadora fechada.....	46
Figura 18 - Vulcanizadora aberta	46
Figura 19 - Operadores e equipamentos necessários na linha de produção de câmaras	46
Figura 20 - Etapas do método de Law e Kelton (2000)	47
Figura 21 - Etapa 1 do método de Law e Kelton.....	48
Figura 22 - Formulação do problema e planejamento do estudo: elementos teóricos x aplicação prática	49
Figura 23 - Etapa 2 do método de Law e Kelton.....	50
Figura 24 - Representação gráfica do modelo conceitual 1	52
Figura 25 - Coleta de dados e definição de um modelo: elementos teóricos x aplicação prática	54
Figura 26 - Etapa 3 do método de Law e Kelton.....	54
Figura 27 - Validação do modelo proposto: elementos teóricos x aplicação prática	55
Figura 28 - Etapa 4 do método de Law e Kelton.....	56
Figura 29 - Representação gráfica do programa computacional 1	57
Figura 30 - Etapa 4 do método de Law e Kelton.....	61
Figura 31 - Construção e verificação de um programa computacional: elementos teóricos x aplicação prática	63

Figura 32 - Etapa 5 do método de Law e Kelton.....	63
Figura 33 - Execução de rodadas de testes: elementos teóricos x aplicação prática.....	64
Figura 34 - Etapa 6 do método de Law e Kelton.....	65
Figura 35 - Validação do programa computacional: elementos teóricos x aplicação prática .	65
Figura 36 - Etapa 7 do método de Law e Kelton.....	66
Figura 37 - Planejamento de experimentos: elementos teóricos x sugestões de aplicação	67
Figura 38 - Etapa 8 do método de Law e Kelton.....	68
Figura 39 - Execução de rodadas válidas: elementos teóricos x aplicação prática	69
Figura 40 - Etapa 9 do método de Law e Kelton.....	70
Figura 41 - Análise dos dados de saída do programa computacional: elementos teóricos x sugestão aplicação	70
Figura 42 - Etapa 10 do método de Law e Kelton.....	71
Figura 43 - Documentação, apresentação e implementação dos resultados: elementos teóricos x aplicação prática	71
Figura 44 - Características do modelo computacional 1	73
Figura 45 - Simulação modelo 1	73
Figura 46 - Realimentação do modelo 1.....	74
Figura 47 - Características do modelo computacional 2	75
Figura 48 - Série temporal da média diária de produção do modelo 2.....	77
Figura 49 - Gráfico das médias acumuladas da produção diária média	79
Figura 50 - Comparativo entre dados históricos de produção e simulação.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado de cinco replicações no modelo computacional 2.....	81
Tabela 2 - Produção diária média x médias acumuladas para cada replicação.....	83
Tabela 3 - Resultados do modelo de simulação 1	85
Tabela 4 - Resultados da simulação do modelo 2 – média mensal	86
Tabela 5 - Resultados da simulação do modelo 2 – oito itens	94

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Comentários Iniciais.....	12
1.2 Tema e Objetivos.....	14
1.3 Justificativa do Tema e dos Objetivos.....	14
1.4 Método de Trabalho.....	16
1.5 Delimitações do Trabalho.....	17
1.6 Estrutura do Trabalho.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Simulação e Seus Elementos.....	19
2.2 Localização da Simulação como Abordagem de Estudo de Sistemas.....	20
2.3 Aplicações da Simulação.....	23
2.4 Métodos para Desenvolvimento de Simulações.....	25
2.4.1 Método proposto por Law e Kelton (2000).....	25
2.4.1.1 Formular o problema e planejar o estudo.....	27
2.4.1.2 Coletar dados e definir um modelo.....	27
2.4.1.3 Validar o modelo conceitual.....	29
2.4.1.4 Construir e testar um programa computacional.....	29
2.4.1.5 Rodar programa em fase de testes.....	30
2.4.1.6 Validar o modelo programado.....	30
2.4.1.7 Projetar experimentos.....	30
2.4.1.8 Executar rodadas do programa.....	31
2.4.1.9 Analisar os dados de saída.....	31
2.4.1.10 Documentar, apresentar e utilizar os resultados.....	32
2.4.2 Método Proposto por Banks (1996).....	33
2.4.2.1 Formulação do problema.....	34
2.4.2.2 Definição dos objetivos e revisão do planejamento.....	34
2.4.2.3 Construção do modelo.....	34
2.4.2.4 Coleta de dados.....	35
2.4.2.5 Tradução do modelo.....	35
2.4.2.6 Programação concluída?.....	36
2.4.2.7 Modelo é válido?.....	36
2.4.2.8 Projetar experimentos.....	36

2.4.2.9 Execução e análise.....	37
2.4.2.10 Mais execuções?.....	37
2.4.2.11 Documentação e relatórios	37
2.4.2.12 Implementação	37
2.5 Aspectos a Serem Considerados na Simulação	38
3 ESTUDO DE CASO	40
3.1 A Empresa	40
3.1.1 Processo produtivo	41
3.2 A Simulação do Processo de Fabricação de Câmaras	47
3.2.1 Etapa 1 - Formulação do problema e planejamento do estudo.....	48
3.2.2 Etapa 2 - Coleta de dados e definição de um modelo.....	50
3.2.3 Etapa 3 - Validação do modelo proposto.....	54
3.2.4 Etapa 4 - Construção e execução de um programa computacional do modelo proposto	56
3.2.4.1. Programa computacional para o modelo 1	57
3.2.4.2. Programa computacional para o modelo 2	61
3.2.5 Etapa 5 - Execução de rodadas de testes	63
3.2.6 Etapa 6 - Validação do programa	65
3.2.7 Etapa 7 - Planejamento de experimentos.....	66
3.2.8 Etapa 8 - Execução de rodadas válidas.....	68
3.2.9 Etapa 9 - Análise dos dados de saída do programa computacional.....	69
3.2.10 Etapa 10 - Documentação, apresentação e implementação dos resultados	70
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....	72
4.1 Simulações.....	72
4.1.1 Simulação do modelo computacional 1	73
4.1.2 Realimentações no modelo computacional 1	74
4.1.3 Simulação do modelo computacional 2.....	74
4.2 Validação das Simulações	79
4.3 Primeiro Contato com a Simulação	81
4.4 Aprendizados com a Simulação	83
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Comentários Iniciais

Hoje em dia, um mercado cada vez mais exigente está obrigando as empresas a repensarem sua forma de gerenciamento para conquistarem um número maior de clientes e garantirem os clientes já conquistados. Assim, é importante que os gestores destas empresas conheçam a fundo todos os processos nos quais a sua empresa esteja envolvida, além de definir e colocar em prática ações efetivas executadas ao nível dos processos operacionais que estejam de acordo com o definido em um planejamento estratégico. Leão (1998) observa que existe uma dificuldade nas empresas quando da compreensão de seus processos, devido à atual estrutura hierárquica funcional que existe na maioria destas.

Segundo Müller (2003), a gestão empresarial está mais complexa justamente pelas exigências do mercado, logo, qualquer fator diferencial competitivo, como a tecnologia gerencial, poderá ser positivo, exigindo das empresas um posicionamento definido, que possa ser reconhecido pelo mercado consumidor. A preocupação dos gerentes de produção quanto aos custos de processamento, transporte e armazenamento de materiais ou produtos acabados ao longo do sistema de produção pode conduzir suas ações na busca deste diferencial.

Empresas que tenham a capacidade de cumprir com as especificações exigidas pelos seus clientes ou responder às mudanças que o mercado impõe também serão as preferidas pelo novo mercado consumidor. Uma correta disposição das máquinas, dos equipamentos, das estações de trabalho e áreas de armazenamento, além de uma padronização do fluxo de materiais, contribuirá para a otimização dos processos de manufatura, diminuindo o tempo necessário para fabricação dos produtos, por exemplo, podendo configurar-se como um elemento de diferenciação capaz de conquistar ou reter clientes.

Os gerentes, engenheiros e outros tomadores de decisão sentem a necessidade de analisar os processos de produção pertinentes, procurando uma melhor compreensão da dinâmica do seu funcionamento. A busca por melhorias constantes nestes processos, minimizando custos e desperdícios, possibilitará uma melhor adequação às exigências deste novo mercado consumidor.

As melhorias buscadas deverão estar estruturadas e sua implementação dar-se-á de forma sistemática, com o emprego de conceitos e práticas integrados obedecendo a uma seqüência lógica de desdobramentos (CARPINETTI, 2000). Cassel (2004) menciona ser possível conseguirem-se melhorias no processo de produção a partir da distinção entre processos e operações, pois não necessariamente melhorias efetuadas nas operações garantirão ganhos sistêmicos no processo. Algumas ferramentas específicas que já comprovaram a sua eficácia em melhorias de processos quando bem implementadas são: mapeamento de fluxo de valor, aplicação da teoria das restrições, técnicas de produção enxuta, controle estatístico de processos, modelagem e simulação, diminuição no tempo de preparação de máquinas. Uma das alternativas para testarem-se modificações em processos de produção, e como eles responderão a estas alterações, com relativa economia financeira e de tempo é com a utilização da simulação computacional. Um incremento na potencialidade destas ferramentas é conseguido quando estas são implementadas em conjunto. Por exemplo, Schroer (2004) utiliza a simulação para auxiliar na compreensão dos conceitos de produção enxuta. No trabalhos de Pinho (2006) e Oliveira (2007) demonstra-se que a utilização da simulação e mapeamento de processos, possibilitaram a verificação de melhorias na produtividade, economia e eficiência nos respectivos processos analisados.

Em Montevechi (2003) há uma comparação entre melhorias efetuadas em células de manufatura utilizando-se os resultados apresentados na simulação. A simulação utilizada como ferramenta na elaboração de propostas de melhorias em processos já existentes pode ser verificada em Trein (2001) e Costa (2002). Brustolin e Silva (2007) utilizaram a simulação para análise de capacidade de processo na busca de uma melhor utilização dos recursos envolvidos com conseqüente redução de custos. De forma semelhante, Cassel e Vaccaro (2007) buscaram antever as respostas ideais para processos já existentes e qual a possibilidade de implementação das mesmas. Ribeiro (2003) propõe, em seu trabalho, uma representação das operações aeroportuárias para uma melhor compreensão destas, utilizando a simulação como uma ferramenta de apoio à decisão, uma vez que os processos logísticos associados às operações são complexos e, novas instalações físicas são inviáveis para atender a crescente demanda de vôos. Diante da impossibilidade da realização de experimentações nos processos reais, a simulação surge como uma alternativa razoável para fornecer subsídios para uma análise mais criteriosa nos processos observados, desde que aplicada de uma maneira sistemática, conforme Castilhos (2004). Santoro e Moraes (2000) mostram que a simulação também poderá ser aplicada para avaliação de processos que ainda não tenham sido

implementados. A partir das considerações citadas e reconhecendo-se a relevância do assunto simulação computacional este estudo aborda o processo de introdução desta ferramenta em um ambiente de manufatura.

1.2 Tema e Objetivos

Esta dissertação aborda o tema da simulação da produção em uma empresa fabricante de câmaras pneumáticas de motocicletas, focalizando especialmente os aspectos relacionados à introdução dessa ferramenta no ambiente fabril. O objetivo geral é o estudo do processo de introdução ao uso da simulação em uma empresa fabricante de câmaras de ar pneumáticas. Para tanto, os seguintes objetivos específicos são definidos:

- a) identificação das etapas necessárias à simulação, a partir da análise das propostas anteriores encontradas na literatura;
- b) execução das etapas na empresa estudada;
- c) análise do processo de implantação realizado.

1.3 Justificativa do Tema e dos Objetivos

A necessidade de se empregar corretamente os recursos disponíveis, na busca de melhorias de produtividade e qualidade dos produtos ou serviços é, atualmente, um diferencial na gestão empresarial. A simulação pode contribuir para tais melhorias, pois permite que sejam testados os impactos de mudanças em processos já existentes, ou então, de diferentes cenários de um mesmo processo. Pode-se ter uma melhor compreensão do modo como os sistemas operam, além de se conhecer quais serão os efeitos no desempenho destes sistemas frente a alternativas propostas.

A manufatura é uma das áreas da indústria que mais se utilizam o recurso da simulação. Conforme Law e McComas (1998, apud Montevechi, 2006, p.1), “entre as questões de manufatura endereçadas à simulação estão a especificação das necessidades de equipamentos,

mão-de-obra, avaliação de desempenho e dos procedimentos operacionais”. A partir de um mapeamento correto, podem ser obtidas melhorias nos processos de manufatura, adequando-se os *layouts* produtivos com o propósito de aperfeiçoá-los, alinhando-os às diretrizes definidas no planejamento estratégico da empresa. Sabendo-se da dificuldade de alterações em uma linha de produção já implantada, ou então, das grandes cifras envolvidas na criação de uma nova linha, além da necessidade da previsão de como tal linha funcionaria, a simulação garante boas respostas, com custos efetivamente mais baixos. A simulação também pode auxiliar no processo de tomada de decisão, pois permite a modelagem, com diferentes cenários, gerando respostas de uma forma mais rápida e econômica. Os custos associados às mudanças nos sistemas podem ser altos, a ponto de inviabilizar novos projetos, além das possíveis perdas geradas por eventuais interrupções de operações existentes. Zagonel e Cleto (2007) orientam que determinadas mudanças exigem cuidados e devem ser implementadas em conjunto com outras ferramentas para que sejam efetivamente úteis.

Segundo Harrel (2002), os motivos para a crescente utilização e popularidade da simulação na indústria são a facilidade de uso e a crescente competição pelo mercado consumidor, cada vez mais exigente. A flexibilidade dos programas de simulação disponíveis atualmente contribui para a modelagem de processos produtivos mais complexos com uma necessidade de conhecimentos em programação bem menores que há alguns anos atrás. Outro aspecto que distingue a simulação é a capacidade de tratar de problemas em que, além da complexidade, a estocasticidade também precise ser considerada. Em casos onde a estocasticidade pode ser desconsiderada, outras técnicas poderão ser mais adequadas.

No âmbito da relevância prática para a empresa, observou-se que possíveis aumentos de demanda irão provocar a necessidade de um incremento, ou então, uma melhor utilização da atual capacidade produtiva. A partir da constatação real de que a capacidade atual da linha de produção de câmaras pneumáticas da empresa estudada não acompanhará a demanda projetada, haverá a necessidade de alterações nesta linha de produção, em especial, no processo de vulcanização das câmaras, para uma perfeita adequação às diretrizes traçadas. A diretoria precisará decidir entre a criação de uma nova linha ou alteração da linha de produção atual. A estrutura física das instalações e equipamentos dificulta a execução de testes que envolvam uma mudança no *layout* atual. Do ponto de vista econômico, a construção de uma nova linha é difícil sem que se tenha uma certeza da efetividade produtiva. Portanto, a introdução da simulação na empresa poderá, futuramente, auxiliar e traçar cenários comparativos para tomadas de decisão mais precisas. Partindo-se da modelagem baseada no

modelo de operação já existente, poderão ser estudados os impactos da nova linha de vulcanização de câmaras em outras partes do processo de produção. O desenvolvimento de um modelo do sistema real permite a identificação de possíveis gargalos, aumentando a segurança na realização de alterações no balanceamento da linha de produção. Pelos motivos de aceitar estocasticidades de processo e permitir projetos de cenários, entendeu-se que a simulação poderia contribuir satisfatoriamente para a tomada de decisão, desde que fosse bem compreendida pelos funcionários da empresa e implementada de uma maneira estruturada.

1.4 Método de Trabalho

Este estudo constitui-se de uma revisão bibliográfica seguida de uma pesquisa participante, do tipo estudo de caso. O desenvolvimento do presente trabalho é feito em quatro etapas. A primeira etapa inicia-se com reuniões gerenciais de apresentação da proposta de estudo e ferramenta de simulação, para então ser definida de que maneira a nova ferramenta poderia ser útil na empresa. A partir destas definições inicia-se um mapeamento detalhado do processo atual de vulcanização das câmaras pneumáticas, partindo-se de observações do processo e das definições que constam no manual da qualidade da empresa. Com auxílio de especialistas do processo e baseando-se na documentação interna e instruções de trabalho documentadas no manual de qualidade, são mapeados os processos da linha de vulcanização de câmaras.

Depois, há a construção de dois modelos conceituais do sistema de produção mapeado. Após, utilizando-se o *software* de simulação ProModel, efetua-se a simulação destes modelos conceituais para a linha de produção da vulcanização. Esta é a segunda etapa.

Já na terceira etapa, analisam-se os resultados apresentados pelas simulações. Os resultados deste estudo foram apresentados para os especialistas envolvidos neste processo, que eram os gerentes e supervisores da produção, analisando-se as saídas geradas, em busca de possíveis erros de construção, sendo efetuados ajustes e correções nos modelos propostos. Esta etapa é realizada de forma interativa.

Na última etapa, são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos com simulação na empresa em estudo e como a ferramenta de simulação contribuiu para uma

melhor compreensão do sistema real. Também são analisados os aspectos pertinentes à implantação da ferramenta.

1.5 Delimitações do Trabalho

O presente trabalho está focado nos aspectos relativos à introdução da simulação no ambiente de produção de câmaras pneumáticas. São contempladas todas as etapas do método proposto, porém, com uma maior ênfase nas primeiras cinco etapas do método de Law e Kelton (2000).

O processo de simulação apresentado neste trabalho não tem a pretensão de alcançar um modelo quantitativamente representativo da capacidade do sistema real observado, o que demandaria esforços significativos na coleta de dados e excederia o dimensionamento da pesquisa. Apesar disso, cabe destacar que os resultados quantitativos encontrados são aderentes à realidade, conferindo confiabilidade ao processo de modelagem.

Contempla-se apenas uma linha de produção da empresa. Os resultados e conclusões sobre o impacto da implantação da ferramenta de simulação ainda são recentes e sabe-se que a confirmação dos mesmos demandará um olhar de longo prazo.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o tema desenvolvido, justificando-se a utilização da ferramenta de simulação no auxílio da compreensão dos processos atuais de produção das câmaras pneumáticas. Também são apresentados os objetivos do estudo, o método de trabalho utilizado, a sua estrutura e suas delimitações.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica da modelagem e simulação de sistemas, com a síntese dos elementos definidos na literatura que devem ser contemplados em uma simulação. Também são apresentadas aplicações da ferramenta de simulação em diferentes segmentos da indústria e serviços.

O terceiro capítulo referencia as etapas implementadas do modelo conceitual proposto e as interações realizadas na empresa. A análise e discussão dos resultados da simulação e do processo de implantação na empresa são apresentadas no quarto capítulo. Já no quinto capítulo apresenta-se a conclusão do estudo e propostas sugestões para futuros trabalhos que poderão ser desenvolvidos tomando-se como base esta dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No âmbito industrial existem várias operações e processos necessários para a manufatura de produtos acabados. Hoje em dia, com o auxílio de computadores, tais operações podem ser modeladas e estudadas para um melhor entendimento de como funcionam, ou então, na tentativa de melhorá-las. Partindo-se de uma observação destes processos e fazendo-se uma série de suposições sobre o seu comportamento, sob a forma de relacionamentos lógicos ou matemáticos, é possível a construção de um modelo, que é uma representação simplificada dos sistemas reais.

2.1 Simulação e Seus Elementos

A simulação é uma tentativa de reprodução do que acontece no mundo real, a partir da observação do comportamento de um sistema, na busca de uma melhor compreensão do seu funcionamento e do inter-relacionamento entre suas partes. Também pode ser definida como um método que utiliza a criação de modelos, com o objetivo de estudarem-se as características e propriedades dos sistemas reais, além de possíveis alterações na estrutura, ambiente ou condições de contorno e suas respectivas respostas (HARREL, 2002; BORBA, 1998). Pegden (1995) a define como a proposta e elaboração de um modelo que represente o que foi observado, com a intenção de se conhecer o comportamento deste sistema, avaliando-se estratégias para sua operação. Atualmente, com a utilização das ferramentas disponibilizadas pela informática e aliando-as com determinadas técnicas matemáticas, pode-se imitar praticamente qualquer tipo de operação ou processo real em seu funcionamento. Em suma, a simulação pode ser definida como uma representação do comportamento do sistema observado através de um modelo, permitindo-se testá-lo em diferentes situações.

Para uma boa compreensão da simulação, é necessária a definição de sistema. Um sistema é definido como uma coleção de entidades, pessoas ou máquinas, que agem e interagem juntos para a realização de algum fim lógico (SCHMIDT; TAYLOR, 1970). Na prática, o significado de sistema dependerá dos objetivos de um estudo particular. Em uma fábrica, por exemplo, poder-se-á chamar de sistema ao conjunto das várias interações entre recursos e

pessoas (LAW; KELTON, 2000; SHIH, 2005). Banks (1998) ressalta que, para se entender e analisar um sistema, alguns dos principais termos do modelo precisam estar definidos. A definição dos termos para a análise de um sistema, proposta pelo autor, pode ser vista na Figura 1.

Termo	Definição
Entidade	Objeto de interesse do sistema.
Atributo	Propriedade de uma entidade.
Atividade	Tarefa executada pela entidade fixa ou recurso em um período de tempo.
Recurso	Entidade fixa que executa atividade para a entidade dinâmica.
Variáveis de estado	Variáveis necessárias para descrever o sistema num instante qualquer.
Evento	Ocorrências que poderão alterar o estado do sistema.
Endógeno	Relativo a atividades e eventos que ocorrem dentro do sistema.
Exógeno	Relativo a atividades e eventos no meio que afetam o sistema.

Figura 1 – Definição dos termos para análise de um sistema.

Fonte: Banks (1998).

2.2 Localização da Simulação como Abordagem de Estudo de Sistemas

Law e Kelton (2000) listam e comparam cada uma das abordagens para o estudo de um sistema: experimento do sistema atual contra o experimento de um modelo do sistema, modelos físico contra modelo matemático e solução analítica contra simulação. Essas abordagens podem ser vistas na Figura 2. Diversas abordagens podem ser usadas para o estudo de sistemas reais.

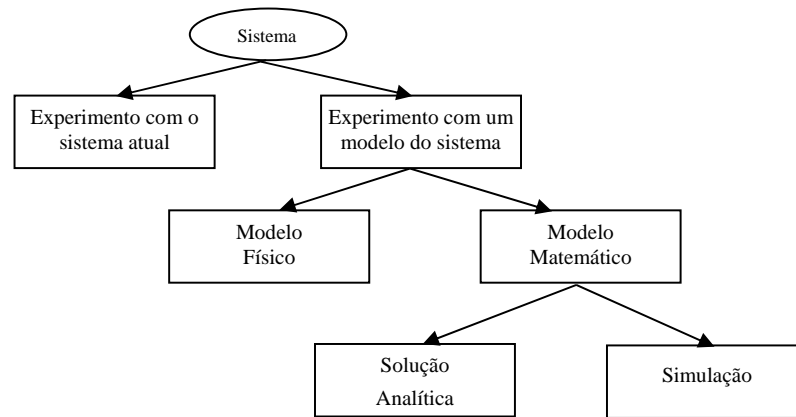


Figura 2: Maneiras de se estudar um sistema.
Fonte: Law e Kelton (2000).

Havendo a possibilidade de alterações físicas do sistema em análise e de operação sob diferentes condições, isso pode ser feito. Neste caso, não existiria a questão de se validar o estudo. Entretanto, raramente isso acontece, pois costuma ser muito caro ou atrapalhar em demasia o sistema analisado. Por tais razões, geralmente é necessário construir-se um modelo representando o sistema.

Quando se utilizar um modelo do sistema, sempre existirão questões relativas quanto a sua precisão e aos propósitos das decisões a serem tomadas a partir deste. Ocasionalmente, pode ser útil a construção de modelos físicos para se estudar a engenharia ou o gerenciamento dos sistemas. Porém, em sua grande maioria, os modelos construídos para análises e compreensão destes sistemas são matemáticos. Esses, representam um sistema em termos de relações lógicas e quantitativas, podendo estas relações serem manipuladas e alteradas para se analisar o comportamento do modelo sob tais condições.

Segundo Law e Kelton (2000), um modelo matemático simplificado poderia ser, por exemplo, a relação $d = r \times t$, onde r é a velocidade, t é o tempo gasto em uma viagem e d a distância percorrida. Uma vez construído o modelo matemático, este deverá ser examinado para ver como poderá responder as questões de interesse sobre o sistema que supostamente representará. Quando o modelo é simples o suficiente, pode ser possível trabalhar com suas relações e quantidades para obtenção de uma solução analítica exata. No exemplo citado anteriormente, ter-se-ia a relação $d = r \times t$. Conhecendo-se a velocidade e a distância a ser percorrida, pode-se trabalhar com o modelo até obter-se $t = d / r$, como sendo o tempo necessário para completar-se a viagem. Esta é uma solução de forma muito simples, obtida até

com papel e caneta; porém, algumas soluções analíticas podem se tornar complexas, necessitando-se muitos recursos computacionais. Para Law e Kelton (2000), se uma solução analítica para um modelo matemático estiver disponível e for computacionalmente eficiente, será desejável estudar o modelo desta maneira. Entretanto, muitos sistemas são tão complexos que os modelos matemáticos válidos destes sistemas são igualmente complexos, inviabilizando qualquer possibilidade de solução analítica. Neste caso, o modelo deverá ser estudado por meio da simulação, ou seja, gerando-se numericamente um modelo para as entradas em questão, para ver como são afetadas as medidas de desempenho de saída. Optando-se pela simulação, deve-se então atentar para as diferentes modalidades existentes. Para tal propósito, poderá ser útil classificarem-se os modelos de simulação em três diferentes dimensões: modelos estáticos frente a modelos dinâmicos, modelos determinísticos frente a modelos estocásticos, e, por último, modelos contínuos frente a modelos discretos.

Um modelo de simulação estático é uma representação de um sistema apenas em um tempo particular. O tempo não influencia no modelo propriamente dito. Assim, o estado do modelo não muda em relação ao tempo. Os modelos de Monte Carlo são simulações estáticas e podem ser utilizados, por exemplo, para resolver um sistema de equações diferenciais que descreve uma reação química. Por outro lado, um modelo de simulação dinâmico é influenciado pelo tempo, logo, representa um sistema que evolui ao longo do tempo, como um sistema de esteiras em uma fábrica (LAW; KELTON, 2000; HARREL, 2002).

Quando um modelo de simulação não contiver qualquer componente probabilístico, será chamado de determinístico. Entretanto, aqueles sistemas que precisam ser modelados com, no mínimo, alguns componentes de entrada randômicos, dão origem a modelos de simulação ditos estocásticos ou probabilísticos. A maioria dos sistemas de filas e estoques é modelada estocasticamente. Modelos de simulação estocástica também produzem saídas randômicas, devendo estas ser tratadas somente como uma aproximação das características verdadeiras do modelo.

Definem-se modelos de simulação discreta e simulação contínua analogamente às definições de sistemas discretos e contínuos. Quando as variáveis de estado mudam instantaneamente em pontos distintos do tempo, denominam-se sistemas discretos. Por outro lado, quando as variáveis de estado mudam continuamente em relação ao tempo, denominam-se sistemas contínuos. Pode-se mencionar que nem sempre um modelo discreto é utilizado na modelagem de um sistema discreto e vice-versa. A decisão de quando será utilizado um modelo contínuo ou discreto, para determinado sistema, dependerá dos objetivos específicos do estudo. Por

exemplo, um modelo de fluxo de tráfego em uma rodovia poderia ser discreto, quando suas características e movimentos individuais dos carros são importantes, como visto em Pecker (2003), onde é apresentada uma modelagem para rodovias que considera os movimentos individuais dos veículos, com o objetivo de avaliar o desempenho operacional de um trecho de pista simples. Alternativamente, se os carros pudessem ser tratados de forma agregada, o fluxo de tráfego poderia ser descrito em um modelo contínuo.

2.3 Aplicações da Simulação

Sendo uma das técnicas freqüentemente utilizadas pela administração e pesquisa operacional atualmente, a simulação é aplicada tanto no estudo e resolução de diversos problemas do cotidiano, como no projeto e análise de sistemas de manufatura, onde se pode citar a utilização para melhorias ou projeções de novos cenários, na disposição física de recursos e no planejamento da capacidade de produção. Na área de logística e transportes, é utilizada para o gerenciamento de estoques, processamentos de pedidos, definição de rotas de entrega mais econômicas, movimentação dos materiais. Na busca pela melhoria de processos e procedimentos para a área de serviços e nas avaliações de novas tecnologias, é utilizada para prever os possíveis impactos econômicos e financeiros que possam ocorrer (LAW; KELTON, 2000; HARREL, 2002). Basicamente, a simulação é utilizada para análise de processos, fornecendo subsídios aos tomadores de decisões avaliarem os respectivos sistemas sob sua responsabilidade. Fowler e Rose (2004) citam como fatores que contribuem para a complexidade dos modernos sistemas de manufatura:

- a) diversidade de produtos que compartilham os mesmos recursos ou uma mesma linha de produção;
- b) variedade de processos na produção;
- c) equipamentos que necessitam elevados níveis de manutenção preventiva.

Esta complexidade acaba exigindo o uso de modelos mais elaborados para avaliação do desempenho destes sistemas, sendo este um dos grandes desafios para a modelagem de sistemas de manufatura atuais.

Como exemplos de utilização da simulação em sistemas de manufatura, podem ser citados o trabalho de Iucksch (2005), onde é apresentada uma análise do processo produtivo da peça mais complexa de um sistema de produção de máquinas agrícolas, propondo alternativas para o processo de produção. Também, Castilho (2004) utiliza a simulação para análise do processo produtivo em um fábrica de papelão ondulado, identificando restrições de capacidade neste sistema e elaborando cenários para avaliações de oportunidades de melhorias. Já Costa (2002) apresenta uma modelagem e análise do processo produtivo, buscando melhorias em uma empresa de montagem de câmaras de bronzeamento. Williams (2005) apresenta um trabalho realizado com empresas fornecedoras de componentes automotivos, menores que as tradicionais montadoras, em colaboração com a Universidade de Michigan, introduzindo o uso da simulação discreta nestas empresas, na busca de cenários alternativos, antecipando os possíveis efeitos na produção causados por modificações nos processos.

Schappo (2006) utiliza a simulação, em conjunto com projeto experimental, na identificação de pontos de melhoria do fluxo da manufatura enxuta, apresentando a análise de um processo de montagem de compressores e as alternativas de *layout* celular, em diferentes cenários, mensurando quantitativamente as mudanças introduzidas no sistema em estudo, melhorando os indicadores de desempenho no processo fabril.

Para a área de prestação de serviços, Menezes (1998) desenvolve uma abordagem para divulgar a técnica de simulação nos Correios, demonstrando a potencialidade de emprego desta técnica em sistemas postais. Já Borba (1998) apresenta uma abordagem para inserção e aplicação da técnica de simulação como ferramenta de apoio à análise de decisão no setor hospitalar, analisando alternativas para uma situação específica no hospital, originando um novo serviço alternativo a partir do modelo desenvolvido.

No setor elétrico, Magro (2003) busca, com diferentes cenários e a utilização de ferramentas de análise de dados em conjunto com a simulação, analisar a influência das variações no número de equipes e seus respectivos tempos de atendimento a demanda de serviços, na busca de um equilíbrio entre esta demanda e a capacidade de execução.

Nandi e Rogers (2004) apresentam estudo na área de logística, para auxílio na escolha dos pedidos que devem ter prioridade de aceite, ou até mesmo, quais devem ser rejeitados, buscando um melhor atendimento aos clientes. Peixoto e Pinto (2006) apresentam uma contribuição no processo de tomada de decisão para quantificação de estoques em uma

empresa de trefilação de arames. Rodrigues (2003) apresentam uma abordagem para avaliação dos níveis de estoques e parque de tancagem em uma refinaria de petróleo, avaliando as políticas e capacidades de estocagem no parque produtivo, frente às variações de mercado, mudanças na produção e no mix de derivados, apresentando os resultados práticos obtidos no caso estudado. Cortés (2007) mostram as atividades logísticas no porto de Sevilha, buscando ações efetivas que melhorem tais atividade através da modelagem e teste de vários cenários. Schroer (2004) utiliza a simulação para avaliar o impacto dos conceitos de produção enxuta na produção, estoques em processo e utilização de operadores por estação, comparando balanceamento da linha de produção contra *takt-time* e produção puxada contra produção empurrada. Chwif, Paul e Barreto (2006) propõem uma técnica visando à redução da complexidade dos modelos de simulação de eventos discretos, uma vez que a velocidade na tomada de decisões hoje em dia faz diferença.

2.4 Métodos para Desenvolvimento de Simulações

Para garantir que uma simulação computacional seja bem executada, é necessário que as tarefas executadas sejam conduzidas de uma forma estruturada para que os objetivos propostos sejam alcançados. Assim, diferentes autores definiram métodos seqüenciais que auxiliam na condução de projetos de simulação computacional. Aqui são apresentados os métodos desenvolvidos por Law e Kelton (2000) e por Banks (1996) que serviram como referência para a condução deste estudo por serem os métodos mais utilizados atualmente em estudos de simulação. Nota-se que há uma similaridade entre os métodos.

2.4.1 Método proposto por Law e Kelton (2000)

Na Figura 3, são mostrados os passos que irão compor um típico estudo de simulação, de acordo com Law e Kelton (2000). Os passos serão revisados detalhadamente nos tópicos a seguir.

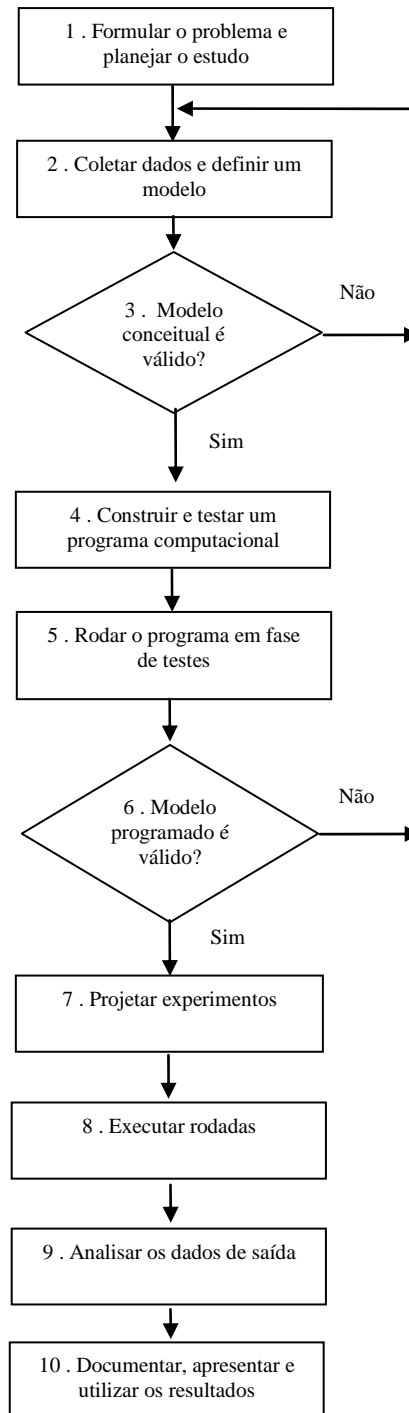


Figura 3: Passos para um estudo de simulação.
Fonte: Law e Kelton (2000).

2.4.1.1 Formular o problema e planejar o estudo

O problema de interesse é definido pela equipe que o analisará, em uma ou mais reuniões iniciais, composta pelo gerente de projeto, os analistas de simulação e especialistas no assunto em questão, onde serão discutidos assuntos pertinentes aos objetivos gerais do estudo, quais as questões específicas a serem respondidas pelo estudo, que medidas de desempenho serão usadas na avaliação de eficácia ou diferentes configurações do sistema, escopo do modelo, quais configurações a serem modeladas, qual *software* será utilizado e também, o cronograma para o estudo e recursos necessários.

Castilho (2004) inicia seu trabalho a partir de encontros com a área de coordenação da produção, apresentando o estudo a ser desenvolvido e, em conjunto, definindo o processo de produção mais adequado para aplicação deste estudo. A equipe de trabalho desenvolvida foi formada por funcionários com bastante conhecimento no processo escolhido, como o responsável pela programação de produção e os líderes da produção.

Borba (1998) introduz a ferramenta de simulação e seus principais conceitos para um grupo de pessoas de vários setores de um hospital, como informática, administração, recursos humanos e direção, com o objetivo de identificar pessoas aptas a disseminar os conceitos e aplicações. Então, em nova reunião, há a definição do setor onde o trabalho foi desenvolvido, o objetivo do estudo e a criação de um método padrão de modelagem que pudesse ser utilizado nos demais setores do hospital.

2.4.1.2 Coletar dados e definir um modelo

Na etapa de coleta das informações do sistema e procedimentos operacionais, deve-se atentar para possíveis dificuldades, tais como, não existirem pessoas ou documentos suficientes, os dados fornecidos podem não ser confiáveis, alguns procedimentos operacionais podem não estar formalizados, além da necessidade de se ter certeza na identificação dos especialistas no assunto. Deverão ser coletados dados, quando possível, para especificar parâmetros do modelo e distribuições de probabilidade de entrada. O nível do detalhamento do modelo

dependerá dos objetivos do projeto, das medidas de desempenho, da disponibilidade de dados, das restrições computacionais, das opiniões dos especialistas e restrições de tempo e dinheiro.

A divergência nos dados disponibilizados por setores distintos, como o comercial e a produção, gerando a necessidade de confronto destes dados, geralmente obriga a um levantamento e tabulação a partir de observações e monitoramento da equipe responsável pela modelagem do sistema, como é visto em Costa (2002). Ribeiro (2003) mostra que esta etapa pode ser complexa devido à dificuldade na extração da informação necessária, além do problema de processamento de um grande volume de dados disponibilizados, oriundos de mais de uma fonte. Sendo assim, há a necessidade de tomar a decisão de quais dados devem ser utilizados.

Conforme Carson (2005), após a coleta dos dados, pode ser necessário um maior esforço para validar e limpar estes dados, mesmo que sejam disponibilizados a partir de uma base de dados do cliente. Geralmente uma rápida auditoria ou um teste simples podem confirmar uma baixa qualidade nos dados disponibilizados. Quando os dados do processo analisado apresentarem variabilidade para a qual a causa imediata não é evidente, normalmente modela-se a duração da atividade por uma distribuição estatística (CARSON, 2005). Algumas vezes pode-se utilizar uma distribuição empírica, e em outros casos, pode-se utilizar um pacote estatístico para encontrar a melhor distribuição que se ajuste aos dados disponíveis.

Define-se distribuição de probabilidade como um conjunto de valores ou medidas que relaciona a frequência relativa com a qual um evento ocorra ou venha a ocorrer. Em geral, qualquer processo que repetidamente produza saídas com algum tipo de variação a cada iteração pode ser representado por uma distribuição de probabilidade (HARREL, 2002). Modelos de simulação estocásticos utilizam distribuições de probabilidade. Pode-se citar como exemplos de distribuições de probabilidade na simulação aplicada a manufatura o tempo entre falhas de um equipamento, os tempos necessários para o reparo de equipamentos ou tempo de chegadas entre lotes de material em um sistema.

As distribuições também podem ser classificadas em distribuições discretas ou contínuas, sendo que, as discretas possuem um número finito de possíveis valores para a variável de entrada, ao passo que, as contínuas contêm um número infinito para os possíveis valores de entrada. São úteis na simulação, pois ajudam a nivelar possíveis irregularidades que possam existir nos dados coletados devido a perdas ou falta de valores ou garantindo a ocorrência de valores extremos, ditos das ocorrências nas caudas da distribuição, que possam ter sido

desconsiderados em uma coleta em um curto intervalo de tempo. Hoje em dia, há a facilidade de utilização de *softwares* específicos que ajustam os dados disponíveis em um estudo de simulação às distribuições mais apropriadas. Para dados que não se ajustem à nenhuma distribuição de probabilidade, há a possibilidade de se criarem distribuições próprias, chamadas de distribuições empíricas.

2.4.1.3 Validar o modelo conceitual

Realizar uma demonstração estruturada do modelo conceitual, utilizando as suposições propostas, antes de uma audiência com os gerentes, analistas e especialistas ajuda a assegurar que as suposições do modelo estejam corretas e completas.

Formas encontradas na literatura para esta etapa, como visto em Pecker (2003), que busca a validação em teorias desenvolvidas pela área específica de tráfegos, além de comparar os valores segundo as normas e metodologias internacionalmente conhecidas para avaliar o nível de serviço das rodovias. Sargent (2005) apresenta a teoria construída ao longo dos anos, em simulação, com explicações da abordagem básica, paradigmas, técnicas de validação para modelos conceituais e validade de dados. Esta etapa é fundamental para dar credibilidade ao trabalho desenvolvido, uma vez que a partir desta validação partir-se-á para a construção do programa computacional.

2.4.1.4 Construir e testar um programa computacional

Normalmente, inicia-se a modelagem como uma abstração conceitual do sistema, com o aumento gradativo de detalhes, à medida que esta é desenvolvida. Com a definição dos relacionamentos entre os eventos e seus respectivos processamentos, o modelo conceitual tornar-se-á um modelo lógico. Novamente é necessário que os usuários finais do modelo interajam regularmente nesta etapa, pois ajudará na garantia de que o modelo permaneça verdadeiro para a intenção do projeto, aumentando a credibilidade em futuras implementações

ou melhorias sugeridas. (HARREL, 2002).

Deve-se programar o modelo em uma linguagem de programação, por exemplo, C ou FORTRAN, ou em um *software* de simulação como Arena, Promodel ou Witness. As vantagens da utilização de uma linguagem de programação são que estas, geralmente, são conhecidas, além do baixo custo de aquisição, podendo resultar em um tempo menor na execução do modelo. Por outro lado, o uso dos *softwares* de simulação reduz o tempo de programação e resulta em um baixo custo de projeto.

2.4.1.5 Rodar programa em fase de testes

Rodar o programa em fase de teste para propósitos de validação deste. O programa de teste pode ser comparado a um esboço, uma versão prévia da modelagem proposta, para verificação de erros na modelagem ou falta de aderência com o sistema real. Pode-se efetuar a monitoração nas operações do programa, além de uma depuração, em busca de possíveis erros, para assegurar que o modelo reflita a intenção da equipe que o modelou de maneira mais acurada.

2.4.1.6 Validar o modelo programado

Existindo um sistema real, devem-se comparar as medidas de desempenho do modelo com as medidas de desempenho do sistema. Não obstante, os analistas de simulação e os especialistas podem revisar os resultados do modelo para correções. Pode-se usar a análise de sensibilidade para determinar quais fatores do modelo tem um impacto significativo nas medidas de desempenho e assim, poderem ser cuidadosamente modelados.

2.4.1.7 Projetar experimentos

O propósito desta fase é atingir os objetivos iniciais do estudo, tais como: avaliar e comparar o desempenho do sistema, conhecer mais profundamente o comportamento do sistema e, em particular, qualquer problema ou gargalo identificado pela análise (CARSON, 2005). Já Law e Kelton (2000) definem esta como sendo uma etapa para especificar cada configuração do sistema de interesse, a duração de cada execução do programa, a duração do período de *warm-up*, se este for apropriado e o número de execuções independentes de simulação, utilizando-se diferentes números aleatórios com o intuito de facilitar a construção de intervalos de confiança. Exemplos desta etapa podem ser vistos nos estudos de Menezes (1998), que executa as replicações no modelo proposto, com o intuito de verificar o comportamento da resposta do sistema, frente às variações dos fatores relevantes. Houve ainda a preocupação com a variabilidade do sistema, realizando-se um total de cem replicações para cada experimento na tentativa de capturar tais variabilidades. Já Ribeiro (2003) utiliza um modelo padrão desenvolvido, utilizando a variável correspondente ao tempo de permanência na posição de pouso ou decolagem, para determinar um número suficiente de replicações em sua simulação para obter a consistência estatística dos resultados apresentados.

2.4.1.8 Executar rodadas do programa

Executar rodadas do programa para coletar os dados do sistema de interesse. Uma vez que a simulação apóia-se em interações numéricas para solucionar os problemas estudados, é necessário que um número de rodadas suficientes sejam realizadas. Percebe-se que o número de rodadas suficientes foi realizado quando os resultados do sistema tendem a uma estabilização.

2.4.1.9 Analisar os dados de saída

Os dois maiores objetivos deste passo são determinar o desempenho absoluto de certas configurações do sistema e comparar configurações alternativas do sistema em um sentido relativo. Toda a informação disponibilizada pela simulação deve ser analisada, uma vez que a tomada de decisão precisará desta análise. Conforme Banks (1998), a análise dos dados de saída inicia com a escolha de medidas de desempenho para que se tenha uma forma de comparar a simulação com o que acontece no sistema real. Como exemplo, encontra-se na literatura o trabalho de Costa (2002), que apresenta uma profunda análise em seu trabalho proposto, de todo o processo modelado, utilizando vários recursos disponibilizados pelo *software* ProModel, que foi utilizado em seu estudo. Também, Cortés (2007) concluem, a partir da análise de dados dos resultados da simulação, que o porto de Sevilha está apto para atender a demanda do fluxo logístico atual, com exceção a dificuldades temporárias para tráfego de contêineres. Sim (2004) propõem quatro alternativas para melhorias no desempenho do sistema estudado, além de apresentar as respectivas eficiências destas, baseados na análise dos resultados da simulação.

2.4.1.10 Documentar, apresentar e utilizar os resultados

Documentar as suposições propostas, a programação computacional e os resultados do estudo, para uso no projeto corrente e em futuros projetos. Ao apresentar o resultado do estudo, pode-se utilizar animação para expor o modelo aos gerentes e outras pessoas que não estejam familiarizadas com todos os detalhes do modelo, para discutir a construção do modelo e o processo de validação, promovendo credibilidade. Os resultados expostos serão utilizados em processos de tomada de decisão quando válidos e confiáveis. Também poderão auxiliar na manutenção futura da ferramenta no ambiente da empresa, reforçando a utilidade da técnica.

2.4.2 Método Proposto por Banks (1996)

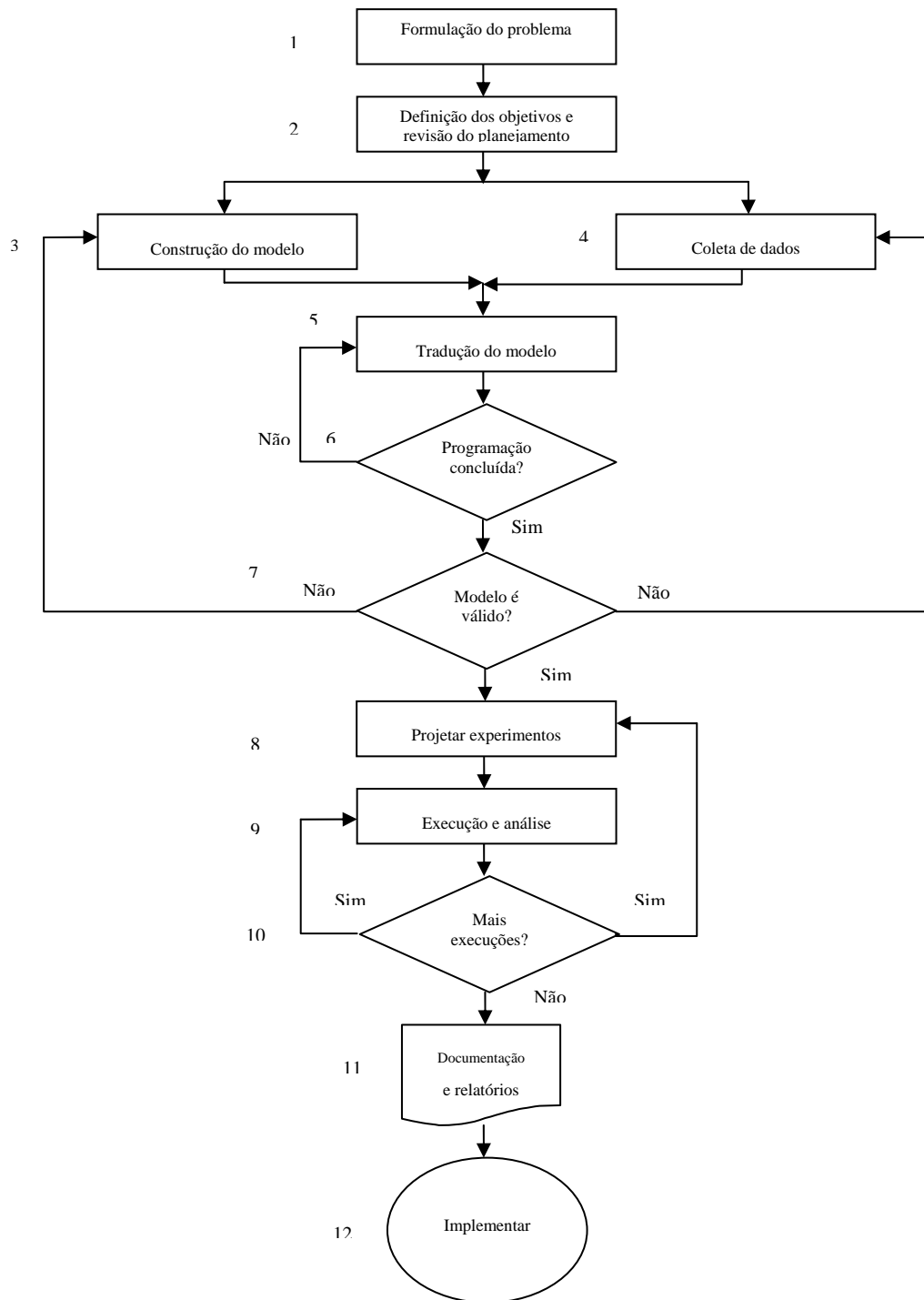


Figura 4 – Passos para um estudo de simulação.

Fonte: Banks (1998).

Banks (1998) também define um seqüenciamento estruturado de passos a serem executados para desenvolvimento de um estudo de simulação, com similaridade encontrada no estudo apresentado em Law e Kelton (2000). Este seqüenciamento consiste em doze passos, que podem ser visualizados na Figura 4.

2.4.2.1 Formulação do problema

Todo estudo de simulação inicia a partir da identificação de algum problema que deva ser solucionado. Deve-se analisar este problema com cuidado, para que seja bem compreendido. A interpretação do problema, proposta pelo analista de simulação, deve ser apresentada ao cliente solicitante para que este entenda a formulação sugerida e concorde com a mesma. Mesmo tendo-se a preocupação de uma boa compreensão do sistema, pode ser necessária uma reformulação da proposta inicial ao longo do desenvolvimento do estudo de simulação.

2.4.2.2 Definição dos objetivos e revisão do planejamento

A partir de objetivos bem definidos são respondidas as questões inicialmente propostas na formulação do problema. Neste planejamento podem ser definidos cenários alternativos a serem investigados. Também são indicados o tempo necessário para o desenvolvimento do estudo, quais pessoas estarão envolvidas na execução do estudo, programas e equipamentos necessários para executar a simulação computacional e posterior análise dos resultados.

2.4.2.3 Construção do modelo

Deve-se desenvolver um modelo conceitual, baseado em relações lógicas e matemáticas pertinentes à estrutura do sistema e seus componentes, a partir do modelo real observado. Recomenda-se iniciar esta modelagem de forma simplificada, incrementando-se o nível de

complexidade de forma gradual, à medida que o modelo for sendo desenvolvido. Por exemplo, em uma simulação para manufatura, pode-se começar com um modelo conceitual onde sejam levadas em conta, apenas as chegadas de materiais, filas e processos. Uma melhoria neste modelo seria o acréscimo de possíveis falhas na entrega e horários de turnos de trabalho. Então, num próximo passo, podem-se acrescentar deslocamentos efetuados pelos funcionários ao executar sua respectiva tarefa. O cliente deverá acompanhar todas estas modificações graduais, para que tenha uma melhor compreensão do modelo conceitual proposto e aumente a confiança nos resultados que serão apresentados.

2.4.2.4 Coleta de dados

Logo após a aceitação do modelo conceitual, deve-se solicitar um agendamento para levantamento dos dados necessários ao desenvolvimento da simulação. Na melhor das hipóteses, o cliente deverá ter estes dados disponíveis, podendo enviá-los em um formato eletrônico ao analista da simulação. Porém, na maior parte dos casos, tais dados podem estar disponíveis de maneira diferente da necessidade que se tenha, como no caso de necessidade de medidas individuais para tempos de execução e os dados oferecidos são apenas médias destes tempos. Como visto na Figura 4, a atividade de coleta de dados pode ser feita simultaneamente com a construção do modelo conceitual.

2.4.2.5 Tradução do modelo

O modelo conceitual definido no passo 2.4.2.3 (construção do modelo) é transformado para um formato de modelo operacional que possa ser interpretado pelo computador. Isso requer a escolha de um *software* e a tradução para a linguagem deste *software*.

2.4.2.6 Programação concluída?

Deve-se verificar se o modelo computacional está funcionando de forma correta, pois mesmo em modelos pequenos existe a possibilidade de dificuldades nesta verificação. Esta verificação será um processo que ocorrerá interativamente e continuamente ao longo da simulação. Sugere-se que o analista de simulação aguarde até que o modelo esteja completo para, só então, iniciar a verificação do código de programação.

2.4.2.7 Modelo é válido?

A validação é a determinação de que o modelo conceitual represente de maneira satisfatória o sistema real observado. Ou seja, o modelo proposto poderá substituir o sistema real em um propósito de experimentações. Infelizmente, haverá casos onde não existe um sistema para referência ou comparações.

2.4.2.8 Projetar experimentos

Devem ser planejados, com o auxílio de projetos de experimentos, os cenários a serem experimentados. Para cada cenário a ser simulado, será necessário definir a duração de execução de cada simulação, o número de vezes que a mesma deverá ser executada, ou seja, quantas replicações serão realizadas e como deverão ser inicializadas cada uma destas replicações.

2.4.2.9 Execução e análise

Execuções do programa computacional, com posterior análise dos resultados apresentados serão utilizadas na estima de medidas de desempenho para os cenários simulados.

2.4.2.10 Mais execuções?

Baseando-se nas execuções e suas respectivas análises, o analista da simulação irá determinar a necessidade de novas execuções e se haverá necessidade de algum cenário adicional ser incluído em uma nova execução.

2.4.2.11 Documentação e relatórios

A facilidade na compreensão do funcionamento do modelo para estudos desenvolvidos por uma equipe de analistas é uma das razões para documentar o estudo de simulação. Modificações efetuadas no modelo conceitual e no computacional serão mais bem administradas com uma documentação que registre de maneira prática tais alterações. Uma boa documentação do estudo trará uma confiabilidade maior à simulação, de forma que o cliente poderá tomar decisões baseadas nas análises efetuadas. Revisando uma formulação final, as alternativas propostas, os critérios utilizados na comparação entre os modelos, os resultados dos experimentos e possíveis recomendações, quando existirem.

2.4.2.12 Implementação

O papel do analista da simulação pode ser tanto de ‘repórter’, quanto de ‘advogado’. A tomada de decisão do cliente estará baseada nas informações adicionais que poderão estar nos

relatórios elaborados descritos no item 2.4.2.11 (documentação e relatórios). Se o cliente estiver envolvido no estudo da simulação desde o início e tiver acompanhado cada uma das doze etapas aqui descritas, sendo que estas tenham sido efetivamente seguidas pelo analista de simulação a tão esperada implementação com sucesso será atingida.

2.5 Aspectos a Serem Considerados na Simulação

A simulação não está livre de empecilhos. Pegden (1995) citam como algumas desvantagens a necessidade de treinamento para a criação dos modelos, a possível dificuldade na interpretação dos resultados, além da grande quantidade de tempo que pode ser requerida no processo de modelagem e análise dos dados.

Para o auxílio na decisão de quando um estudo de simulação é apropriado para uma situação específica, aconselha-se levar em conta todas estas vantagens e desvantagens. Para que determinados estudos de simulação possam obter resultados satisfatórios é necessário que o conjunto de objetivos seja bem definido no início do estudo, adequando-se os detalhes do modelo a um nível apropriado, evitando-se falhas na comunicação com a equipe ao longo do estudo, buscando que a gerência acompanhe a simulação, evitando tratá-la como se fosse simplesmente um exercício de programação computacional.

Banks (1999) relata que modelos de simulação podem ser uma excelente forma de treinar a equipe que estiver envolvida no estudo, quando desenvolvidos com este propósito. A equipe toda, e principalmente os componentes que a formam, podem aprender mais sobre as operações, a partir dos erros na modelagem, sendo uma forma mais barata que uma aprendizagem real. Também poder-se-ia citar que o conhecimento de uma metodologia estatística na equipe de modelagem, dados válidos e corretos, utilização de um *software* apropriado, utilização das distribuições de forma correta como parâmetros de entrada para a simulação, evitando tratar as estatísticas de saída como respostas verdadeiras ou utilizar medidas de desempenho erradas contribuirão para um bom desempenho do estudo de simulação.

Em Paul (2005) encontra-se um contraponto entre a perspectiva acadêmica e a perspectiva real da simulação, na busca pela resposta a seguinte questão: ‘ A missão crítica é resolver o

problema ou é resolver o modelo de simulação?'. Como devem ser considerados os problemas e os modelos em um estudo de simulação? Do ponto de vista de um analista de simulação a tendência é que o modelo seja mais importante que o problema. Mas e para o cliente que apresenta o problema a ser solucionado? Para ele importa apenas que seu problema seja resolvido, ou seja, a importância recai sobre o problema. No estudo de Paul (2005), é mostrado como os livros-texto abordam a questão da simulação, com seus métodos tradicionais, perfeitamente estruturados para proposição de modelos, e como os iniciantes na área tem determinadas dificuldades na adequação de modelos referentes aos sistemas reais, presentes no cotidiano das empresas. Também é feito um levantamento dos artigos de simulação de quatro importantes jornais de simulação no ano de 2004, finalizando com uma discussão dos editoriais destes mesmos jornais. Pode-se ver que modelagens mal-definidas, dados errados e com baixa acurácia, modelos conceituais e programas não-verificados ou validados, geram experimentos errados, que levam a uma posterior análise errada, concluindo com uma apresentação de resultados errados, que em nada auxiliariam na tomada de decisão, sem falar na perda de credibilidade pela equipe envolvida, nesta ferramenta.

Um bom modelo de simulação fornece não apenas medidas numéricas, mas garante uma melhor percepção de desempenho de um sistema. Esta percepção advém de um entendimento tácito do comportamento do sistema, que pode ser desenvolvido pelo uso inteligente dos recursos de animação e de experimentos válidos e bem determinados operando em conjunto com uma boa análise estatística. (CARSON, 2005).

3 ESTUDO DE CASO

A simulação é uma tentativa de reprodução do que acontece no mundo real, a partir da observação de um sistema. Para que esta tentativa seja o mais próximo possível da realidade, é necessário obter uma compreensão detalhada deste sistema, identificando as suas propriedades e características específicas.

Uma vez que este estudo trata de uma simulação, é compreensível que o fato de construir-se uma estrutura do modelo no computador é apenas uma parte do esforço de proporcionar uma ferramenta de real utilidade para uma tomada de decisão. Embora cada estudo de simulação seja único, a maneira mais indicada para se trabalhar é através do seqüenciamento dos passos a serem executados (LAW; KELTON, 2000; HARREL, 2002). O seqüenciamento aqui proposto é uma adaptação das recomendações dos autores Law e Kelton (2000). Esta adaptação foi feita para obter uma melhor aderência das etapas ao processo analisado.

Uma definição clara do que seria respondido a partir da simulação proposta e da forma em que os resultados apresentados contribuiriam para uma melhor compreensão do processo estudado, nortearam o desenvolvimento desta simulação. A seguir, apresentar-se-á a empresa na qual foi desenvolvido este estudo; na seqüência, apresentar-se-á o estudo em si, com os procedimentos metodológicos utilizados e seus respectivos desdobramentos.

3.1 A Empresa

A Rinaldi S.A. Indústria de Pneumáticos está localizada na cidade de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul e produz pneus destinados à aplicação em motocicletas, além de produzir as respectivas medidas de câmaras pneumáticas, também para motocicletas, atuando no mercado de reposição interno e externo. Emprega aproximadamente 500 funcionários e conta com especialistas para a programação de produção, pesquisa e desenvolvimento, qualidade e manutenção. As atividades administrativas e de coordenação são executadas por aproximadamente 50 funcionários. Dois diretores e seis gerentes de área (produção, centro de tecnologia, engenharia, comercial, suprimentos e recursos humanos) estão no comando geral

da fábrica, que funciona basicamente com três níveis hierárquicos: gerência, supervisão e operários. É uma empresa que opera há mais de trinta anos e tem seus produtos presentes em todo o território nacional, apresentando como principais mercados as regiões sudeste, sul, norte e nordeste, respectivamente. No mercado externo exporta para países latino-americanos, ibéricos e para os Estados Unidos.

Atualmente a empresa estudada apresenta níveis crescentes de demanda dos produtos fabricados, sendo que esta será a tendência para os próximos anos, baseados nas informações apresentadas pelo departamento comercial à direção, em especial no caso das câmaras pneumáticas. A sua alta administração definiu metas de médio prazo, projetando crescimento da produção desta linha de produtos, portanto, a empresa como um todo deverá adequar-se para que esta demanda projetada seja atendida plenamente, com otimização dos recursos necessários para a produção, uma vez que a competição neste mercado é cada vez maior, inclusive com ofertas de produtos importados, com preços atrativos e qualidade similar.

Cabe ressaltar que o analista de simulação, que desenvolveu esta dissertação, é o responsável pelo setor de Tecnologia da Informação (TI) da empresa, conhecedor do sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) atualmente utilizado na mesma. Também é o presidente da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA). Assim sendo, tem um contato direto com todos os setores da empresa, principalmente o de produção, facilitando o acesso às entrevistas com o pessoal operacional, que é um fator importante na etapa aquisição dos dados necessários ao estudo.

3.1.1 Processo produtivo

O planejamento da produção está baseado na previsão de demanda elaborada pelo departamento comercial em conjunto com a produção, repassado a cada final de mês, levando-se em conta as necessidades do mercado e a capacidade de atendimento, de acordo com as restrições de produção existentes. As medidas de câmaras com maior demanda são produzidas com base no cálculo executado pelo *software* de ERP Datasul EMS, usando-se como referência os volumes de produção históricos. O total do volume de produção mensal aproxima-se das 180.000 unidades, divididas entre aproximadamente 20 medidas distintas. Os

cálculos de capacidade de produção também são executados com o auxílio do *software* ERP. O planejamento pode sofrer determinados ajustes antes de ser homologado, ou ao longo do mês. Tais ajustes são negociados entre o departamento comercial e os planejadores da programação de produção. O processo produtivo inicia com a produção das massas aceleradas, que são compostas por uma mistura de borracha natural, borracha sintética, negro de fumo e outros ingredientes químicos. Esta mistura é o componente-base que posteriormente dará origem a itens intermediários denominados semi-acabados. Cada medida de câmara pneumática tem uma formulação própria, estruturada e dimensionada conforme sua utilização final, onde as massas aceleradas são específicas por medida.

O processo em análise foi observado a partir do aquecimento e homogeneização das massas aceleradas nos cilindros do equipamento que executa a extrusão da massa, transformando-a em um perfil de borracha, que posteriormente é cortado em tamanhos pré-determinados, de acordo com a sua respectiva especificação. Então, estas massas cortadas são armazenadas em carrinhos, durante um mínimo de duas horas, para que os seus componentes químicos estabilizem. Após este descanso obrigatório, as câmaras são emendadas, de forma manual ou com auxílio de máquinas emendadeiras, recebem as válvulas e são encaminhadas para a linha de vulcanização. Depois da vulcanização, são inspecionadas e embaladas. A Figura 5 mostra as etapas da linha de produção de câmaras pneumáticas, ou seja, desde o momento em que a massa é aquecida nos cilindros, extrudada e resfriada, cortada e furada, armazenada para descanso, passando pela emenda das câmaras extrudadas, colocação das válvulas, conformação e vulcanização, finalizando com a inspeção e embalagem.



Figura 5 – Etapas da Linha de Produção de Câmaras Pneumáticas.

Nas figuras 6 e 7 observam-se os cilindros 1 e 2, vistos de frente. Estes equipamentos aquecem e homogeneízam a massa acelerada, formando uma manta que é cortada em tiras de largura específica, sendo transportadas continuamente através de uma esteira para alimentar a extrusora.



Figura 6 – Vista Frontal do Cilindro 1.



Figura 7 – Vista Frontal do Cilindro 2.

A massa que vem pela esteira transportadora, alimentada pelo cilindro 2, é extrudada em um perfil (que é definido por uma matriz específica, de acordo com a medida da câmara), dando formato à câmara (como visto na Figura 8) sendo, após, marcada com a respectiva especificação da câmara e semana do ano em que é produzida. Depois é conduzida até a esteira de resfriamento, conforme Figura 9. A massa que não é aproveitada, pela perda no *setup* da máquina e excesso do processo de extrusão, volta para o cilindro 1 para ser trabalhada novamente.



Figura 8 – Extrusão da massa.



Figura 9 – Marcação da Câmara.

A Figura 10 mostra a esteira de resfriamento, responsável pela diminuição da temperatura da massa extrudada, realizado com água. Ao final desta esteira, a massa extrudada sofre um banho com talco, mostrado na Figura 11, para evitar que cole quando for armazenada.



Figura 10 – Esteira de Resfriamento.



Figura 11 – Banho de Talco.

Após esta etapa, há o corte, onde as massas são cortadas em tamanho específico, de acordo com a medida da câmara, e, após, é feito um furo para a posterior inserção da válvula, visualizados respectivamente nas figuras 12 e 13.



Figura 12 – Corte da massa.



Figura 13 – Furação.

Nesta última etapa da parte inicial da linha de produção de câmaras pneumáticas, as massas cortadas são armazenadas para descanso até estabilizarem, pois a massa sofre variações em suas propriedades químicas, visualizado na Figura 14.



Figura 14 – Armazenagem das Massas Cortadas.

O processo de fabricação das câmaras de ar continua com a emenda das câmaras, que é executada em duas linhas de produção. Em uma linha as emendas são feitas em equipamentos automáticos e na outra linha as emendas são realizadas manualmente por uma equipe de doze funcionários. As figuras 15 e 16 apresentam a linha que executa as emendas automatizadas.



Figura 15 – Emenda Automatizada.



Figura 16 – Emendadeira Automática.

Após a emenda, as câmaras são lixadas, colocando-se as válvulas, para depois serem novamente armazenadas, aguardando o processo de vulcanização.

Na etapa de vulcanização das câmaras, as câmaras são aquecidas em máquinas automáticas, onde, sob pressão, são conformadas em matrizes, de acordo com a medida a ser fabricada. As Figuras 17 e 18 apresentam duas vulcanizadoras utilizadas na linha de vulcanização, uma em posição fechada e outra em posição aberta.



Figura 17 – Vulcanizadora fechada.



Figura 18 – Vulcanizadora aberta.

Depois de vulcanizadas, as câmaras são transportadas por ganchos suspensos até o setor de inspeção e embalagem, onde é feita a análise e seleção dos produtos e são colocados os ventis. Então, passam por nova inspeção de qualidade e a câmara é embalada e armazenada, de acordo com a sua respectiva medida, para posterior expedição. A supervisão reporta à produção, através do computador, para o sistema ERP, atualizando os estoques disponíveis de cada medida de câmara. Na Figura 19 mostra-se a quantidade de operadores necessários para a produção de câmaras pneumáticas por turno de trabalho e os respectivos equipamentos necessários.

Quantidade	Descrição do Cargo	Equipamentos
02 (dois)	Operador de Cilindro	Cilindros / Esteiras de Transporte
01 (um)	Operador de Extrusora	Extrusora / Marcador das Câmaras
02 (dois)	Operadores de Ponta de Esteira	Esteira de Resfriamento / Faca e Furadeira / Carrinhos de Armazenagem
04 (quatro)	Emendador de Câmara	Emendadeiras Automáticas
12 (doze)	Emendador de Câmara	Linha de Emenda Manual
02 (dois)	Emendador de Câmara	Lixadeiras / Furadeiras / Prensa-Válvulas
03 (três)	Vulcanizador	Vulcanizadoras

Figura 19 : Operadores e Equipamentos Necessários na Linha de Produção de Câmaras.

3.2 A Simulação do Processo de Fabricação de Câmaras

Para avaliar o processo de introdução ao uso da simulação em uma empresa fabricante de câmaras pneumáticas, foram realizadas as primeiras cinco etapas do método proposto por Law e Kelton (2000), e, também, a etapa de documentação, conforme visto na Figura 20.

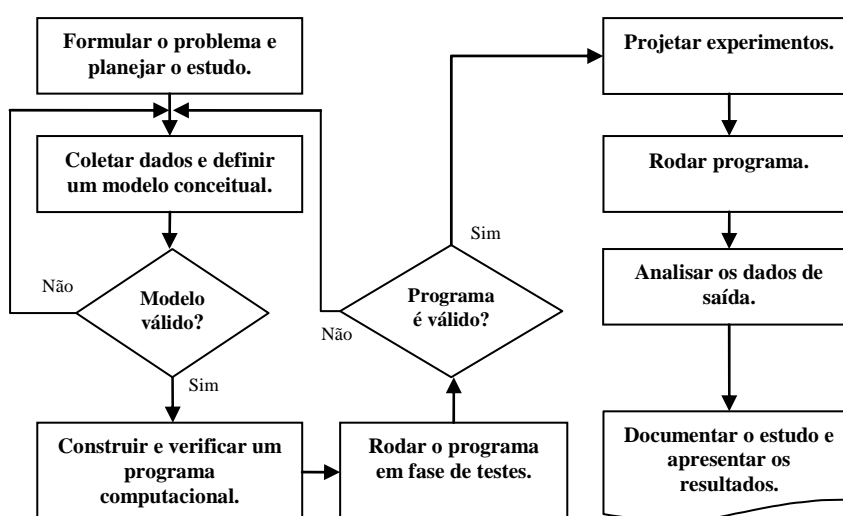


Figura 20 – Etapas do método de Law e Kelton (2000).
Fonte: Law e Kelton (2000).

A partir da definição da identificação das etapas necessárias a um estudo de simulação, buscou-se a execução destas etapas na empresa estudada, com posterior análise do processo de implantação destas.

Definindo-se o problema e esclarecendo os objetivos, foram tratadas a formulação e o planejamento do estudo, realizada a coleta de dados e o desenvolvimento do modelo propriamente dito, sua verificação e posterior validação. Então, houve a construção de um programa computacional, representando o modelo conceitual proposto. Após, houve a análise e comparação dos resultados apresentados por este programa com os dados históricos de produção do processo estudado. A documentação e apresentação dos resultados deste estudo estão contidas no capítulo 4.

3.2.1 Etapa 1 - Formulação do problema e planejamento do estudo

Sendo esta a etapa que inicia o desenvolvimento da modelagem e simulação do processo estudado (como visto na Figura 21), atentou-se para uma correta definição do que seria executado e dos objetivos propostos, explicitando-se prováveis simplificações baseadas na observação do processo real. A proposta estabelecida para a simulação do processo de produção de câmaras pneumáticas consistiu em auxiliar a compreensão do sistema real, em busca de possíveis pontos de melhoria neste processo, como diminuição do tempo de atravessamento, localização de gargalos e um melhor aproveitamento dos equipamentos utilizados. As questões que surgiram a partir deste objetivo conduziram à observação do processo real, sem simplificações, para que se pudesse elaborar uma proposta de modelo conceitual do processo.

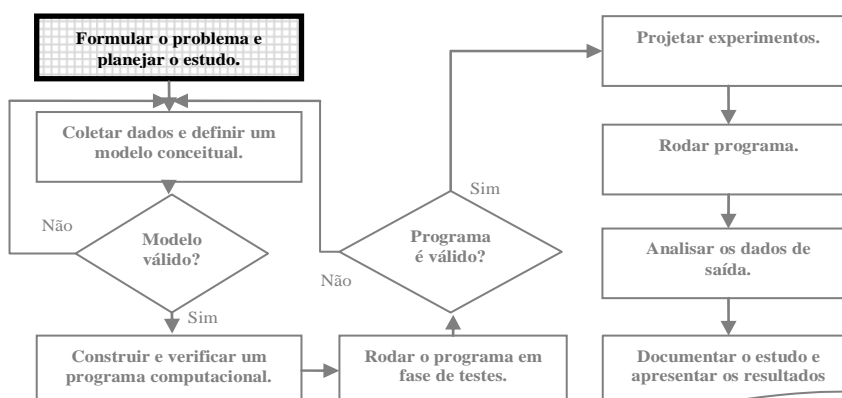


Figura 21 – Etapa 1 do método de Law e Kelton.
Fonte: Law e Kelton (2000).

A observação do sistema real e a opinião dos especialistas no processo estudado contribuíram para uma melhor definição e compreensão do problema. A experiência prática dos especialistas forneceu informações importantes que talvez uma base de dados histórica ou especificações de processo não revelassem. Houve a necessidade de criação de uma equipe de modelagem, composta pelo analista de simulação, os tomadores de decisão (gerentes de produção e desenvolvimento) e os especialistas no processo (supervisores da linha de

produção). Esta equipe definiu, concordou e compreendeu qual o objetivo da utilização da simulação e como esta ferramenta poderia auxiliar de forma concreta no processo produtivo.

A formulação inicial proposta foi revista e discutida por esta equipe, à medida que o estudo era desenvolvido, adequando-a aos objetivos iniciais propostos e ao problema relatado, que eram auxiliar na compreensão do sistema real, em busca de possíveis pontos de melhoria do processo. Estas revisões e discussões acabaram fornecendo informações que foram utilizadas no incremento do modelo inicial, originando um segundo modelo com maior nível de complexidade. Durante o planejamento do estudo definiu-se um método de avaliar o grau de aderência entre o modelo proposto e a realidade, baseado na quantidade de unidades produzidas pelo setor de fabricação de câmaras pneumáticas. Definiram-se as seguintes medidas: unidades de produto por tempo para cada uma das etapas, unidades de produto acabado ao final de todo o processo e percentual do tempo em atividade dos equipamentos, porque havia um histórico dos valores das quantidades de produto acabado, o que facilitaria a etapa de validação do modelo.

A definição na formulação do problema, mesmo sofrendo alguma revisão ou alteração durante o desenvolvimento do estudo, facilitou as próximas etapas do estudo, permitindo manter a coerência do que estava sendo proposto. Os problemas de modelagem e simulação computacional admitem mais de uma possibilidade de formulação, devendo-se adaptar cada caso especificamente ao método que apresente uma melhor aderência ao problema definido. A Figura 22 apresenta uma síntese dos elementos teóricos comparativamente com a aplicação prática na empresa em estudo.

Formulação do Problema e Planejamento do Estudo	
Elementos Teóricos	Aplicação Prática na Empresa
➤ Formular o problema.	✓ Desenvolver uma simulação que represente o sistema de produção de câmaras pneumáticas para motocicletas.
➤ Definir os objetivos.	✓ Busca de melhorias no sistema observado como: diminuição do tempo de atravessamento, localização de gargalos e melhor aproveitamento dos equipamentos.
➤ Definir recursos, prazos e custos.	✓ Definição de uma equipe responsável pela condução do estudo.

Figura 22 – Formulação do Problema e Planejamento do Estudo: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

3.2.2 Etapa 2 - Coleta de dados e definição de um modelo

A partir da observação e da compreensão do processo produtivo das câmaras pneumáticas e suas respectivas etapas de produção, buscou-se a construção de um modelo simplificado. A Figura 23 apresenta a respectiva etapa. Os especialistas no processo tiveram um papel importante, uma vez que, estando diariamente no chão-de-fábrica tinham melhores condições de apontar os principais problemas do sistema observado e suas possíveis soluções. Foi importante que suas opiniões fossem levadas em conta, para que a equipe tivesse a credibilidade necessária no trabalho desenvolvido, pois se tratava da implementação de uma nova técnica na empresa.

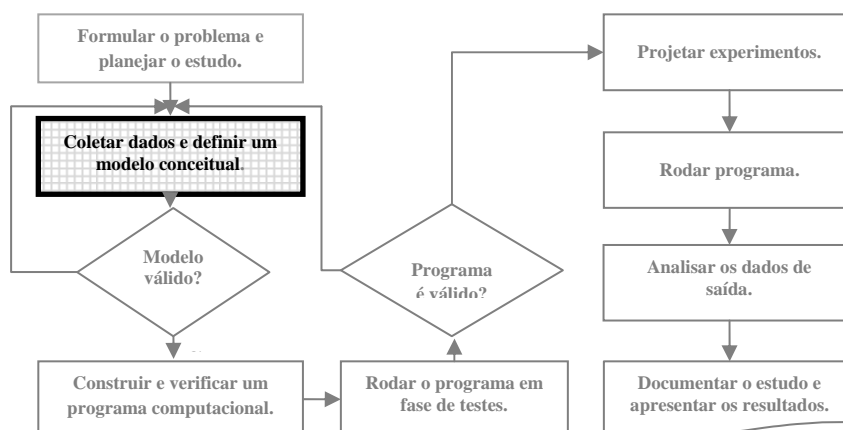


Figura 23 – Etapa 2 do Método de Law e Kelton
Fonte: Law e Kelton (2000).

Durante a definição do modelo conceitual, surgiram questões específicas pertinentes ao caso, tais como:

a) *que tipo de informação esperava-se do modelo proposto?* O modelo em questão deveria simular o processo de produção real observado, com suas respectivas etapas, de uma maneira simplificada. O resultado apresentado por esta simulação seria comparado com dados históricos do departamento comercial, com a intenção de validação. A simulação deste sistema real auxiliaria na detecção de possíveis melhorias ou de pontos que poderiam ser gargalos no sistema.

b) *o modelo estava baseado em algum processo já existente?* Sim, estava baseado no processo de produção de câmaras pneumáticas, relatado anteriormente, desde a etapa da extrusão até a etapa de vulcanização.

c) *os dados de entrada estariam acessíveis de alguma forma? E em que quantidade?* Dados de produção, de vendas e paradas de máquina foram disponibilizados com auxílio de relatórios do sistema ERP da empresa. Dados técnicos de controle e medição dos equipamentos, tais como comprimento, peso e medida dos itens, tempo de operação dos equipamentos e pressão de vulcanização foram pesquisados nas especificações definidas pelo departamento técnico de engenharia de produtos. Os dados de tempo de execução de tarefas tiveram que ser medidos e tabulados pelo analista da simulação, acompanhado por algum especialista do processo, em diferentes momentos de tempo, para que a estocasticidade natural do processo pudesse ser incorporada na modelagem.

d) *qual a importância desta simulação?* Sua importância estava relacionada com o processo de introdução ao uso da simulação na empresa. A observação e análise do modo como cada etapa do método proposto seria executada na prática, a observação dos impactos de introdução de uma nova técnica sobre as pessoas envolvidas no processo e a aderência à cultura da empresa. Outro aspecto cuja importância foi identificada diz respeito ao aprendizado sobre o processo decorrente do esforço de modelagem, pois a partir da necessidade de se explicitarem os modelos mentais, surgiram as diferenças entre as pessoas, provocando as discussões e a busca pelo consenso. A partir desta definição, foram especificados, de forma mais detalhada, os elementos a serem abordados pela modelagem proposta. Estas especificações auxiliaram na detecção das expectativas do que deveria estar contido na simulação, tais como: nível de detalhamento utilizado, quanto do processo real estaria sendo modelado, qual o grau de exatidão das informações tratadas, formas de apresentação dos resultados e propostas para soluções alternativas ao que foi modelado.

Law e Kelton (2000) orientam que não há necessidade de se iniciar a modelagem com um detalhamento excessivo. Assim, a proposta inicial foi de um modelo simplificado que representasse o sistema real observado, da etapa de extrusão até a etapa de vulcanização apenas. Neste modelo inicial, chamado de modelo conceitual 1, as etapas de inspeção e embalagem que ocorrem no sistema real, foram desconsideradas, pois se entendeu que estas etapas não influenciariam na medida de avaliação de desempenho definida na formulação do problema e planejamento do estudo, que era a quantidade de unidades produzidas pelo setor.

Cabe lembrar que a explicitação das simplificações é importante para a continuidade do processo de simulação, especialmente para a avaliação de necessidade de maiores detalhamentos. O modelo conceitual 1 teve que ser explícito com respeito à identificação de novos detalhes a serem incluídos. O agrupamento de algumas atividades em série observadas diminuiu a quantidade de elementos na modelagem. Atividades executadas em série foram vistas como uma única atividade, com tempo de execução igual ao somatório dos tempos necessários para execução das respectivas atividades. Assim sendo, definiu-se que o modelo conceitual inicial teria três etapas sequenciais. A primeira etapa do modelo seria denominada *Extrusão* e representaria as etapas de extrusão, corte e furação e descanso do sistema real. A segunda etapa foi denominada *Emenda*, sendo a representação conceitual das etapas de emenda automática e da colocação de válvulas. *Vulcanização* foi o nome dado à terceira etapa do modelo conceitual 1, que representava as etapas de conformação e vulcanização do sistema real. Na Figura 24 é apresentada a representação gráfica do modelo conceitual 1.

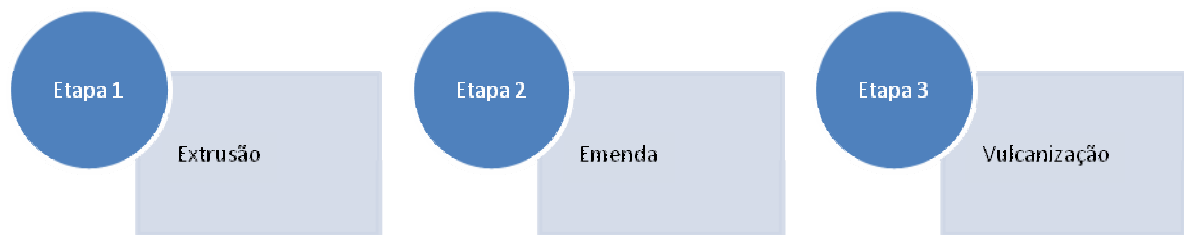


Figura 24 – Representação Gráfica do Modelo Conceitual 1.

A observação do sistema real, além de discussões com especialistas no processo, auxiliou na validação inicial das considerações e simplificações. As informações coletadas foram armazenadas em forma de listagens, diagramas e tabelas para facilitar a posterior análise. Além disso, formatadas desta maneira, contribuíram com agilidade e flexibilidade na implementação das modificações e realimentações do modelo conceitual 1. Todas as informações também foram armazenadas em seu formato original, como relatórios disponibilizados pelo sistema, planilhas tabulando medições de tempo de execução, tabelas com especificações técnicas de equipamentos. Como a empresa reserva-se o direito de não divulgação de seus processos de produção, algumas destas informações aparecerão modificadas de modo a manter-se o sigilo. A partir da observação do processo produtivo ao longo de um mês, foram levantados dados dos procedimentos executados na linha de produção, tais como tempo de *setup* na regulagem da extrusora, *lead-time* nas esteiras de

resfriamento e emendas automatizadas, tempo de corte e furação das massas, quantidade de funcionários por linha, horários e turnos de trabalho disponíveis e paradas de máquinas para manutenção. Já para os tempos de vulcanização e manutenção foram aproveitados os dados técnicos disponibilizados pelos responsáveis. No modelo conceitual 1 foram utilizados dados determinísticos para o tempo de execução das tarefas, a frequência de chegadas e a quantidade de material na etapa da extrusão, mantendo-se a idéia de simplicidade. A realimentação do modelo inicial 1 levou a novas análises dos dados disponibilizados, promovendo-se ajustes e melhorias nos dados de produção, como por exemplo, a consideração de variabilidade que ocorre no sistema real para definição de quantidade do material na etapa de extrusão.

Como recomendado em Law e Kelton (2000), há a necessidade de especificar as distribuições de probabilidade para as variáveis aleatórias de entrada. Neste caso, as variáveis foram o intervalo entre chegadas de lotes de materiais semi-acabados e tamanhos dos lotes a serem entregues, que foram baseados nos históricos de produção de janeiro de 2007 até julho de 2008. Com auxílio da ferramenta estatística de ajuste disponível como uma das funcionalidades do *software* de simulação utilizado, definiram-se distribuições de probabilidade que descrevessem o comportamento das variáveis estudadas, tais como, tempo entre as chegadas de material na etapa de extrusão e tamanho dos lotes de produtos a serem fabricados. A Figura 25 apresenta a síntese dos elementos teóricos comparativamente com a aplicação prática na empresa em estudo.

Coleta de Dados e Definição do Modelo Conceitual 1	
Elementos Teóricos	Aplicação Prática na Empresa
➤ Modelo Conceitual 1.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agrupamento das atividades do sistema real em três etapas (extrusão, emenda e vulcanização). ✓ Foram desconsiderados tempos de <i>setup</i>, quebra de equipamentos, refugos. ✓ Dados de entrada determinísticos para frequência de chegada e tamanho de lotes.
➤ Coleta de informações e dados do sistema de interesse.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Lead-time</i> das etapas, <i>setup</i> equipamentos, turnos disponíveis, tempo de execução de tarefas, manutenção dos equipamentos.
➤ Especificar procedimentos operacionais.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observação do sistema real, busca de informações e parâmetros de cada procedimento operacional, como tempo de vulcanização, tempo médio de atravessamento em cada etapa. ✓ Entrevistas e discussões com especialistas no processo. ✓ Registros históricos.

<p>➤ Utilização de distribuições de probabilidade.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inicialmente foram utilizados valores determinísticos para manter um maior acompanhamento da aderência do modelo à realidade. ✓ Após a realimentação do modelo, foi necessário auxílio de ferramenta específica para ajustar dados coletados em respectivas distribuições de probabilidade que melhor os representassem.
--	---

Figura 25 – Coleta de Dados e definição de um Modelo: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

3.2.3 Etapa 3 - Validação do modelo proposto

A existência de um processo real semelhante, o conhecimento prático dos especialistas no processo estudado, a existência de dados históricos de um período de janeiro de 2007 até julho de 2008 e a observação e medição de tempos do sistema real contribuíram com o processo de validação deste estudo, uma vez que os resultados foram comparados a valores já conhecidos. A Figura 26 apresenta a etapa 3 do método proposto por Law e Kelton (2000).

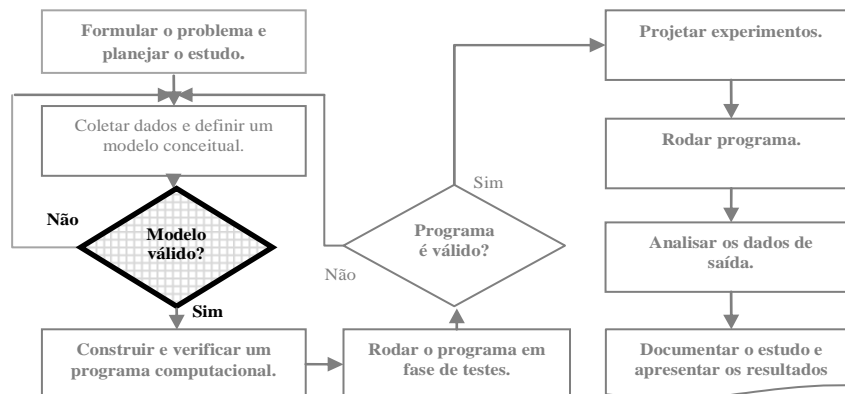


Figura 26 – Etapa 3 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

A facilidade na aquisição e coleta dos dados, bem como a disponibilidade dos mesmos, contribuiu de forma decisiva para a escolha da técnica de comparação para alcançar a validação. Neste caso, a aquisição dos dados foi facilitada, pois o analista de simulação

também era o responsável pelo setor de T.I. da empresa. O modelo conceitual 1 tratou da quantidade de câmaras produzidas do item mais representativo para o setor comercial, em termos de vendas, durante um turno de produção. Inicialmente definiu-se a quantidade de produtos prontos, no caso, câmaras vulcanizadas por hora como uma métrica de controle. As quantidades de saída de cada etapa do modelo foram observadas e avaliadas pela equipe de modelagem em relação às quantidades usuais da produção. Definiu-se que a forma de validar os dados apresentados pela simulação utilizaria, também, os dados históricos do departamento comercial dos produtos faturados aos clientes, no período de janeiro de 2008 até julho de 2008. A equipe responsável pela validação do modelo conceitual 1 confirmou que o mesmo representava de forma coerente o processo real de produção.

Foram considerados como produtos faturados somente aqueles efetivamente entregues ao cliente. Os clientes solicitaram ao departamento comercial pedidos de compra de câmaras pneumáticas, a produção planejava e fabricava os produtos contidos nestes pedidos, era emitida uma nota fiscal de saída dos produtos solicitados e as respectivas quantidades contidas nesta nota fiscal eram carregadas pela expedição da empresa, sendo posteriormente entregues aos respectivos clientes. As realimentações do modelo conceitual 1, que geraram um novo modelo, denominado modelo conceitual 2, também necessitaram de suas respectivas validações. Isso ocorria na medida em que se incorporavam as novas suposições ou alterações, como aumento no número de itens produzidos, de equipamentos disponíveis, de novas tarefas, inclusão de distribuições de probabilidade nas frequências de chegada de material e de tamanho dos lotes de chegada. A figura 27 apresenta a comparação entre elementos teóricos e a aplicação prática.

Validação do Modelo Conceitual 1	
Elementos Teóricos	Aplicação Prática na Empresa
➤ Realizar durante todo estudo.	✓ Foram realizadas validações do modelo conceitual 1 até o modelo conceitual 2, com um incremento significativo de detalhes e modificações nas suposições.
➤ Envolver pessoas familiarizadas com sistema real.	✓ A opinião dos especialistas no processo sempre foi considerada, até que se chegasse na melhor proposição de um modelo que solucionasse o problema inicial.
➤ Utilizar informações já existentes.	✓ Dados históricos para um período de meio ano dos produtos faturados do departamento comercial, da produção e da manutenção balizaram os resultados apresentados pela modelagem proposta.

Figura 27 – Validação do Modelo Proposto: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

3.2.4 Etapa 4 - Construção e execução de um programa computacional do modelo proposto

A Figura 28 apresenta a etapa 4 do método proposto por Law e Kelton (2000). Com o modelo proposto sendo validado, passou-se para a etapa de transformar o que foi observado para uma linguagem computacional capaz de reproduzir o processo real. A facilidade na montagem e alteração das configurações e da modelagem do sistema real, definida por Law e Kelton (2000) como flexibilidade, foi considerada para a escolha do *software*. O apelo visual do *software* ProModel, também facilitou a compreensão dos demais membros da equipe de modelagem, pois no caso, nenhum dos outros componentes, além do analista de simulação, tivera contato com esta ferramenta de simulação. Foi feita a transcrição do processo de produção (sistema real) para a linguagem computacional (sistema proposto) do *software* ProModel.

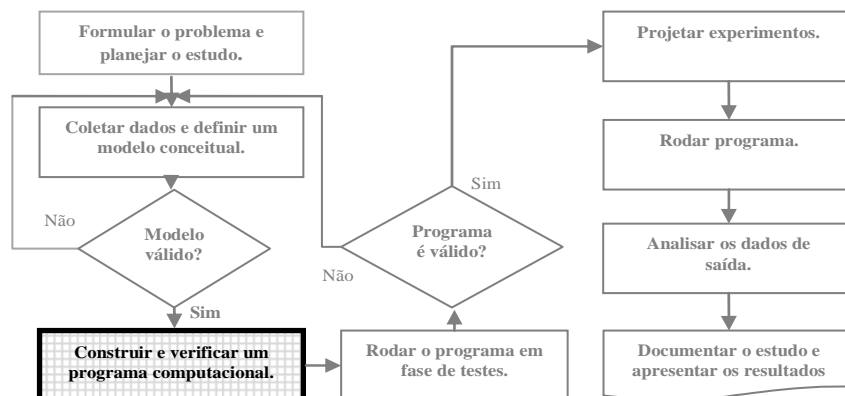


Figura 28 – Etapa 4 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

3.2.4.1. Programa computacional para o modelo 1

Partindo-se do modelo conceitual 1, foi construído o programa computacional 1. Este iria conter uma etapa inicial de extrusão (que agrupava as etapas reais de extrusão, resfriamento, corte, furação e armazenamento das massas), uma segunda etapa, denominada emenda (que levaria em conta o processo das emendas manuais e automáticas, a etapa de lixação e furação) e, por fim, a etapa de vulcanização das câmaras de ar. Também foi definido que o modelo inicial contemplaria a atividade referente a um turno de produção do item com maior representatividade comercial, com todo o sistema em estado estável. Os equipamentos não apresentariam *setup*, não seriam considerados os tempos de deslocamento entre as etapas e não haveria a modelagem dos funcionários. Na Figura 29 é vista a representação gráfica do programa computacional 1. A seguir, são apresentadas as definições dos equipamentos e processos da produção das câmaras de ar pneumáticas, baseadas nas observações do sistema real e em entrevistas com especialistas do processo estudado.

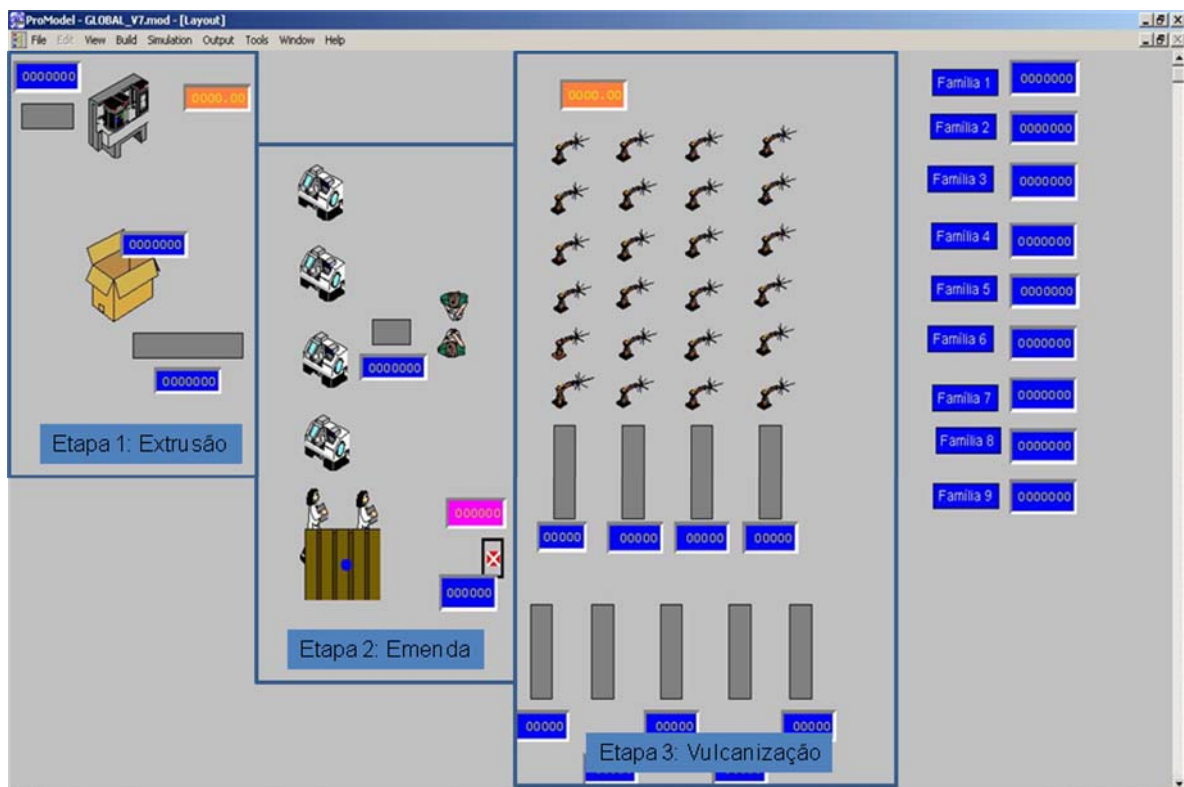


Figura 29 – Representação Gráfica do Programa Computacional 1.

Com referência a etapa 1 da Figura 29, a extrusora funciona em dois turnos, das 22:00h até as 07:00h (noturno) e das 07:00h até as 16:45h (diurno). O *setup* acontece quando há necessidade de troca do cabeçote de extrusão, que define a largura da câmara extrudada (esta operação leva em média 60 minutos), ou quando há necessidade no ajuste da espessura da parede interna da câmara. Embora algumas medidas de câmaras distintas tenham uma dimensão de largura igual, a parede interna difere em espessura. A necessidade de *setup* é baseada no que é definido pelas ordens de produção, porém pode haver trocas específicas, caso seja necessário uma alteração na ordenação da demanda das ordens de produção. O setor de Programação e Controle de Produção (PCP) programa para que sejam efetuadas no máximo três trocas nos dois turnos disponíveis, mas há casos raros em que ocorre uma maior quantidade de trocas. A extrusora pára quando há necessidade de troca do cabeçote de extrusão, ou quando o filtro de saída da borracha entope. Não há como determinar a limpeza do cabeçote de extrusão, pois esta depende em muito do componente semi-acabado (massa acelerada) que alimenta a extrusora. A perda de material na extrusora ocorre ainda no período do *setup*, e o material que se perde neste período é reaproveitado em sua totalidade, sendo novamente colocado no cilindro de aceleração e realimentando-se a extrusora. O corte de câmaras extrudadas fica sem serviço apenas durante um *setup*, logo, quando a máquina está ajustada, o corte trabalha ininterruptamente. Os primeiros produtos saem após uma hora, aproximadamente, independentemente da medida do produto. Para produtos distintos, desde que tenham a mesma largura, pode-se aproveitar o mesmo cabeçote de extrusão, assim, perde-se apenas o tempo de ajuste da espessura da parede interna da câmara, menor que um *setup* completo. Na esteira de resfriamento e no corte não há *setup*. A partir do momento que saem as primeiras câmaras extrudadas, a esteira inicia suas atividades sem interrupções, a menos que a extrusora pare. Não há perda ou retrabalho que atrase a etapa do corte ou deixe o corte sem serviço. Todo o material que não puder ser aproveitado nesta etapa, retorna ao cilindro de aceleração e é novamente extrudado.

Embora o material semi-acabado que sai da extrusora seja uma massa contínua, por simplificação, o mesmo foi modelado como um item discreto, já cortado. Não existiu estoque entre a extrusora e a esteira de resfriamento, pois no processo real isto também não ocorre; além disso, a esteira foi modelada com uma velocidade constante durante todo o tempo. Como relatado anteriormente, na descrição do processo real, não há refugo, nem *setup*, tanto na esteira de resfriamento, quanto na etapa de corte e furação, portanto, esta característica foi preservada na modelagem. Após a etapa de corte da câmara extrudada, as câmaras foram

agrupadas em lotes de trezentas unidades, como no processo real. As etapas de extrusão, resfriamento, corte e furação foram modeladas como uma única etapa, pois, no processo real, são dependentes do ritmo de produção definido pela extrusora. Na última parte deste sistema, as câmaras extrudadas são armazenadas para descanso de no mínimo duas horas para este produto. Não foi considerado o tempo de movimentação entre a armazenagem dos lotes e o descanso, pois o comparando com o tempo de armazenagem, este tempo é pequeno. Por simplificação, não foram modelados os operadores em nenhum dos equipamentos desta etapa.

Já na etapa 2 da Figura 29, a emenda automática também opera nos dois turnos descritos anteriormente. Não há ocorrência de *setup* nos equipamentos da emenda automática, estando disponível para uso assim que é ligada. A emenda de uma câmara de ar pneumática é a mesma independentemente dos tipos de produtos. Há uma regulagem na distância da emenda, que apresenta um gasto de tempo insignificante em relação à ordem de grandeza dos outros tempos observados. Os motivos de parada da emenda automática são apenas para manutenção. Não há como prever tais paradas. Através dos dados disponibilizados pela manutenção conseguiu-se um histórico de paradas destes equipamentos. Há retrabalho quando alguma emenda apresenta uma não-conformidade e todo o material retorna para o cilindro para ser novamente extrudado. Há registros das quantidades de material retrabalhado, para cada uma das quatro emendadeiras automáticas. O tempo de emenda é o mesmo para qualquer medida produzida, dependendo apenas dos equipamentos, que realizam a tarefa com velocidades de execução distintas. Esta etapa foi dividida em emenda manual e emenda automática. Embora o mercado aceite apenas câmaras emendadas automaticamente, devido ao elevado número de paradas dos equipamentos que realizam a emenda automática, o produto observado estava sendo fabricado com emendas manuais. Além disso, havia a desconfiança por parte dos especialistas que a etapa de emendas automáticas pudesse ser um gargalo para a produção, uma vez que seus equipamentos estavam em constante manutenção. Não houve falta de semi-acabados para os operadores da etapa de emenda, ou seja, não houve paradas por falta de material, além de não serem levados em conta os tempos de transporte dos materiais. Na emenda automática foram modeladas quatro máquinas com características idênticas, o que é uma simplificação inicial do processo real. Foi considerada a quebra de uma das máquinas, baseando-se no histórico de informações disponibilizado pelo setor de manutenção. No processo real, os equipamentos não têm *setup*, característica que foi preservada na modelagem. A etapa de colocação da válvula na câmara emendada ficou implícita na etapa

modelada, somando-se o tempo de execução da etapa de emenda. Ao final desta etapa foram novamente formados lotes de trezentas unidades.

Numa fase inicial, pensou-se em considerar a parte das emendas, tanto automáticas, quanto manuais, apenas como uma caixa-preta, onde as entradas e saídas das câmaras a serem emendadas estariam com uma distribuição de tempos ajustada, a partir dos dados coletados na observação do processo. A partir das considerações da supervisora da linha de produção, a equipe de modelagem optou pela abertura desta caixa-preta, separando a etapa de emendas em emenda automática e emenda manual. A supervisora sugeriu que seria interessante que a modelagem contemplasse a linha de emendas automáticas de forma separada, porque esta linha apresentava uma grande quantidade de ocorrências de pedidos de manutenção, em três das quatro máquinas disponíveis. Esta abertura tinha a intenção de descobrir a possibilidade de uma melhoria no aumento da produção para o caso em que as máquinas de emenda fossem substituídas por equipamentos que não oferecessem índices de manutenção tão elevados. Em novas discussões entre a equipe de modelagem, foi levantada a hipótese de que a linha de vulcanização acabaria tendo um estoque intermediário elevado, caso todas as máquinas de emenda automática funcionassem com baixos índices de quebra. Mas, sabendo-se que a etapa de vulcanização não estava com a capacidade produtiva totalmente aproveitada, tal hipótese foi descartada.

Finalizando, na etapa 3 da Figura 29 o *setup* das vulcanizadoras é realizado quando há uma troca na matriz de vulcanização, que é específica para cada um dos produtos. Este *setup* é realizado pela equipe de manutenção da matrizaria, a partir da solicitação da supervisão das câmaras. A necessidade de *setup* também é definida a partir da demanda originada pelas ordens de produção. Além da troca de matrizes, também pode haver necessidade de um jateamento da matriz que esteja em uso, geralmente quando há algum tipo de sujeira que interfira na qualidade do produto vulcanizado, ou então, às segundas-feiras, quando há um tempo maior de parada dos equipamentos, devido ao final de semana, havendo uma oxidação nas matrizes ocasionada pelo desuso. Uma vulcanizadora fica totalmente parada quando há um jateamento de matriz, pois não há matrizes substitutas. Na etapa de vulcanização acontecem refugos de produtos. Neste tipo de caso há uma eliminação da peça produzida. Eventualmente acontece a necessidade de retrabalho de vulcanização. Esta situação interfere na produtividade, pois acontece uma repetição da vulcanização. Existe um controle de todo material que é descartado, para cada medida fabricada. Na etapa de vulcanização, foram

modeladas dez matrizes, que estavam disponíveis para utilização no processo real, sem quebras, sem *setup*, com geração de refugos e sem a modelagem dos operadores.

A modelagem 1 teve como base a produtividade do sistema extrusora-vulcanização, referente às etapas de produção para o produto que representa aproximadamente 44% da demanda do departamento comercial, sendo este o primeiro produto da curva ABC de faturamento. Nesta modelagem, não foi considerado o tempo de *setup* do equipamento na etapa de extrusão, porque se buscava compreender o comportamento do sistema quando o mesmo atingisse a sua estabilidade. Também não ocorreu falta de material na extrusora e não foram levados em conta possíveis problemas de qualidade no semi-acabado produzido na respectiva etapa.

3.2.4.2. Programa computacional para o modelo 2

Buscou-se, neste momento, um novo modelo que representasse a linha de produção de uma maneira mais completa, contemplando mais de um produto na produção. Para tanto, foram estudadas as novas características a serem consideradas para obter-se representatividade. A Figura 30 apresenta a etapa 4 do método proposto por Law e Kelton (2000).

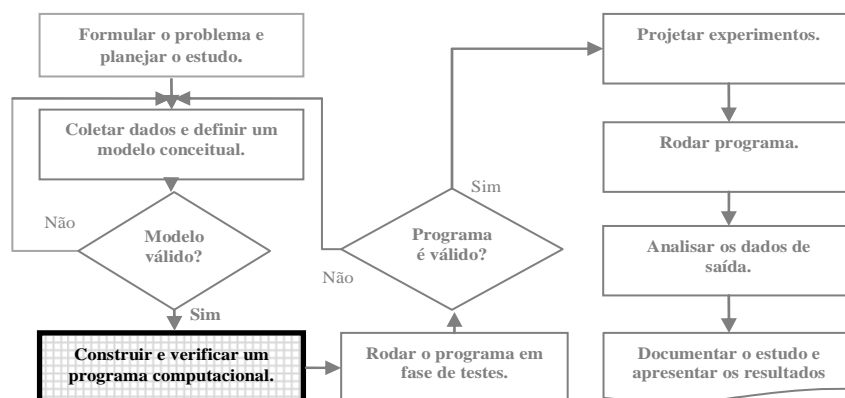


Figura 30 – Etapa 4 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

Agora, baseando-se nos relatórios históricos fornecido pelo departamento comercial, foram selecionados os nove produtos principais da classificação ABC de produtos vendidos, que representavam aproximadamente 91% do volume de vendas da empresa, no período de janeiro de 2008 até julho de 2008. Inicialmente os números da produção eram semelhantes aos números do departamento comercial, porém foi necessário buscar-se um período de observação maior, pois era necessário um conjunto maior de pontos para um melhor ajuste nas distribuições estatísticas. Assim, os dados utilizados para gerar as distribuições foram os históricos de produção do setor, para o período de janeiro de 2007 até julho de 2008.

Para a modelagem 2 foram considerados os tempos de *setup* na etapa de extrusão e vulcanização. Relembrando que a etapa das emendas não possui *setup* no processo real, logo, esse foi novamente desconsiderado. As etapas de extrusão, resfriamento, corte e furação continuaram modeladas como uma única etapa. A etapa de emenda das câmaras foi modelada em duas partes, assim como no processo real (emenda manual e emenda automática), além de contar com mais um processo, a lixação e colocação das válvulas. A etapa de emendas automáticas era apontada pelos especialistas do processo como o gargalo da linha de produção devido ao grande número de manutenções realizadas em três emendadeiras, de um total de quatro disponíveis. A emenda manual foi modelada como um só recurso, com capacidade unitária, com o tempo de operação ideal, sem paradas, nem *setup*. Também não foram gerados refugos nesta etapa. O tempo de deslocamento dos lotes prontos até a etapa de vulcanização foi desconsiderado.

Na emenda automática foram mantidas as características do modelo 1. Na etapa de vulcanização, foram modeladas dezoito matrizes nos turnos comuns às outras etapas e doze matrizes para o turno exclusivo da vulcanização (mesmas quantidades disponíveis para utilização no processo real), sem quebras, mas com *setup*. Ainda não foi considerada a modelagem dos operadores. Foram acrescentados os turnos de trabalho de cada etapa no período estudado, conforme disponibilizados pelos supervisores da produção. Estes turnos são diferenciados para a etapa de vulcanização, que trabalha um turno a mais que as outras etapas, o que pode explicar a distorção da visão do gargalo pelos especialistas do processo. Na Figura 31 temos um quadro comparativo sintetizando os elementos teóricos frente as aplicações práticas realizadas na empresa.

Construção e Verificação de um Programa Computacional	
Elementos Teóricos	Aplicação Prática na Empresa
➤ Qual <i>software</i> utilizar?	✓ Flexibilidade na modelagem de um sistema real e para facilitar a compreensão por parte da equipe que não conhecia a técnica de simulação, optou-se por um programa gráfico, o ProModel.
➤ Estruturação do programa.	✓ Programa simulou a produção do item mais significativo do departamento comercial, com o sistema estável, sem <i>setup</i> , sem operadores, sem refugos ou perdas. ✓ Três etapas principais baseadas na modelagem conceitual.
➤ Elementos da programação.	✓ Entidades, atributos, atividades e variáveis de estado.
➤ Realimentação de informações.	✓ Partiu-se de um modelo inicial simplificado, que continha apenas um produto, para um segundo modelo, considerando-se os nove produtos da classificação ABC de produtos faturados.

Figura 31 – Construção e Verificação de um Programa Computacional: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

3.2.5 Etapa 5 - Execução de rodadas de testes

A etapa 5 do método proposto por Law e Kelton é apresentada na Figura 32. Foi necessária a execução de rodadas de testes no modelo computacional proposto para capturar a variabilidade natural do processo e tornar significativos os resultados apresentados, do ponto de vista estatístico.

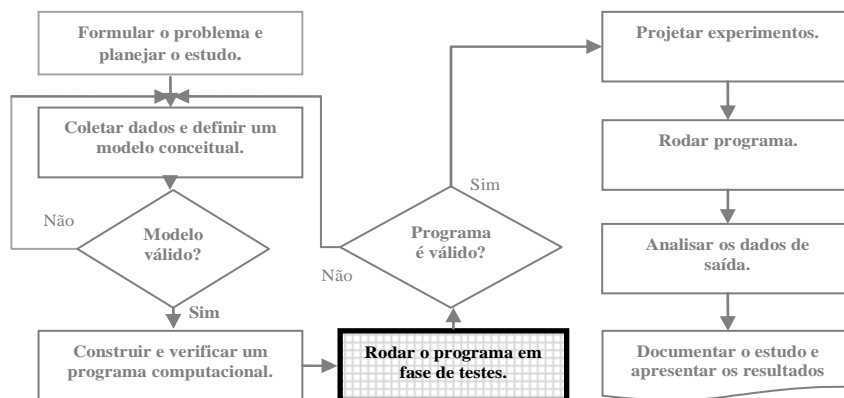


Figura 32 – Etapa 5 do Método de Law e Kelton

Fonte: Law e Kelton (2000).

Esta foi uma etapa necessária para a posterior validação do programa computacional. As distribuições de probabilidade foram utilizadas para determinar o tamanho e a frequência dos lotes de materiais que chegariam na etapa de extrusão, além da utilização dos equipamentos na etapa de vulcanização.

Fez-se necessária uma coleta de dados mais acurada, durante um período de tempo maior (um ano e meio de produção) do que os dados inicialmente coletados (período de meio ano de produção) para que se tivesse uma boa modelagem da aleatoriedade dos processos. O sistema observado não apresentava muita variabilidade, logo não foi necessária uma maior quantidade de rodadas de testes, até que os resultados convergissem. Os resultados deveriam ser de fácil compreensão a todos que estivessem envolvidos na modelagem, para que possíveis distorções fossem rapidamente detectadas e ajustadas. Assim, foi necessária a correta identificação das variáveis de entrada (tamanho e a frequência dos lotes na etapa de extrusão) distinguindo-as claramente das variáveis de resposta (quantidade de itens produzidos e tempos gastos em *setup* de equipamentos). a utilização de métricas coerentes com os objetivos propostos auxiliou nas comparações entre o modelo e a realidade, por exemplo. Os objetivos da modelagem serviram de indicativos para a quantidade de alternativas propostas necessárias. Detalhes tais como *downtimes* ou turnos de produção foram tratados em uma modelagem mais complexa (modelo computacional 2), a partir da realimentação do modelo computacional 1. O quadro comparativo sintetizando os elementos teóricos frente as aplicações práticas realizadas na empresa para esta etapa é apresentado na Figura 33.

Execução de Rodadas de Testes	
Elementos Teóricos	Aplicação Prática na Empresa
➤ Testes.	✓ Distribuições de probabilidade para tamanhos de lotes de chegada e frequência de chegadas obrigaram a realização de rodadas de testes para posterior validação
➤ Identificação de variáveis utilizadas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Variáveis de entrada: tamanho de lote, frequência de chegada de materiais na etapa de extrusão, tipo do item a ser produzido na etapa de vulcanização ✓ Variáveis de resposta: quantidade de itens produzidos, tempo gasto em <i>setup</i> de equipamentos, <i>downtime</i> de uma emendadeira.

Figura 33 – Execução de Rodadas de Testes: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

3.2.6 Etapa 6 - Validação do programa

Neste momento, o programa computacional deveria ser validado pela equipe de modelagem. A participação dos especialistas do processo foi novamente importante. O programa em que foi desenvolvida a simulação auxiliou na validação, pois permitiu um acompanhamento visual dos processos. Também foi feita a comparação dos resultados apresentados com uma média dos valores históricos de produção referentes ao período de janeiro de 2007 até julho de 2008, dos nove itens modelados. A etapa 6 do método proposto por Law e Kelton é apresentada na Figura 34. Um quadro comparativo sintetizando os elementos teóricos frente as aplicações práticas realizadas na empresa para esta etapa é apresentado na Figura 35.

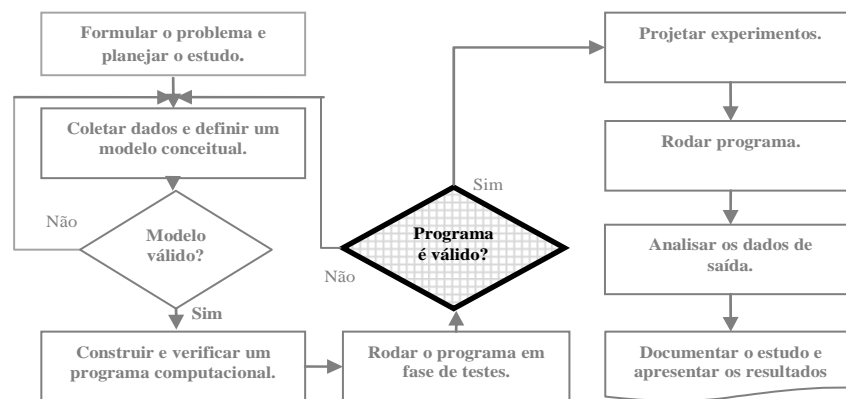


Figura 34 – Etapa 6 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

Validação do Programa Computacional	
Elementos Teóricos	Aplicação Prática na Empresa
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Validações Necessárias. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Validação Comparativa: Média dos dados históricos, referentes a um ano e meio de produção, conferiram com os resultados apresentados pelo programa para os nove itens modelados (dados serão apresentados no cap. 4). ✓ Validação Visual: ProModel permitiu um acompanhamento visual dos processos

Figura 35 – Validação do Programa Computacional: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

3.2.7 Etapa 7 - Planejamento de experimentos

Esta etapa 7 - Planejamento dos Experimentos - contempla experimentações com diversos cenários possíveis aplicados ao ambiente original simulado. Montgomery (1997) define que um experimento é um teste, ou uma série de testes, no qual são feitas alterações propositas nas variáveis de entrada de um processo ou de um sistema, de maneira que se possa observar e identificar as razões das mudanças ocorridas nas variáveis de resposta. A etapa 7 do método proposto por Law e Kelton é apresentada na Figura 36.

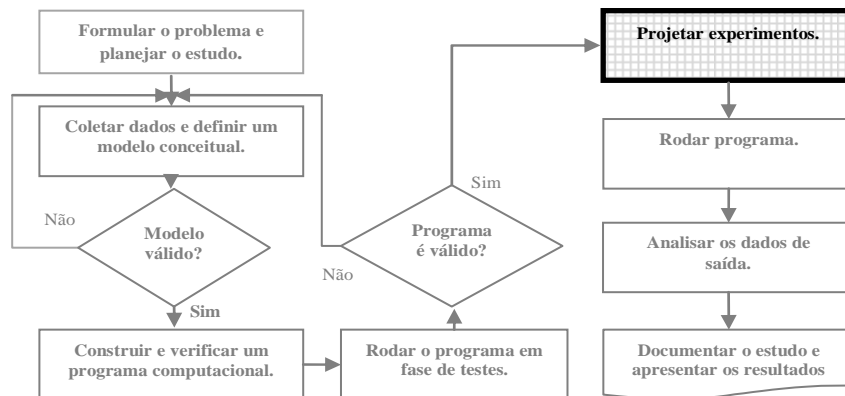


Figura 36 – Etapa 7 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

Projeto de experimentos é uma ferramenta de engenharia importante na busca por melhorias em um processo de fabricação. A aplicação dessa técnica no desenvolvimento do processo pode resultar em redução na variabilidade do processo, redução no tempo de desenvolvimento e redução dos custos totais. Um dos objetivos principais de um projeto de experimentos é estimar como as alterações realizadas nos fatores de entrada afetam os resultados, ou respostas, de um experimento (KELTON, 1995). Para Law e Kelton (2000), tanto os parâmetros de entrada, quanto os pressupostos de estrutura que compõem um modelo são denominados fatores, que podem ser classificados em controláveis ou não-controláveis, dependendo de como são representadas as opções de ação aos gerentes do sistema real

correspondente. Já as medidas de desempenho dos parâmetros de saída são chamadas de variáveis de resposta.

A decisão então recai sobre a escolha de quais parâmetros e pressupostos serão considerados aspectos fixos do modelo e quais fatores do experimento dependerão dos objetivos do estudo, ao invés de serem inerentes ao modelo. Os experimentos de simulação normalmente tratam de fatores controláveis, devido a sua maior relevância nas decisões a serem tomadas para implementação em sistemas reais (LAW, KELTON; 2000). Em um experimento de simulação existem variáveis de entrada que definem o modelo proposto, podendo estas ser independentes e alteradas, se assim se desejar. Os efeitos destas alterações e a conseqüente resposta destas variáveis é que serão medidas e correlacionadas. Os experimentos de simulação devem estar de acordo com o modelo e os objetivos iniciais propostos, alinhados com as características definidas na definição do modelo proposto. Seguem alguns fatores controláveis como sugestões interessantes de projeto de experimentos para este estudo, pois teriam uma boa contribuição na variável de resposta correspondente ao total de produtos fabricados, por exemplo, o percentual de paradas de máquina para emendadeiras automáticas, ou o número de vulcanizadoras em operação, também o tempo de *setup* da extrusora, ou ainda o tempo de *setup* das vulcanizadoras. Um quadro comparativo sintetizando os elementos teóricos frente as aplicações práticas realizadas na empresa para esta etapa é apresentado na Figura 37.

Planejamento de Experimentos	
Elementos Teóricos	Sugestão de Aplicação Prática na Empresa
➤ Fatores controláveis;	✓ Percentual de paradas de máquina para emendadeiras automáticas, número de vulcanizadoras em operação, tempo de <i>setup</i> da extrusora, tempo de <i>setup</i> das vulcanizadoras.
➤ Variáveis de Resposta;	✓ Total de produtos fabricados.

Figura 37 – Planejamento de Experimentos: Elementos Teóricos x Sugestões de Aplicação.

3.2.8 Etapa 8 - Execução de rodadas válidas

Os fatores que compõem o sistema real apresentam variações inerentes ao processo. Esta variabilidade resulta das modificações nas condições sob as quais as observações são tomadas. Estas alterações podem refletir as diferenças entre os materiais utilizados, as condições ambientais e dos equipamentos, métodos de trabalho e os operadores envolvidos no processo. Existem dois tipos de causas para a variabilidade de um processo, as causas comuns ou aleatórias e as causas especiais ou assinaláveis. A Figura 38 apresenta a respectiva etapa.

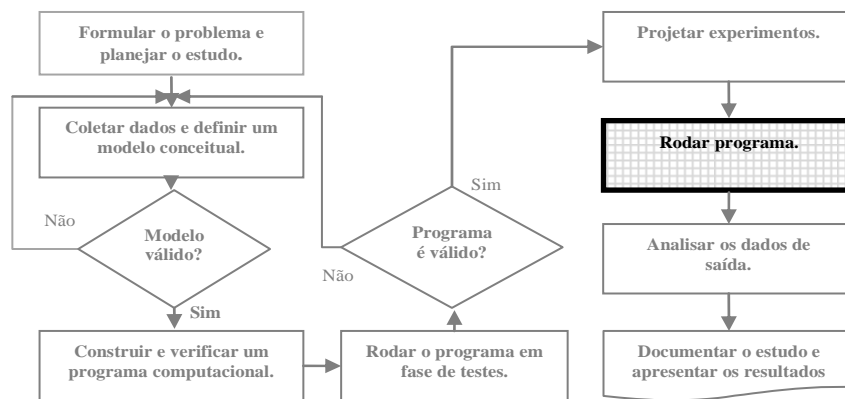


Figura 38 – Etapa 8 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

A etapa de execução de rodadas é necessária para capturar esta variabilidade que o sistema apresenta. Quanto maior a variabilidade do processo, mais rodadas deverão ser executadas. A duração das rodadas deverá contemplar a chance de que o evento mais raro modelo ocorra algumas vezes.

Neste estudo notou-se variabilidade em algumas etapas, a partir da observação do sistema real. Por exemplo, na etapa de emendas, mais especificamente nas emendas automáticas, devido ao grande número de paradas de máquina para manutenção, a variabilidade é bem elevada. Também ocorre variabilidade na programação de produção, para chegadas de lote na etapa de extrusão, pois os dois últimos itens, dos nove contemplados na simulação, são produzidos em quantidades pequenas comparando-se com os três ou quatro primeiros itens da

classificação ABC de faturamento. Logo, a duração de uma rodada deverá ter uma duração mínima de um mês para que todos os itens sejam produzidos. A Figura 39 apresenta um quadro com a síntese comparando-se os elementos teóricos com a aplicação prática realizada na empresa em estudo.

Execução de Rodadas Válidas	
Elementos Teóricos	Sugestão de Aplicação Prática na Empresa
➤ Variabilidade nos processos produtivos.	✓ Etapa das emendas apresenta variabilidade devido às paradas de máquina para manutenções e a programação de produção para os itens mais representativos..
➤ Variabilidades maiores exigem um maior número de rodadas.	✓ Mínimo de um mês de execução para abranger todos os itens contemplados no estudo.

Figura 39 – Execução de Rodadas Válidas: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

3.2.9 Etapa 9 - Análise dos dados de saída do programa computacional

A Figura 40 apresenta a etapa de análise de dados do programa computacional no método proposto por Law e Kelton (2000). A equipe de modelagem deverá analisar as respostas do sistema modelado com o auxílio de técnicas estatísticas para uma determinação precisa dos resultados. Como sugestão, pode-se utilizar intervalos de confiança e uma apreciação das saídas através dos gráficos gerados e histogramas. Na empresa em questão, alguns dos resultados de interesse a serem observados são unidades de produto por tempo para cada uma das etapas, unidades de produto acabado ao final de todo o processo para comparação com dados históricos e o percentual do tempo em atividade dos equipamentos para descobertas dos possíveis gargalos do sistema real. Os elementos teóricos para esta etapa comparados com a sugestão de aplicação na empresa em estudo são apresentados na Figura 41.

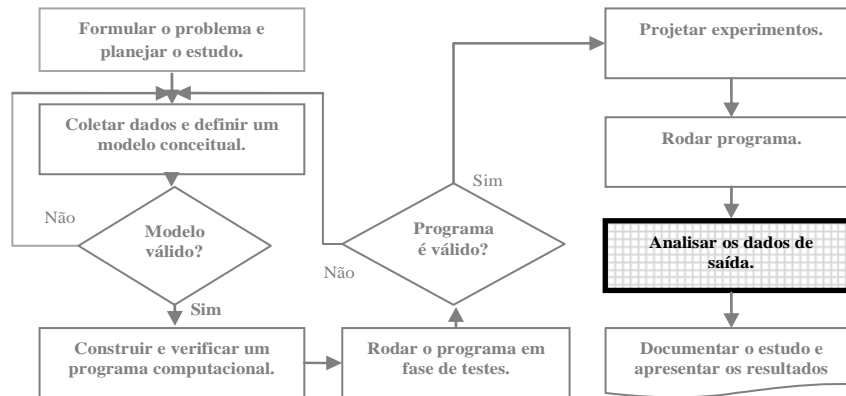


Figura 40 – Etapa 9 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

Análise dos Dados de Saída do Programa Computacional	
Elementos Teóricos	Sugestão de Aplicação na Empresa
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilização de técnicas estatísticas para uma análise mais precisa dos resultados. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicação nos resultados referentes a unidades produzidas em cada etapa e ao final do processo, além dos valores de tempo de atividade para equipamentos.

Figura 41 – Análise dos Dados de Saída do Programa: Elementos Teóricos x Sugestão Aplicação.

3.2.10 Etapa 10 - Documentação, apresentação e implementação dos resultados

Esta etapa foi realizada no estudo, e sua importância deve-se ao fato de que irá auxiliar futuras equipes de modelagem em outros projetos de natureza semelhante, ou em possíveis alterações do mesmo projeto. Pode-se vê-la na Figura 42 como está situada no método proposto por Law e Kelton (2000).

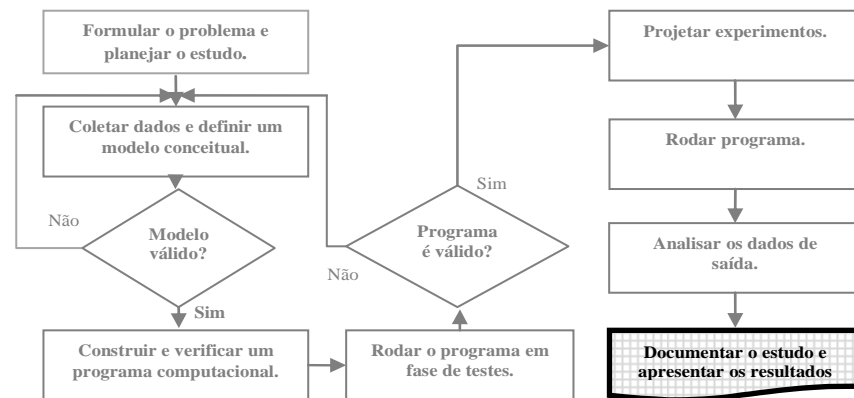


Figura 42 – Etapa 10 do Método de Law e Kelton.

Fonte: Law e Kelton (2000).

A apresentação aos tomadores de decisão foi formatada para que transmitisse a realização da modelagem e da simulação de uma forma clara, precisa e direta, para que não fosse interpretada de maneira errada e nem dificultasse a compreensão do processo e seu objetivo inicial proposto. Toda a descrição do estudo realizado está contida nesta dissertação, com os resultados sendo discutidos e apresentados no capítulo 4. Na Figura 43 é apresentado um quadro contendo a comparação entre os elementos teóricos do método proposto por Law e Kelton (2000) contra a aplicação prática na empresa.

Documentação, Apresentação e Implementação dos Resultados	
Elementos Teóricos	Aplicação Prática na Empresa
➤ Documentar e apresentar resultados.	✓ Dissertação contém toda a descrição do estudo de simulação realizado.

Figura 43 – Documentação, Apresentação e Implementação dos Resultados: Elementos Teóricos x Aplicação Prática.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as análises e discussões referentes às simulações dos dois modelos de simulação da fabricação de empresa em estudo. Primeiramente, são apresentadas as simulações desenvolvidas neste estudo; logo após, apresentam-se os resultados de cada uma das simulações, com suas respectivas atividades de validação. Então, é apresentada uma discussão dos pontos nos quais houve um processo de aprendizagem sobre o sistema real a partir da simulação. Encerra-se o capítulo com a descrição das reações ao primeiro contato com a ferramenta de simulação daqueles que estiveram envolvidos no estudo.

4.1 Simulações

Foram desenvolvidas simulações baseadas em cada um dos modelos conceituais propostos. A simulação do modelo 1 foi mais simples, pois se tratava do primeiro contato da maioria dos membros da equipe de modelagem com a ferramenta de simulação computacional. O modelo de simulação 2 foi desenvolvido a partir de realimentações do modelo 1, baseadas em discussões da representatividade dos resultados esperados da simulação com relação ao sistema real observado. Embora sejam apresentados os resultados referentes apenas aos dois modelos, ressalta-se que houve realimentações em ambos os modelos, criando-se várias versões destas simulações até que fossem definidos os dois modelos para representar este estudo. Os dados utilizados neste estudo foram modificados por razões de confidencialidade, porém foram mantidas as proporções entre os produtos fabricados, mantendo-se a representatividade do sistema real observado com relação aos objetivos propostos.

4.1.1 Simulação do modelo computacional 1

A simulação do modelo computacional 1 tem suas características apresentadas na Figura 44 e na Figura 45, têm-se a sua representação gráfica.

Simulação do Modelo Computacional 1
a) Item com maior representatividade comercial;
b) Turno diurno com oito horas de produção estável;
c) Simulação com variáveis de entrada determinísticas;
d) Não foram consideradas as quebras de equipamentos;
e) Frequência dos lotes de chegada na etapa de extrusão referentes ao item citado;
f) Etapa de emenda dividida em manual e automática;
g) Simplificação da etapa de colocação de válvulas, aglutinando-a com a etapa de emenda;
h) Etapa de vulcanização com capacidade de produção limitada ao número de dez matrizes de vulcanização, que é a quantidade disponível no sistema real para este item;

Figura 44 – Características do Modelo Computacional 1.

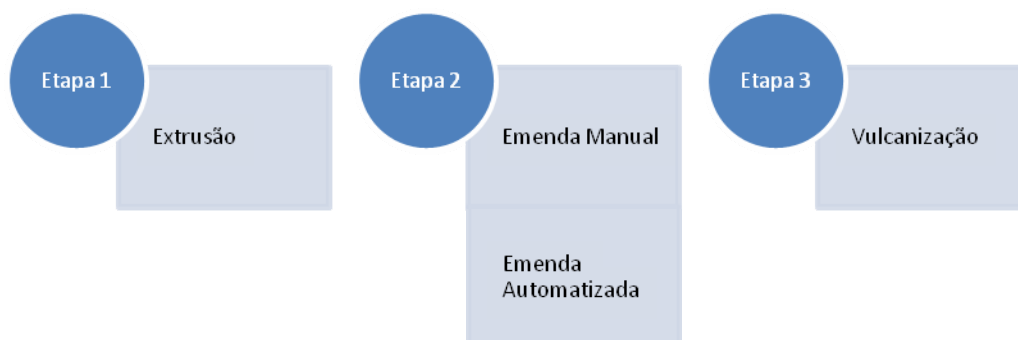


Figura 45 – Simulação Modelo 1.

4.1.2 Realimentações no modelo computacional 1

Nesta nova configuração o tempo de execução da simulação foi ajustado para um mês de produção. Quanto à etapa de emendas houve a separação da etapa de colocação de válvulas e foram considerados diferentes valores para os tempos de processamento em cada uma das quatro emendadeiras automáticas, correspondendo à média dos valores coletados em trinta observações realizadas. Além disso, nesta simulação foram definidos dois turnos de trabalho, um turno representava os três turnos de oito horas da etapa de vulcanização. O outro turno utilizado representava os dois turnos, também de oito horas, das demais etapas do sistema real. Estas informações foram disponibilizadas pelo departamento de recursos humanos. A primeira observação feita foi de que a etapa das emendas automáticas poderia não ser um gargalo da produção, pois esta etapa operava em dois turnos, enquanto a etapa de vulcanização precisava de três turnos para acompanhar o volume de produção recebido. A Figura 46 apresenta realimentação de informações do modelo 1.

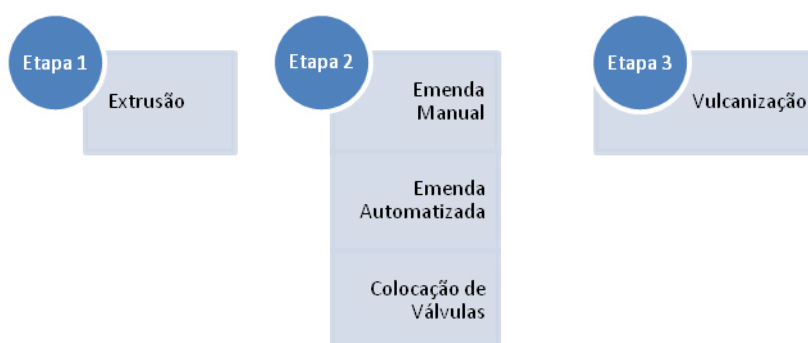


Figura 46 – Realimentação do Modelo 1

4.1.3 Simulação do modelo computacional 2

A necessidade de aprofundar a compreensão sistêmica do processo real conduziu a novas alterações no modelo de simulação 1. A modelagem estável com apenas um item não permitia a observação dos efeitos causados por alterações efetuadas nas variáveis de entrada. Por exemplo, como avaliar um impacto na produção diária a partir de ocorrências de *setup* em

alguma das etapas do processo de produção? Ou ainda, como as alterações na demanda solicitada pelo departamento comercial afetariam a programação da produção? Por isto, as novas realimentações que foram aplicadas ao modelo 1 originaram o modelo 2. Na Figura 47 tem-se as principais características deste modelo.

Simulação do Modelo Computacional 2
a) Período de execução para um mês de produção;
b) Nove principais itens com maior representatividade comercial, totalizando aproximadamente 91% da curva ABC de faturamento, relativo ao período de janeiro de 2008 a junho de 2008;
c) Inclusão de <i>setup</i> nas etapas de extrusão e vulcanização;
d) Simulação com distribuições de probabilidade para variáveis de entrada (tamanho e frequência do lote de chegada na etapa de extrusão);
e) Etapa de emenda dividida em manual e automática;
f) Separação da etapa de colocação de válvulas;
g) Vulcanização com capacidade de produção igual ao número de matrizes de vulcanização disponíveis no sistema real para os nove itens;
h) Definição de período de <i>warm-up</i> e número de rodadas;

Figura 47 – Características do Modelo Computacional 2.

Dentre as características citadas na Figura acima, cabe destacar o item “h”, referente à definição de período de *warm-up* e número de rodadas. A simulação não se estabiliza instantaneamente, sendo necessário que todas as etapas do processo estejam alimentadas e comecem a produzir. Assim, foi definido um período de *warm-up* até que o sistema entrasse em estado de regime. Robinson (2004) define este período como transitório inicial, porque ocorre no começo da simulação (inicial) e a distribuição dos dados de saída sofre mudanças constantes (transitório). Os dados deste período inicial não traduzem a realidade do sistema, pois em um ambiente fabril não inicia-se a produção sem um estoque intermediário inicial, numa segunda-feira pela manhã, por exemplo. Logo, estes dados iniciais devem ser descartados, levando-se em conta apenas os resultados apresentados quando o sistema entra em regime. A determinação do tamanho do período de *warm-up* seguiu o método gráfico

Na Figura 48 são plotadas as médias diárias de produção. Pode-se notar que a partir do dia 10 o sistema começa a se estabilizar, apresentando valores de média na faixa entre 2.500 unidades e 3.000 unidades produzidas, não ocorrendo mais tendências ascendentes ou descendentes nos dados. Logo, definiu-se o período de dez dias para o *warm-up*. Havia ainda a necessidade de definição do número apropriado de replicações necessárias para que a simulação apresentasse dados de saída suficientemente exatos.

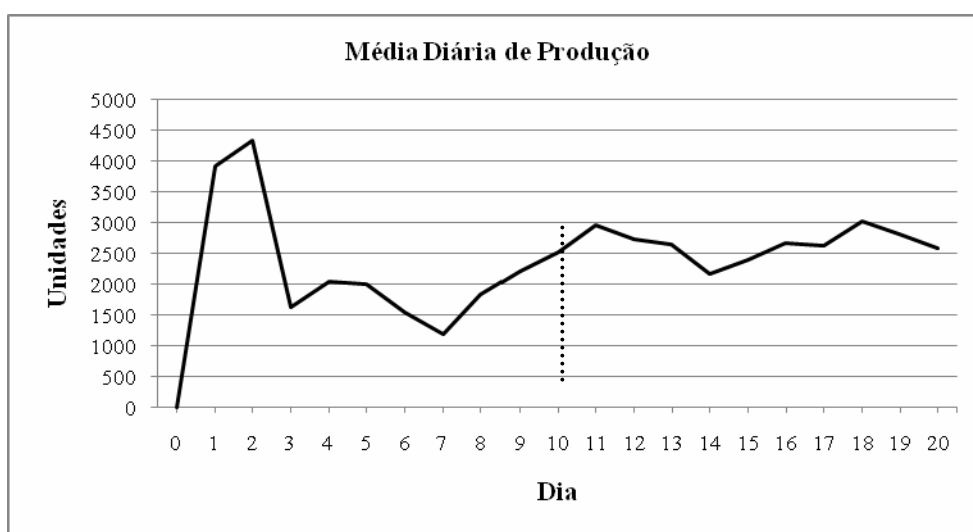


Figura 48: Série Temporal da Média Diária de Produção do Modelo 2

Uma replicação é uma rodada da simulação que utiliza um número aleatório específico para inicialização. Múltiplas replicações são realizadas a partir de mudanças efetuadas nesta semente aleatória e rodando-se novamente a simulação, com objetivo de produzir amostras múltiplas melhorando-se a estimativa de desempenho médio do sistema (ROBINSON, 2004). Novamente, utilizou-se uma análise gráfica visual para definir o número de replicações. Robinson (2004) e Law e Kelton (2000) sugerem que neste tipo de abordagem, o número de replicações necessário pode ser definido a partir do ponto no qual o gráfico apresente uma linha com tendência estável de valores. A tabela 2 apresenta os valores de produção diária média e de suas respectivas médias acumuladas para cada uma das replicações executadas. Foram observados os valores das médias acumuladas da produção diária média, para 20 replicações, de um mês de produção (levando-se em conta o período de dez dias de *warm-up*).

Tabela 2: Produção diária média x médias acumuladas para cada replicação

Replicação	Produção Diária Média	Média Acumulada da Produção Diária Média
1	3.593	3.593
2	4.103	3.848
3	3.384	3.694
4	4.455	3.884
5	3.699	3.847
6	3.621	3.809
7	3.696	3.793
8	2.858	3.676
9	4.252	3.740
10	2.378	3.604
11	3.467	3.592
12	4.951	3.705
13	3.034	3.653
14	3.562	3.647
15	2.788	3.590
16	3.298	3.571
17	3.210	3.550
18	4.191	3.586
19	3.706	3.592
20	3.592	3.592

A Figura 49 apresenta o gráfico dos dados da média acumulada. Pode-se notar a tendência de estabilização entre a replicação 13 e a replicação 14. Por garantia, como havia ainda certa variação nas proximidades deste número de replicações, definiu-se que seriam executadas vinte replicações para o modelo computacional 2.

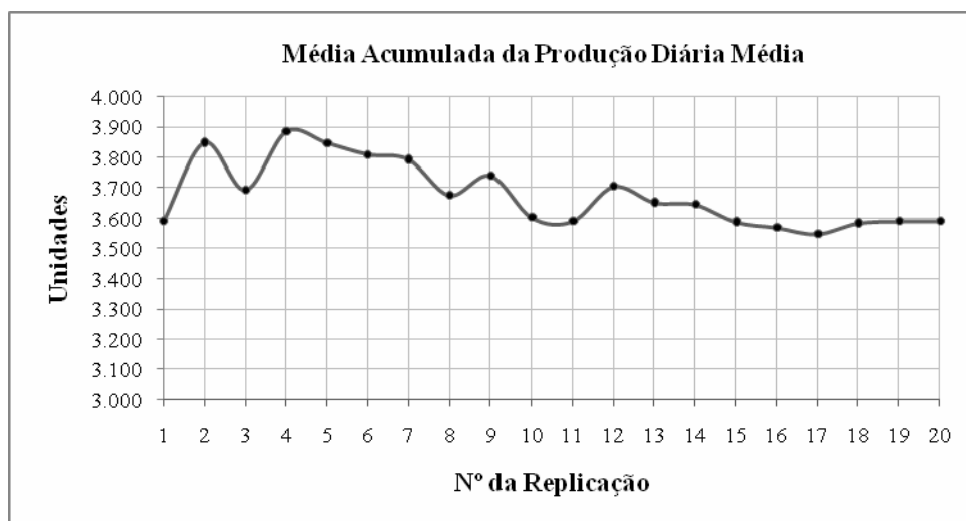


Figura 49: Gráfico das Médias Acumuladas da Produção Diária Média.

4.2 Validação das Simulações

Como explicitado anteriormente, este trabalho não teve a pretensão de alcançar um modelo quantitativamente representativo do sistema real observado. Ainda assim, os resultados obtidos pelas duas simulações sofreram uma análise para determinar se a modelagem estava caminhando no sentido da representatividade quantitativa também. Seguem, na tabela 3, os resultados apresentados pela simulação do modelo 1, com percentual de utilização, total de unidades produzidas por cada etapa e total de horas para cada equipamento modelado.

Tabela 3 – Resultados do Modelo de Simulação 1

Local	Horas	Unidades Produzidas	% de Utilização
Extrusora	8	4.445	49,34
Descanso	8	14	0,00
Fila Emenda	8	3.300	0,01
Emenda	8	1.011	37,48
Emenda Aut1	8	521	37,96
Emenda Aut2	8	511	37,23
Emenda Aut3	8	511	37,23
Emenda Aut4	8	511	37,23
Vulcanização	8	990	68,18

Nota-se que a vulcanização apresenta o maior percentual de utilização, sinalizando esta etapa como o gargalo do sistema, diferentemente do que era imaginado inicialmente pela equipe de simulação. Foi esta observação que permitiu identificar que o real gargalo era a etapa de vulcanização, que não era visto desta forma devido ao número de turnos diferenciado nas etapas de vulcanização e emenda. Os dados da simulação do modelo 2 comparados com as médias do histórico de produção de janeiro a junho de 2008, e também para janeiro de 2007 a junho de 2008 (esta coleta de dados foi necessária para definir distribuições de probabilidade mais adequadas para tamanho de lotes e frequência de chegada destes lotes) ficaram com os seguintes valores: total de unidades produzidas pela simulação foi de 150.672, a média histórica de produção de janeiro de 2008 a junho de 2008 foi de 126.921 e a média histórica de produção para janeiro de 2007 a junho de 2008 foi de 146.262.

Pode-se notar que o valor do total de unidades produzidas na simulação da etapa de vulcanização esteve coerente com os valores históricos de produção. A proximidade com o histórico para o período de seis meses no ano de 2008 deve-se ao fato de haver um incremento na produtividade do sistema real do ano passado para este. A tabela 4 apresenta a média das vinte replicações para o total de unidades produzidas, de cada um dos nove itens modelados, comparando-os com os seus históricos de produção para o período de janeiro de 2007 a junho de 2008.

Tabela 4 – Resultados da Simulação do Modelo 2 – Média Mensal

Local	Média de Unidades Produzidas	Média Histórica de Produção
Item 1	36.295,40	63.588,56
Item 2	16.951,30	14.096,00
Item 3	9.204,4	11.016,89
Item 4	13.904,6	10.861,61
Item 5	11.101,9	9.558,44
Item 6	7.887,4	6.529,44
Item 7	5.235,2	3.936,94
Item 8	4.001,7	3.745,11
Item 9	4.536,3	3.588,56

Na Figura 50 vêem-se os valores comparativos da tabela 4 plotados em um gráfico, verificando-se que a simulação representou de maneira satisfatória oito dos nove itens simulados. Estes resultados contribuíram para que a equipe considerasse a simulação válida.

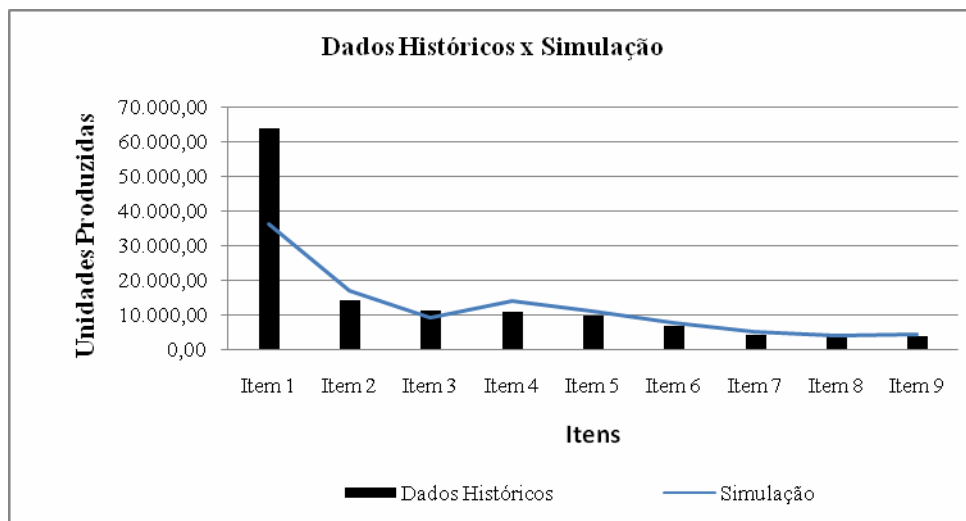


Figura 50 – Comparativo entre Dados Históricos de Produção e Simulação.

4.3 Primeiro Contato com a Simulação

Este item da dissertação aborda a descrição das reações daqueles que estiveram envolvidos no estudo ao primeiro contato com a ferramenta de simulação. A proposta de um estudo de simulação foi apresentada em uma reunião, inicialmente para o grupo gerencial da parte industrial da empresa. Foram convidados, o gerente de produção, o gerente da engenharia, o gerente de manutenção e o representante da direção e apresentaram-se as possibilidades de utilização da ferramenta de simulação computacional, que ainda não era conhecida por estes.

Foram solicitadas sugestões de desenvolvimento para o estudo, levando-se em conta as demandas dos setores industriais que pudessem utilizar a técnica de simulação em benefício próprio para resolução de algum problema prático e com prazo que fosse adequado a conclusão do estudo. A dúvida maior entre os gerentes era como e por que utilizar a simulação para resolução de problemas como, por exemplo, descobrir o *lead-time* na produção de câmaras pneumáticas. Para eles, uma planilha poderia executar a mesma tarefa, desde que contivesse as informações necessárias, sem a necessidade de grandes investimentos em recursos e treinamento. Foi necessário mostrar que toda a variabilidade que ocorrem em

processo de produção estava sendo desconsiderado pelos resultados obtidos com uma planilha. Por exemplo, para que o pessoal do departamento comercial compreendesse melhor a questão da variabilidade, foram mostradas situações relativas ao processo de implantação de um pedido de venda e como o tempo médio de implantação poderia ser diferente para cada cliente, devido à quantidade de itens solicitados, ou lentidão no sistema, ou ainda alguma interrupção na comunicação com o cliente. Já com o pessoal da produção, utilizaram-se exemplos de variabilidade em processos tais como:

- a) funcionários que faltassem ao expediente, exigindo uma cobertura e deslocamento de função de outro funcionário;
- b) um parafuso de fixação de uma matriz de vulcanização emperrado na hora de uma troca de matrizes, demandando mais tempo que o normal para execução desta tarefa;
- c) falta de energia elétrica;

Com os respectivos exemplos para cada setor, mostrou-se que alguns fatores podem ser controlados e outros não. E esta era uma característica contemplada em um estudo de simulação, que uma planilha não poderia representar. A partir do momento em que o nível gerencial reconheceu alguns dos benefícios na utilização da ferramenta de simulação, tais como, aumentar o nível de compreensão dos processos que estavam sob suas responsabilidades, diagnosticar problemas e conhecer efeitos das variáveis inerentes aos processos sobre todo o desempenho de um sistema, de modo a promover melhorias no desempenho dos processos, ficou mais fácil disseminar a importância de se utilizar esta ferramenta, pois havia sido alcançado o comprometimento e apoio dos níveis gerenciais com o estudo.

Em uma segunda reunião, o gerente de produção sugeriu que fosse simulada a linha de produção de vulcanização de câmaras de ar, pois além do interesse em obter melhorias neste processo, haveria a necessidade do aumento na produção deste setor, de no mínimo 20%, definido pela direção, devido à previsão de vendas em médio prazo. O analista estaria liberado para executar os procedimentos que o estudo de simulação exige, tendo o acompanhamento do gerente de produção e dos supervisores da respectiva linha de produção para discutir a melhor forma de elaborar a modelagem e simulação. Esse respaldo garantido pela diretoria e nível gerencial da empresa contribuiu para facilitar os contatos iniciais com os supervisores e funcionários da produção, uma vez que o analista da simulação era uma pessoa de fora do processo e poderia gerar algum tipo de distanciamento nas entrevistas ou coleta de

dados. O respaldo também facilitou o contato e troca de informações no ambiente do chão-de-fábrica, uma vez que a receptividade por parte dos funcionários da produção demonstrou-se muito boa.

Outras implementações anteriormente realizadas na empresa, como por exemplo, do sistema E.R.P. ou da certificação da norma ISO 9001:2000, serviram de parâmetro para diminuir a distância entre o nível de chão-de-fábrica e o analista de simulação. Foi observado nestas outras implementações que um analista externo deixava os funcionários intimidados. Já, a presença do analista de simulação, que é funcionário da empresa há mais de quatro anos, não provocava este tipo de reação. O fato do analista de simulação ser o presidente da Comissão Interna de Prevenção a Acidentes da empresa (C.I.P.A.) contribuiu para uma maior espontaneidade dos supervisores nas reuniões e solicitações de auxílio, pois ele já era conhecido pela maior parte dos funcionários da empresa. Além disso, o mesmo apresentava-se com o uniforme da empresa e um guarda-pó utilizado pelos supervisores, assim os funcionários sentiam-se mais próximos, contribuindo mais abertamente.

4.4 Aprendizados com a Simulação

O fato de não existir uma pessoa que compreendesse a totalidade do sistema real, com um alto nível de detalhamento, e pudesse fornecer todas as informações necessárias, obrigou a formação de uma equipe com diferentes níveis hierárquicos, que também possuíam a sua visão própria do processo, com uma tendência a dar mais importância às etapas do processo em que estavam inseridas, como já descrito em Carson (2005), Banks (1999) e Law e Kelton (2000). Comprovou-se que a questão de possuir na equipe de modelagem pessoas que conheçam e entendam o sistema a ser estudado tornam maiores as chances de a simulação ser bem sucedida.

A adoção de uma técnica desconhecida na empresa e a necessidade de se ter um consenso na representação do sistema real acabou fortalecendo a interação de opiniões de todos aqueles que estiveram envolvidos no estudo, desde a etapa de formulação do problema até as últimas realimentações efetivadas. As discussões sobre o sistema observado e as diferentes formas

como este sistema era descrito pelas pessoas envolvidas nos processos pertinentes mostraram-se como oportunidades de aprendizado. O exemplo mais marcante, já citado, foi a identificação do real gargalo do processo. Também se pode citar que um menor número de paradas de máquinas para manutenção, na etapa de emenda automática, contribuiria para um aumento de produção desta etapa e melhora na qualidade das emendas, algo que o mercado consumidor exige. Pôde-se inferir que a emenda automática teria condições de atender toda a demanda de produção, desde que o número de paradas para manutenção diminuísse dos atuais 20% do tempo disponível para aproximadamente 10% nas três máquinas mais problemáticas, podendo-se até desativar a linha de emendas manuais.

O setor de vulcanização não operava com toda a sua capacidade devido à falta de funcionários capacitados na tarefa de vulcanização, gerando uma ociosidade em seis vulcanizadoras. Uma sugestão proposta seria o remanejamento e treinamento de funcionários da linha de emenda manual para a vulcanização, caso a emenda manual fosse desativada. A adaptação da técnica de simulação à cultura da empresa vem ocorrendo lentamente. Enquanto ainda não haviam sido apresentados dados, havia a desconfiança de como uma técnica trazida por alguém de fora do processo, sem conhecimento no mesmo, pudesse funcionar e contribuir com melhorias no desempenho do sistema real. Assim que os resultados começaram a ser divulgados, o nível de credibilidade na técnica foi aumentando gradativamente. Com o respeito demonstrado pela equipe de simulação, e ao sentirem que suas opiniões eram consideradas, os funcionários da produção, inclusive os supervisores, passaram a contribuir mais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de se empregar corretamente os recursos disponíveis, na busca de melhorias de produtividade e qualidade dos produtos ou serviços é, atualmente, um diferencial na gestão empresarial. Hoje em dia há uma busca cada vez maior por melhorias nos processos na manufatura, e a simulação é uma das ferramentas que pode auxiliar nesta busca por melhorias, pois permite a modelagem de processos de forma a estudá-los para uma melhor compreensão de como funcionam e na tentativa de melhorá-los, aproveitando-se os conhecimentos dos especialistas no sistema.

Esta dissertação abordou o tema da simulação computacional aplicada à produção, focalizando especialmente os aspectos relacionados à introdução dessa ferramenta no ambiente de uma empresa fabricante de câmaras de ar pneumáticas para motocicletas na linha de manufatura, que emprega aproximadamente 500 funcionários e opera há mais de trinta anos no mercado, tendo seus produtos presentes em todo o território nacional. O objetivo geral foi o estudo do processo de introdução ao uso da simulação computacional nesta empresa, que além de câmaras pneumáticas também produz pneus para motocicletas.

Inicialmente, através da revisão bibliográfica, foram identificadas as etapas necessárias a um estudo de simulação. Além da teoria propriamente dita, também foram buscados casos práticos já descritos na literatura. Como resultado, as etapas identificadas a partir dos diferentes autores foram analisadas e, devido à semelhança apresentada, além de mostrar-se como uma abordagem mais completa, foi adotada a proposta de Law e Kelton (2000). Num segundo momento, estas etapas foram executadas na empresa estudada, com delimitação e foco centrados nas etapas iniciais, por seu impacto nos resultados de implementação. A primeira etapa consistiu na apresentação das possibilidades de utilização da ferramenta de simulação computacional em uma reunião inicial com o grupo gerencial da empresa, onde se solicitaram sugestões de desenvolvimento para o estudo.

A partir da definição de como a ferramenta de simulação poderia auxiliar nos processos da empresa estudada, partiu-se para as seguintes etapas: definição do problema e esclarecimento dos objetivos do estudo de simulação, a formulação e o planejamento do estudo, realização da coleta de dados e o desenvolvimento do modelo conceitual, sua verificação e posterior validação. Então houve a transcrição deste modelo conceitual em um modelo computacional, também verificado e validado. A execução das etapas na empresa estudada foi conduzida por

uma equipe composta por um analista de simulação, os tomadores de decisão e os especialistas no processo. Esta equipe teve a necessidade de estabelecer um consenso para o objetivo da utilização da simulação e de como esta ferramenta poderia auxiliar de forma concreta no processo produtivo da empresa.

Iniciando-se com a definição do problema e o esclarecimento dos objetivos, partiu-se para a formulação e o planejamento do estudo que consistiram em um auxílio na compreensão do sistema real, na busca por possíveis pontos de melhoria no processo, com relação a capacidade produtiva. As questões que surgiram a partir do esclarecimento do objetivo conduziram à observação do processo real, para que se pudesse elaborar uma proposta de modelo conceitual do processo. Definiu-se então, pela simulação da linha de produção de vulcanização de câmaras de ar, pois além do interesse em obter melhorias neste processo, haveria a necessidade do aumento na produção deste setor, devido à previsão de vendas em médio prazo. Após, foi realizada a coleta de dados a partir da observação do sistema real, além da busca dos dados de produção, de vendas e de paradas de máquina disponibilizados através de relatórios do sistema de *Enterprise Resource Planning* (ERP) da empresa. Já os dados técnicos de controle e medição dos equipamentos, foram pesquisados nas especificações definidas pelo departamento técnico de engenharia de produtos. Os dados de tempo de execução de tarefas foram medidos e tabulados pelo analista da simulação, acompanhado por algum especialista do processo. Toda esta etapa foi realizada com o acompanhamento de especialistas nos processos para que se pudesse desenvolver um modelo conceitual propriamente dito.

Esse modelo conceitual ainda foi mantido simples e apresentou como características iniciais o agrupamento das principais atividades do sistema real, além de ainda não serem tratados os tempos de *setup*, a quebra de equipamentos e possíveis refugos, por exemplo. Estas informações foram úteis na construção do primeiro modelo computacional que representou o modelo conceitual proposto. Para o modelo computacional foi utilizado o *software* ProModel, e a escolha por este programa deveu-se à facilidade na montagem e alteração das configurações e da modelagem do sistema real, além das características visuais oferecidas, que também facilitou a compreensão dos demais membros da equipe de modelagem. Com o modelo computacional pronto e testado quanto à sua consistência, houve a necessidade de uma validação dos resultados apresentados por este programa. Esta validação foi feita comparando-se os resultados com os dados históricos de produção e de forma visual pelos especialistas nos processos.

O modelo conceitual inicial foi revisado, buscando-se uma melhor representatividade da linha de produção. Nesta nova versão foram utilizados um conjunto de dados históricos para um período ampliado, de janeiro de 2007 a junho de 2008, para que se pudessem gerar distribuições probabilísticas para contemplar as variabilidades inerentes ao processo. Nesta modelagem foram considerados os tempos de *setup* de alguns equipamentos, além do acréscimo de turnos de trabalho de cada etapa do processo real. Esta nova modelagem conceitual serviu para a elaboração de um segundo modelo computacional contemplando as novas características, que posteriormente também foi validado pela equipe de simulação.

Os resultados obtidos pelas duas simulações sofreram uma análise pela equipe de simulação para determinar se a modelagem estava caminhando no sentido da representatividade quantitativa também, mesmo que este trabalho não tivesse a pretensão de alcançar um modelo quantitativamente representativo do sistema real observado. Com os resultados apresentados pela simulação computacional do sistema real, pôde-se a partir do estudo, identificar o real gargalo do processo, que era a etapa vulcanização, pois apresentava o maior percentual de utilização dos equipamentos. Esta conclusão não era imaginada inicialmente pela equipe de simulação, uma vez que os especialistas dos processos apontavam outra etapa, baseando-se em seus *insights* próprios.

Embora não houvesse a intenção de que esta modelagem apresentasse resultados representativos de dimensionamento e capacidade, com a validação quantitativa do modelo proposto, os resultados apresentados pela simulação proposta foram bem próximos daqueles apresentados pelo sistema real. Por exemplo, o valor do total de 150.672 unidades produzidas na simulação da etapa de vulcanização esteve coerente com os valores médios históricos de produção, que eram de 146.262 unidades para o período histórico de um ano e meio. Além disso, a simulação representou de maneira satisfatória oito dos nove itens simulados, com os valores apresentando coerência entre a simulação e a média histórica de produção para o período de um ano e meio. Esta comparação é apresentada na tabela 5.1. Estes resultados contribuíram para que a equipe considerasse a simulação válida.

Tabela 5 – Resultados da Simulação do Modelo 2 – Oito Itens

Local	Média de Unidades Produzidas	Média Histórica de Produção
Item 2	16.951,30	14.096,00
Item 3	9.204,4	11.016,89
Item 4	13.904,6	10.861,61
Item 5	11.101,9	9.558,44
Item 6	7.887,4	6.529,44
Item 7	5.235,2	3.936,94
Item 8	4.001,7	3.745,11
Item 9	4.536,3	3.588,56

Também se pôde observar que um menor número de paradas de máquinas para manutenção, na etapa de emenda automática, contribuiria para um aumento de produção desta etapa e melhora na qualidade das emendas, algo que o mercado consumidor exige. Observou-se também que o setor de vulcanização não operava com toda a sua capacidade devido à falta de funcionários capacitados para a tarefa de vulcanização, gerando uma ociosidade em seis vulcanizadoras. Poder-se-ia haver um remanejamento, com treinamento de funcionários da linha de emenda manual para as tarefas de vulcanização, caso a emenda manual fosse desativada.

Quanto à análise do processo de implantação da ferramenta de simulação na empresa, foi apresentada uma discussão dos pontos nos quais houve um processo de aprendizagem sobre o sistema real a partir da simulação, além de uma descrição das reações daqueles que estiveram envolvidos no estudo ao primeiro contato com a ferramenta de simulação. Também foram observados os resultados apresentados pela simulação computacional do sistema real. As dúvidas iniciais, quanto a uma nova técnica a ser implementada na empresa, convergiam para a questão de o porquê de se utilizar uma ferramenta nova e desconhecida, sendo que existiam outras técnicas conhecidas que poderiam auxiliar de uma forma semelhante.

O tópico relacionado ao aprendizado com a utilização da simulação mostrou que não existia uma pessoa que compreendesse o sistema real em sua totalidade, com um alto nível de detalhamento. Mesmo que houvesse essa pessoa, não se poderia deixar de trabalhar com equipes multifuncionais, pois se fazia necessária uma visão global de todo o sistema, com a opinião daqueles que estavam envolvidos direta e indiretamente nos processos inerentes. Houve a necessidade de que a equipe designada para o estudo fosse multidisciplinar, para que se tivesse uma maior facilidade em se repassar e transformar os conhecimentos tácitos, pertencentes aos especialistas nos processos, em explícito, através do compartilhamento do conhecimento, tornando-se possível a elaboração de um programa computacional que simulasse o sistema real. Isto conduziu à formação de uma equipe com diferentes níveis hierárquicos, cujos componentes possuíam uma visão própria do sistema, com uma tendência a dar mais importância às etapas do processo nas quais estavam inseridos, como já descrito em Carson (2005), Banks (1999) e Law e Kelton (2000).

Quanto aos resultados específicos de cunho comportamental pode-se citar a tendência de cada participante da equipe em manter foco no seu processo ao tentar explicitar os seus conhecimentos do sistema. Além disso, a adoção de uma técnica desconhecida na empresa e a necessidade de se ter um consenso na representação do sistema real acabou fortalecendo a interação de opiniões de todos aqueles que estiveram envolvidos no estudo, desde a etapa de formulação do problema até as últimas realimentações efetivadas. Este compartilhamento de experiências auxiliou na compreensão e explicitação dos processos, assim, com a mediação e a busca por um consenso foi possível criar-se uma visão global única do sistema estudado.

A concretização dos objetivos específicos permitiu concluir que a questão de se possuir na equipe de modelagem pessoas que conheçam e entendam o sistema a ser estudado torna maiores as chances de a simulação ser bem sucedida. Porém, a transcrição deste conhecimento deverá ser suficientemente consistente, a ponto de ser possível estruturá-lo, transformando-o em códigos computacionais.

Novas reuniões foram necessárias para se demonstrar a vantagem que a simulação tem em relação a outras técnicas, pois permite tratar das variabilidades inerentes ao processo de produção, com adaptações na forma de transmitir o conceito de variabilidade. A partir do momento em que o nível gerencial reconheceu alguns dos benefícios na utilização da ferramenta de simulação ficou mais fácil disseminar a importância de se utilizar esta ferramenta, pois havia sido alcançado o comprometimento e apoio dos níveis gerenciais com o estudo. Notou-se também que enquanto ainda não haviam sido apresentados resultados na

forma de dados, havia a desconfiança de como uma técnica trazida por alguém de fora do processo, sem conhecimento no mesmo, pudesse funcionar e contribuir com melhorias no desempenho do sistema real. Assim que os resultados começaram a ser divulgados, o nível de credibilidade na técnica foi aumentando gradativamente.

O respaldo garantido pela diretoria e pelo nível gerencial da empresa contribuiu para facilitar os contatos iniciais com os supervisores e funcionários da produção, uma vez que o analista da simulação era uma pessoa de fora do processo, mas não de fora da empresa. Este fato facilitou o contato e troca de informações no ambiente do chão-de-fábrica, uma vez que a receptividade por parte dos funcionários da produção demonstrou-se muito boa. Com o respeito demonstrado pela equipe de simulação, e ao sentirem que suas opiniões eram consideradas, os funcionários da produção, inclusive os supervisores, passaram a contribuir mais.

A partir destas conclusões práticas chegou-se a fase de implementação, tendo como uma das conclusões teóricas que existe a viabilidade de introduzir-se uma técnica nova em uma empresa de manufatura que ainda não a tenha implementada, para o caso de técnicas já consagradas em outros ambientes de manufatura. Porém este processo de implementação deve ser estruturado, e faz-se necessário que a técnica seja adaptada as particularidades do ambiente de cada empresa, respeitando-se os seus processos, com objetivo de se obter uma melhor aderência das etapas ao processo analisado. A necessidade de que todo o conhecimento pertencente à empresa seja repassado para uma forma explícita para os funcionários um facilitador na implementação de novas técnicas que estejam sendo incorporadas ao dia-a-dia da empresa, principalmente as desconhecidas. Porém, este é um processo que dependerá muito da colaboração dos níveis administrativos mais altos, uma vez que este apoio pode facilitar, ou não, o trabalho necessário a ser desenvolvido.

Algumas sugestões de cunho aplicado à empresa e outras sugestões de cunho mais amplo para prosseguimento na técnica de simulação em sistemas de manufatura podem ser sugeridas:

- a) A partir da avaliação do estudo do processo de implantação de uma nova ferramenta à cultura da empresa, continuar com a manutenção e melhoria na utilização da ferramenta de simulação nesta linha, ou em outras linhas de produção;
- b) Desenvolver projetos de experimentos, na busca por cenários possíveis de serem aplicados na empresa nesta linha de produção, ou mesmo, em outros setores da empresa;

- c) Executar um estudo de simulação para o item que não teve uma boa representatividade neste estudo, de maneira separada, levando-se em conta as particularidades deste item.
- d) Utilização do método apresentado para outra linha de produção dentro da mesma empresa, uma vez que esta empresa também é fabricante de pneumáticos para motocicletas e ciclomotores;
- e) Complementar este estudo com outras técnicas que possam ser compartilhadas, com uma maior ênfase na utilização de ferramentas que capacitam à criação de conhecimento na empresa;
- f) Aproveitar a multidisciplinaridade utilizada neste estudo para que seja aproveitada em outros projetos, aproveitando-se melhor o conhecimento tácito dos colaboradores, buscando torná-lo explícito no ambiente interno da empresa;

REFERÊNCIAS

BANKS, Jerry. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

BANKS, Jerry. Introduction to simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 31, 1999, Phoenix, Arizona, United States. **Proceedings of the 31st conference on Winter simulation**. Phoenix: ACM, 1999. p. 7-13.

BORBA, Gustavo S. **Desenvolvimento de uma Abordagem para a inserção da Simulação no Setor Hospitalar de Porto Alegre**. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 1998.

BRUSTOLIN, José R.; MALAQUIAS, Evaldo S. Simulação do processo de congelamento em uma unidade produtora de aves. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007**.

CARPINETTI Luiz C. R.; GERÓLAMO, M. C.; DORTA, M. Aplicação de um Modelo Conceitual para o Desdobramento de Melhorias na Manufatura. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPAD, 24, 2000, Florianópolis, SC, Brasil. **Anais do XXIV Enanpad, 2000**.

CARSON, J. S. Introduction to modeling and simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 37, 2005, Orlando, Florida, United States. **Proceedings of the 37th Conference on Winter Simulation**. Orlando: ACM, 2005. p. 16-23.

CASSEL, Ricardo A. **Desenvolvimento de uma Abordagem para a divulgação da Simulação no setor Calçadista Gaúcho**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 1996.

CASSEL, Ricardo A.; KLIPPEL, Marcelo; ANTUNES, José A. Considerações críticas acerca da relação do Mecanismo da Função Produção e a simulação computacional – um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2004, Florianópolis, SC, Brasil. **Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004**.

CASSEL, Guilherme L.; VACCARO, Guilherme L. A aplicação de simulação-otimização para definição do mix ótimo de produção de uma indústria metal-mecânica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007**.

CASTILHO, Marcos R. **O uso da simulação computacional como ferramenta de auxílio à tomada de decisão:** Aplicação em empresa de papelão ondulado. 2004. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2004.

CHIN, Shih Y. **Simulação do processo de retirada de itens em CDP:** Um Estudo de Caso em Empresa do Ramo Automotivo. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos: 2005.

CHWIF, L.; BARRETTO, M.R.P.; PAUL, R.J. Discrete event simulation model reduction: A causal approach. **Simulation Modelling Practice and Theory**, E.U.A., v. 14, n. 7, p. 930–944, 2006.

CORTÉS, P., et al. Simulation of freight traffic in the Seville inland port. **Simulation Modelling Practice and Theory**, E.U.A., v. 15, n. 3, p. 256–271, 2007.

COSTA, L.F.C. **O uso da simulação computacional como ferramenta de análise:** um estudo de caso em empresa de câmaras de bronzeamento. 2002. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2002.

FOWLER, J.W; ROSE, O. Grand Challenges in Modeling and Simulation of Complex Manufacturing Systems. **Simulation**, E.U.A., v. 80, n. 9, p. 469-476, set. 2004.

HARREL C.R., et al. **Simulação Otimizando os Sistemas**, São Paulo: IMAM, 2002.

IUCKSCH, Alan M. **Simulação de Sistemas de Gestão de Produção em Manufatura Sazonal.** 2005. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2005.

KELTON, W.D. A tutorial on design and analysis of simulation experiments. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 27, 1995, Arlington, Virginia, United States. **Proceedings of the 27th Winter Simulation Conference.** Arlington: ACM, 1995. p. 24-31.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation Modeling and Analysis.** 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LEÃO, Álvaro G. **Um modelo de gerenciamento de desempenho baseado em processos.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 1998.

MAGRO, Alexandra B.M. **Dimensionamento de equipes baseado em modelos de previsão, simulação e alocação: caso de uma empresa o setor elétrico.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2003.

MENEZES, Alex F.S. **Desenvolvimento de uma abordagem para a divulgação da simulação computacional em sistemas postais.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 1998.

MONTEVECHI, José A. B.; DUARTE, Roberto; NILSON, Gustav V. O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura. **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, n.1, p. 15-29, dez. 2003.

MONTEVECHI, J. A.; ALMEIDA FILHO, R. G.; MEDEIROS, A. L. Application of factorial designs for reducing factors in optimization via discrete-event simulation. In WINTER SIMULATION CONFERENCE, 38, 2006, Monterey, California, United States. **Proceedings of the 38th conference on Winter simulation.** Monterey: ACM, 2006. p. 1977-1984.

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments.** 4. ed. New York: John Wiley, 1997.

MÜLLER, Cláudio J. **Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação de desempenho e gerenciamento de processos (MEIO - Modelo de estratégia, indicadores e operações.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2003.

NANDI, A.; ROGERS, P. Using simulation to make order acceptance/rejection decisions **Simulation**, E.U.A., v. 80, n. 3, p. 131-142, mar. 2004.

OLIVEIRA, U. R.; MONTEVECHI, J. A. B.; MARINS, F. A. Integração entre o mapeamento de processos e a simulação de eventos discretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2007.

PAUL, R. J., ELDABI, T., KULJIS, J., and TAYLOR, S. J. Is problem solving, or simulation model solving, mission critical? In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 37, 2005, Orlando, Florida, United States. **Proceedings of the 37th Conference on Winter Simulation.** Orlando: ACM, 2005. p. 547-554.

PECKER, Caroline C. **Simulação de segmentos rodoviários de pista simples com faixas adicionais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2003.

PEGDEN, C.D.; SADOWSKI, R.P.; SHANNON, R.E. **Introduction to Simulation** Using SIMAN. McGraw-Hill: New York, 1995.

PEIXOTO, Eduardo C.; PINTO, Luiz R. Gerenciamento de estoques via previsão de vendas agregadas utilizando simulação. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 569-581, Set./Dez. 2006.

PINHO, Alexandre F., et al. Aumento de produtividade em uma linha de montagem de chassis automotivos através da simulação computacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26, 2006, Fortaleza, CE, Brasil. **Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2006.

RIBEIRO, Fábio R. **Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo: 2003.

ROBINSON, S. **Simulation: The Practice of Model Development and Use**, West Sussex: John Wiley, 2004.

RODRIGUES, Luís H.; CASSEL, Ricardo A.; PELLEGRIN, Ivan. Uma abordagem metodológica para o uso da simulação de eventos discretos no dimensionamento do nível de estocagem de derivados de petróleo em refinarias. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23, 2003, Ouro Preto, MG, Brasil. **Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2003.

SANTORO, Miguel C.; MORAES, Luiz H. Simulação de uma linha de montagem de motores. **Gestão & Produção**. v.7, n.3, p.338-351, dez. 2000.

SARGENT, Robert G. Verification and validation of simulation models. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 37, 2005, Orlando, Florida, United States. **Proceedings of the 37th Conference on Winter Simulation**. Orlando: ACM, 2005. p. 124-137.

SCHAPPO, Adriano J. **Um método utilizando simulação discreta e projeto experimental para avaliar o fluxo na manufatura enxuta**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2006.

SCHMITT, J.W; TAYLOR, R.E. **Simulation and Analysis of Industrial Systems**. Illinois:Homewood, 1970.

SCHROER, Bernard J. Simulation as a Tool in Understanding the Concepts of Lean Manufacturing. **Simulation**. v. 80, n. 3, p. 171-175, mar. 2004.

SIM, E.; KIM, H.; PARK, C.; PARK, J. Performance Analysis of Alternative Designs for a Vehicle Disassembly System Using Simulation Modeling. In: ASIAN SIMULATION CONFERENCE, 3, 2004, Jeju Island, Korea. **Modeling and Simulation: Theory and Applications**. Korea: AsiaSim, 2005. p. 59-67.

TREIN, Fabiano A. **Análise e melhoria de layout de processo na indústria de beneficiamento de couro**. 2001. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2001.

WILLIAMS, Edward J.; VANBELLE, Ryan. Exploring Alternatives in an Automotive Industry Job Shop Using Simulation. **Simulation**, v. 81, n. 9, p. 637-643, set. 2005.

ZAGONEL, Evaldo; CLETO, Marcelo G. Estudo para a implantação do fluxo unitário de peças numa célula de usinagem por meio de simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 27, 2007, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2007.