

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Bacharelado em Engenharia de Produção

Pedro Pessoa de Carvalho

Vitor Lucas Rodrigues de Paula

Aplicação da Modelagem e Simulação de Sistemas em uma Indústria Automobilística

Belo Horizonte

2013

Pedro Pessoa de Carvalho
Vitor Lucas Rodrigues de Paula

Aplicação da Modelagem e Simulação de Sistemas em uma Indústria Automobilística

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Produção da Pontifícia Universidade Católica
de Minas Gerais, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Produção.

Orientadora: Maria Aparecida Fernandes
Almeida

Belo Horizonte
2013

Pedro Pessoa de Carvalho
Vitor Lucas Rodrigues de Paula

Aplicação de Modelagem e Simulação de Sistemas em uma Indústria Automobilística

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Produção da Pontifícia Universidade Católica
de Minas Gerais, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
de Produção.

Orientadora: Maria Aparecida Fernandes
Almeida

Prof.^a Maria Aparecida Fernandes Almeida, Dra. – PUC Minas

Prof. José Luiz Silva Ribeiro, Dr. – PUC Minas

Prof. Renato Moreira Hadad, Dr. – PUC Minas

Belo Horizonte, 27 de Maio de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus, por nos dar força e sabedoria a cada dia na busca dos nossos objetivos.

Ao apoio e carinho de nossos familiares, a base de sustentação do nosso caminho, são eles que nos confortam e nos incentivam, nos bons e maus momentos.

Aos nossos mestres, pelos ensinamentos proporcionados ao longo desses anos, e em especial, a nossa orientadora Maria Aparecida Fernandes Almeida – Cida, pela confiança na nossa capacidade e em nossas ideias, por toda atenção e suporte que nos foi oferecido.

A todos nossos colegas e aqueles que estiveram ao nosso lado e contribuíram conosco nessa caminhada.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso de modelagem e simulação em uma linha de processo de usinagem do cabeçote, da unidade mecânica, na Fiat Automóveis S/A, com o objetivo de mapear o sistema e assim possibilitar a identificação dos gargalos e balanceamento do processo a fim de se obter melhorias. A linha estudada conta com equipamentos como centros de usinagem, lavadoras industriais e processos manuais de produção. Para garantir a maior confiabilidade da simulação, foram feitas coleta de dados por um longo período de tempo, para que o sistema fosse simulado da mesma maneira como é a realidade. Vários cenários foram desenvolvidos a partir do software Arena, até que uma melhor solução fosse encontrada, avaliando o ganho produtivo, as necessidades do processo e a viabilidade econômica.

Palavras-Chave: Simulação. Gargalos. Melhoria. Balanceamento.

ABSTRACT

This work presents a case study of modeling and simulation in a process machining line cylinder head, the mechanical unit, at Fiat Automóveis S/A, with the objective of mapping the system and thus enable the identification of the bottlenecks and balancing processing in order to obtain improvements. The studied line counts on some equipment as machining centers, industrial washers and process manuals of production. To ensure high reliability of the simulation, data collection were performed for a long period of time, so that the system was simulated in the same manner as the reality. Various scenarios were developed from the software Arena, until a better solution was found by evaluating the productive gain, process needs and economic viability.

Keywords: Simulation. Bottlenecks. Improvement. Balancing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema Complexo de Filas.....	16
Figura 2: Passos de um Estudo de Modelagem e Simulação	17
Figura 3: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 10.....	25
Figura 4: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 20.....	25
Figura 5: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 30.....	26
Figura 6: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 40.....	26
Figura 7: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 50.....	27
Figura 8: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 60.....	27
Figura 9: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 70.....	27
Figura 11: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 90.....	28
Figura 12: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 100.....	29
Figura 13: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 110.....	29
Figura 14: Participação de Vendas da FIAT no Mercado Brasileiro em 2012	30
Figura 15: Unidade Operativa Prensas	32
Figura 16: Unidade Operativa Funilaria.....	32
Figura 17: Unidade Operativa Pintura	33
Figura 18: Unidade Operativa Mecânica	34
Figura 19: Unidade Operativa Montagem Final.....	35
Figura 20: Fluxograma do Processo	36
Figura 21: Fluxograma Lógico Criado no Software Arena.....	37
Figura 22: Definição de Componentes da Modelagem	37
Figura 23: Comparação Entre Ocupação Atual x Proposta das Operações	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Cronograma das Atividades	22
Quadro 02: Cenário Atual do Sistema Analisado	39
Quadro 03: Capacidade Produtiva Semanal Atual do Processo	40
Quadro 04: Cenário Proposto Para o Sistema Analisado	41
Quadro 05: Dados Atuais do Sistema	41
Quadro 06: Dados Propostos Para o Sistema.....	42
Quadro 07: Cenário Entre o Real e o “Ideal”	42
Quadro 08: Capacidade Produtiva Semanal Proposta Para o Processo	44
Quadro 09: Custo de Mão de Obra x Custo do Investimento	45
Quadro 10: Análise Financeira do Investimento	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivos	12
<i>1.2.1 Objetivo Geral</i>	<i>12</i>
<i>1.2.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>12</i>
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 Teoria das Filas.....	14
2.2 Etapas da Modelagem e Simulação	16
2.3 Vantagens de se Utilizar a Simulação.....	19
2.4 Tipos de Sistemas de Simulação	20
3. METODOLOGIA	21
3.1 Planejamento do Projeto.....	22
3.2 Cronograma das Atividades	22
3.3 Coleta de Dados.....	23
3.4 Tratamento dos Dados	23
3.5 Variável das Modelagens	25
4. ESTUDO DE CASO	30
4.1 A Empresa	30
4.2 Plano de Simulação	35
<i>4.2.1 Formulação e Análise do Problema</i>	<i>35</i>
<i>4.2.2 Formulação do Modelo Conceitual</i>	<i>36</i>
4.3 Análise dos Resultados	38
5. CONCLUSÃO	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
7. APÊNDICE A – RELATÓRIO DO CENÁRIO PROPOSTO NO ARENA.....	52
8. APÊNDICE B –AUTORIZAÇÃO FORMAL FIAT AUTOMÓVEIS	61

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência da globalização dos mercados, a redução de custos e otimização de processos produtivos são de extrema importância para manter a competitividade. A simulação de sistemas orientada por softwares tem se tornado cada vez mais uma ferramenta de apoio na tomada de decisões estratégicas dentro das empresas.

Com transformações aceleradas no cenário econômico mundial, todo investimento deve ter um alto grau de confiabilidade no retorno para a empresa. Modelar e simular possíveis situações antes das modificações ou implantações se torna cada vez mais comum entre as grandes empresas, baseado nessa ótica.

Modelar e simular uma linha de produção é interessante para saber onde estão os pontos que precisam de uma atenção especial na busca por melhorias. É possível visualizar onde estão concentradas as maiores perdas, as limitações do processo denominados de gargalo, os lead times excedentes, entre outros.

A simulação auxilia na implantação de novas linhas de produção, novas máquinas, mudança de produtos, fabricação de novos produtos, mudança de *layouts*, entre outras tomadas de decisões importantes no ambiente fabril.

1.1 Justificativa

A concorrência no mercado automobilístico está cada vez mais acirrada, principalmente com a chegada de carros populares das marcas asiáticas chinesas, japonesas e coreanas. Essas montadoras vêm se destacando, com carros bastante equipados, modernos, com design arrojado e principalmente preços reduzidos.

Tendo em vista esta alta concorrência, qualquer mudança promovida pelas montadoras gera um impacto para o mercado, seja ele percebido pelo público como o lançamento de um novo carro, novos acessórios, cores diferentes, entre outros. Ou ainda internamente, com mudanças no processo produtivo, por exemplo. Qualquer economia durante o processo gera alterações na hora de comercializar o automóvel.

A empresa estudada utiliza uma metodologia de produção chamada WCM – World Class Manufacturing, que entre seus objetivos prioriza os seguintes conceitos: Zero quebras, zero perdas, zero estoque e zero defeito. A partir dessa filosofia, com a necessidade de entender o processo produtivo em estudo, foi preciso realizar um trabalho mais aprofundado com a certeza de um ganho de conhecimento passível de se propor melhorias ao sistema, sem realizar métodos de tentativa e erro.

Tomando por base uma linha de produção que mais gera problemas, foi preciso primeiramente identificar qual o gargalo do processo. A partir disso, realizar o balanceamento da linha a fim de se achar uma maneira ótima de conduzir o processo.

Portanto, utilizar software de modelagem e simulação seria o mais interessante para descobrir as variáveis de maior impacto negativo no sistema. Ferramentas de estudo de campo na área de pesquisa operacional, teoria das filas, entre outras, seriam a base para o desenvolvimento do modelo.

1.2 Objetivos

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que este trabalho pretende atingir.

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar o gargalo da linha de produção estudada utilizando técnicas de simulação de sistemas para avaliar a melhor escolha para balanceamento de uma linha de usinagem em uma indústria do setor automobilístico, utilizando o software de simulação ARENA.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho, citados a seguir, representam tópicos a serem desenvolvidos baseados em estudo de uma montadora automobilística:

- Desenvolver uma revisão teórica e bibliográfica sobre modelagem e simulação;
- Utilizar o conceito de teoria das filas para auxílio na tomada de decisões.
- Realizar trabalhos de campo voltado à coleta de dados sobre o real funcionamento do processo;
- Aplicar os conceitos de Modelagem e Simulação para identificar gargalos e pontos críticos do processo;
- Identificar soluções ótimas para o balanceamento de linha.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

São varias as definições para simulação, por isso algumas foram abordadas para exemplificar o conceito básico da metodologia utilizada nesse trabalho acadêmico.

De acordo com Schiber citado por Freitas Filho (2008),

“Simular implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real, numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”

As definições para simulação são muitas, de acordo com Naylor citado por Almeida (2009), “[...] é uma técnica numérica para realizar experiências em meio eletrônico, como um computador digital, envolvendo determinados tipos de modelos lógicos que conseguem com um grau elevado de precisão descrever o comportamento de um sistema econômico ou de negócios (ou um aspecto parcial de um deles) sobre extensos intervalos de tempo.” (Naylor citado por Almeida, 2009).

Simulação é tratada por Pegden (1991) como sendo um processo de modelar um sistema existente, ou projetar um modelo de acordo com dados reais e por meio computacional conduzir experiências e com esse modelo tem o objetivo de entender o seu comportamento, avaliando assim estratégias para sua operação. Com base nessa definição resolveu-se aplicar a técnica de modelagem e simulação, para identificar pontos críticos e propor melhorias de forma a aumentar a produtividade e reduzir os estoques intermediários.

Modelar uma linha de produção e simular permite ao engenheiro ou analista realizar um estudo sobre a linha de produção e tentar responder algumas questões do tipo: quantos equipamentos são suficientes para essa operação? Qual o tamanho do Buffer entre as operações?

O principal benefício da utilização da ferramenta de simulação é que as questões sobre as modificações na linha, podem ser respondidas sem que o sistema no qual esta sendo estuda sofra qualquer intervenção para testes físicos, modificando fisicamente a linha.

Segundo Freitas Filho (2008), a técnica da simulação e seus conceitos básicos são, em geral, facilmente compreensíveis e justificáveis, tanto para usuários

quanto para os gerentes que tomam a decisão de aplicá-la em seus projetos. Geralmente, essa aceitação deve-se a fatores, tais como:

- Um estudo simulado admite aos analistas considerarem níveis de detalhes jamais imaginados há pouco atrás, permitindo que diferenças de comportamento, às vezes sutis, venham a ser notadas. As abordagens tradicionais, ao contrário, empregam estudos preliminares estáticos e com tantas simplificações que, muitos projetos, depois de implantados, acabam sofrendo inúmeras modificações e adaptações;
- A possibilidade do emprego de animações, permitindo que se visualize o comportamento dos sistemas durante as simulações;
- Um estudo simulado pode economizar tempo e recursos financeiros no desenvolvimento de projetos, trazendo ganhos de produtividade e qualidade. Os custos de tais análises são, em geral, insignificantes se comparados aos seus benefícios;
- A percepção de que o comportamento modelo simulado é muito semelhante ao do sistema real.

2.1 Teoria das Filas

De acordo com ALMEIDA (2009), a Teoria de Filas é um método analítico que engloba problemas de congestionamento através de formulação matemática.

Segundo Prado (2009), a “teoria das filas” é um método analítico que aborda o assunto das filas por meio de fórmulas matemáticas. Já a simulação é uma técnica que, usando o computador digital, procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo.

Andrade (2004) relata que este assunto é um dos pilares abordados pela Pesquisa Operacional com diversas aplicações no mercado, seja na produção de bens ou serviços. A Teoria das Filas trata de problemas de congestionamento de sistemas, onde a característica principal é a presença de “clientes” solicitando “serviços” de alguma forma.

Uma das variáveis que está presente em um sistema de produção em série são as filas, quando os equipamentos não estão balanceados quanto ao tempo de processamento, ou seja, os tempos de processamento são muito discrepantes entre os equipamentos, acontece então o que chamamos de filas, produtos esperando na entrada dos equipamentos para serem processados.

Almeida (2009) define alguns parâmetros bases para o sistema de filas, são eles:

- Taxa de chegadas;
- Capacidade (taxa de atendimento);
- Tempo entre chegadas sucessivas;
- Tempos de atendimento;
- Capacidade da fila (finito vs. infinita);
- Disciplina (FIFO/FCFS, SIRO, LIFO, prioridades);
- Outros fatores (efeitos de feedback, etc.).

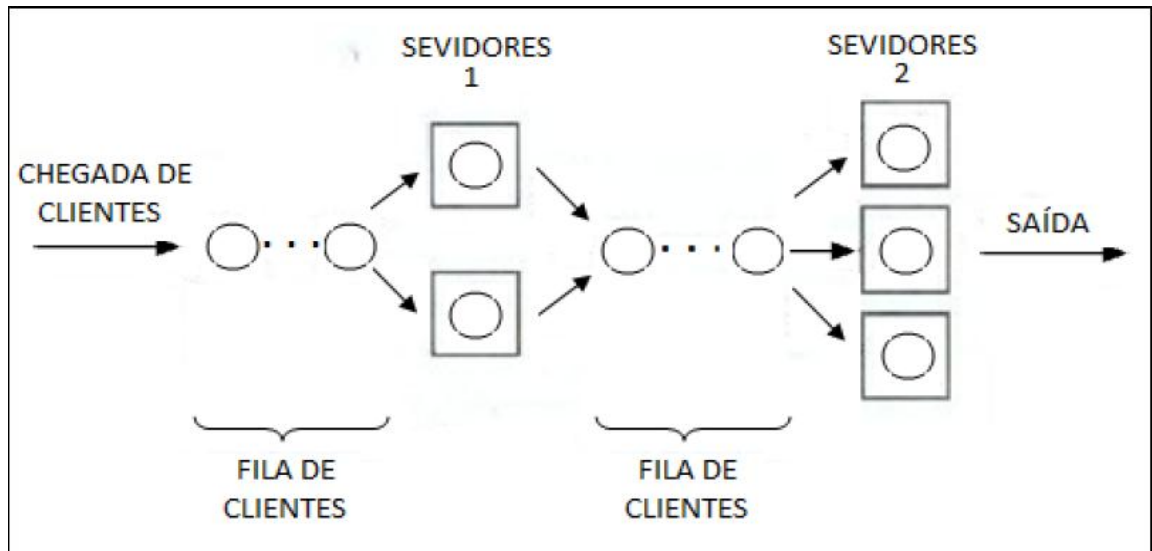
Ainda segundo Almeida (2009), existem algumas características importantes a serem analisadas para se utilizar o sistema de Teoria das Filas:

- Processo de chegada: ritmo médio de chegadas e os intervalos de chegadas;
- Processo de atendimento: tempo médio de atendimento/processamento no Sistema;
- Número de servidores: quantidade de recursos disponíveis para atendimento/processamento;
- Disciplina da fila: ordem de atendimento;
- Tamanho médio da fila: média do tamanho da fila do sistema;
- Tamanho máximo da fila: quantidade máxima de clientes em espera;
- Tempo médio de espera na fila: somatório do tempo de atendimento dos clientes que estão sendo processados no sistema.

O sistema abaixo mostrado na figura 1 representa um sistema de filas com os clientes chegando para serem atendidos pelos servidores. Posterior a cada servidor é possível visualizar os produtos gerados pela passagem dos clientes

por cada servidor, sendo que o número de servidores variam de acordo com os setores.

Figura 1: Sistema Complexo de Filas



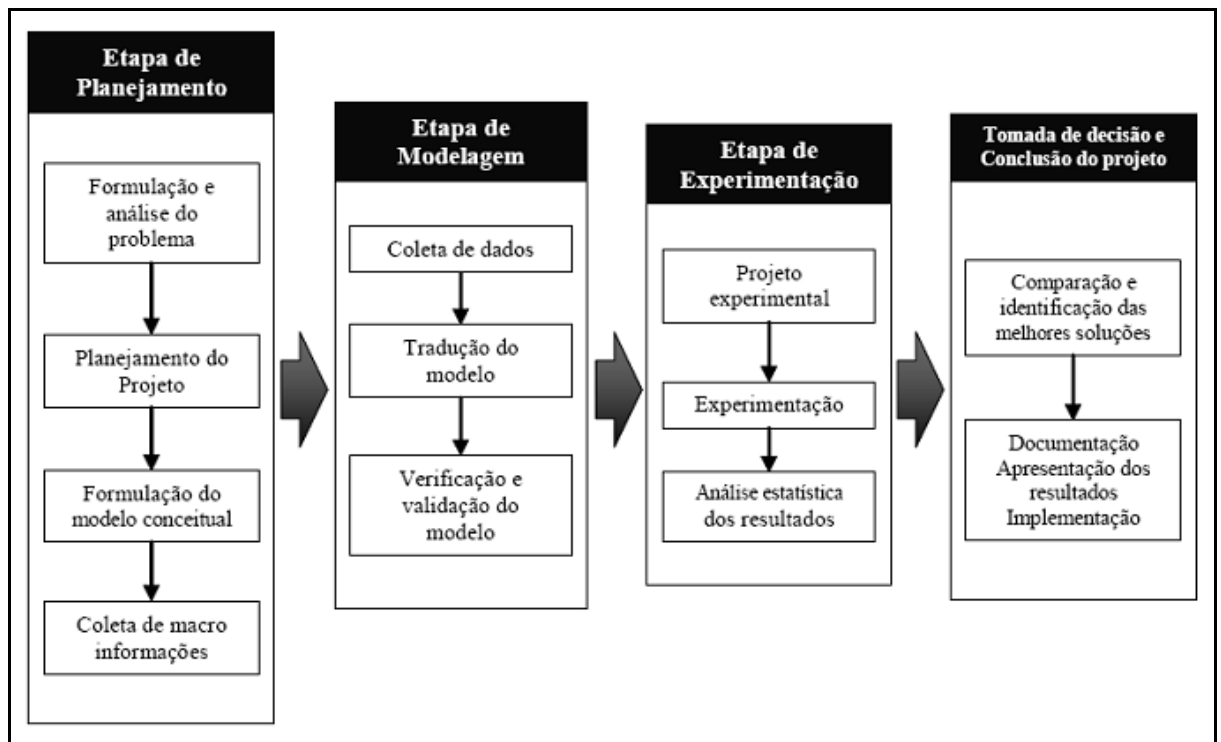
Fonte: ANDRADE (2008)

O processo analisado na indústria automobilística é basicamente um sistema de filas, aonde as peças chegam ao início do processo e percorrem uma a uma todas as operações até saírem da linha como produto acabado, para simulação desse processo foi utilizado um modelo dinâmico para modelar e simular o sistema com o auxílio de software de simulação.

2.2 Etapas da Modelagem e Simulação

De acordo com Banks (1984) e Pedgen (1990) citados por Freitas (2008), é necessário seguir alguns passos “básicos” para se formular um modelo e gerar diferentes resultados através da simulação desse modelo, conforme figura 2 e abaixo explicação dos passos:

Figura 2: Passos de um Estudo de Modelagem e Simulação



Fonte: FREITAS (2008)

3. Etapa de Planejamento

- **Formulação e análise do problema:** definição clara dos propósitos e objetivos do problema que será abordado pelo estudo de simulação;
- **Planejamento do projeto:** verificação da suficiência de recursos. Deve incluir os vários cenários que serão investigados com seus respectivos custos e necessidades, além de um cronograma das atividades que serão desenvolvidas;
- **Formulação do modelo conceitual:** esboço gráfico do sistema, definindo-se os componentes, descrevendo-se as variáveis e as interações lógicas.
- **Coleta de macro informações e dados:** coleta de fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências ou arquivos históricos que serão utilizados como entrada.

4. Etapa de Modelagem

- Coleta de dados: consiste da coleta de dados selecionados no sistema real;
- Tradução do modelo: codificação do modelo em uma linguagem de simulação. Geralmente esta etapa é feita com a utilização de um software de simulação.
- Verificação e validação: verificação dos resultados obtidos para aferição de crédito e representatividade do modelo real. Várias técnicas estatísticas podem ser utilizadas quando os dados reais não estejam disponíveis para comparação dos resultados, o envolvimento dos gerentes ou especialistas é de fundamental importância para garantir a representatividade do modelo.

5. Etapa de Experimentação

- Projeto experimental final: projeto do conjunto de experimentos que produza a informação desejada, detalhando-se como cada teste deve ser realizado, com o intuito de atender às expectativas;
- Experimentação: execução das simulações para obtenção dos dados;
- Análise Estatística dos resultados: interpretação e análise dos resultados para inferir sobre os resultados obtidos nas simulações, verificando a necessidade de um maior número de replicações para melhorar a precisão estatística.

6. Tomada de decisão e Conclusão do projeto

- Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções: comparação da simulação obtida com modelos já existentes, verificando qual oferece o melhor resultado;
- Documentação: documentar significa explicitar tudo o que foi desenvolvido durante o estudo de forma clara e consistente para que possa servir como guia para uso do modelo e dos resultados já obtidos e caso sejam necessárias modificações no mesmo;
- Apresentação dos resultados e implementação: os resultados devem refletir os esforços das etapas de desenvolvimento e envolver ainda questões técnicas, operacionais e financeiras relativas aos objetivos da organização. Neste ponto, a animação é muitas vezes utilizada, pois facilita o entendimento do modelo implementado.

2.2 Vantagens de se Utilizar a Simulação

De acordo com Freitas (2008), existem várias vantagens de utilizar a simulação em uma indústria, entre essas vantagens encontram-se:

- Identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual.
- Pode-se compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação ao desempenho e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
- Os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas, novos procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informações e etc. podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;

- O tempo pode ser controlado, comprimido ou expandido, permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los.

2.3 Tipos de Sistemas de Simulação

Segundo Freitas (2008) os sistemas de simulação podem ser classificados como: estáticos ou dinâmicos, os modelos dinâmicos se dividem em determinísticos e aleatórios, os modelos aleatórios por sua vez se divide em contínuos e discretos.

Os modelos dinâmicos são descritos por variáveis que se modificam com o tempo, ou seja, de acordo com o período simulado as variáveis vão sofrer alterações e não permaneceram do mesmo modo que foram inseridas no modelo.

Os modelos determinísticos são aqueles que descrevem o comportamento dinâmico do sistema e assume que não que não existe efeitos aleatórios, diferente dos sistemas aleatórios que descrevem o comportamento dinâmico do sistema mostrando os efeitos aleatórios.

As mudanças de estados das variáveis podem ocorrer como pontos discretos ou de forma contínuo ao longo do tempo. Quando os valores das variáveis se alteram de forma suave, o modelo é contínuo, caso contrário, ele é discreto. No âmbito da simulação computacional, a separação entre os modelos contínuos e discretos é mais artificial, pois os computadores operam apenas com quantidades discretas. A diferença resume-se ao fato de que as variáveis contínuas sofrem alterações em seu valor em intervalos de tempo menores que as variáveis discretas, o que causará um aumento no tempo de simulação.

3. METODOLOGIA

A metodologia experimental é baseada de alguns passos para elaboração do modelo, simulação de algumas situações, geração de resultados.

É necessário inicialmente conhecer o sistema de produção a ser estudado, de acordo com Pegden (1991), de uma forma geral a simulação é um processo mais amplo que tem o método experimental como:

- Descrever o comportamento do sistema;
- Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas;
- Usar o modelo para compreender o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação;

Baseado nesses conceitos foi sugerido algumas etapas para formulação do estudo de caso.

1. Utilização da metodologia de simulação de sistemas, simulando o processo produtivo da empresa de usinagem do cabeçote do motor;
2. Seleção do software de simulação: ARENA;
3. Modelagem da linha de produção, utilizando um fluxograma para representar todas as etapas do processo estudado;
4. Coleta de dados: Tempo de processamento de todas as etapas do processo produtivo e intervalo de chegada das peças na linha;
5. Avaliar estatisticamente todos os dados coletados;
6. Fazer o modelo da situação atual no software ARENA;
7. Validação do modelo, simulando o processo da forma atual;
8. Identificar pontos críticos na linha, através dos relatórios gerados pelo software;
9. Propor melhorias para a linha de produção através de modificações no modelo, conforme identificação dos pontos críticos;

3.1 Planejamento do Projeto

Após desenvolver um estudo inicial e realizar as premissas básicas para se implementar um projeto desse nível, o mesmo foi apresentado a gerência da empresa, que autorizou o seu desenvolvimento.

Foram disponibilizados os recursos necessários para elaboração do trabalho, com a utilização de computadores contendo o software de simulação Arena.

O setor de análise apoiou a coleta de dados com o fornecimento de informações sobre as tomadas de tempos e saturação dos processos. Os setores metodológico e de manutenção também proveram apoio para sustentação do trabalho oferecendo informações sobre os métodos e manutenção de máquinas.

3.2 Cronograma das Atividades

Para que uma lógica de trabalho fosse desenvolvida e o acompanhamento de cada objetivo definido fosse realizado, foi elaborado um cronograma simplificado de análise que serviu como apoio para a sequência do processo, conforme quadro 01.

Quadro 01: Cronograma das Atividades

ETAPAS:	2012				2013				
Procedimentos	Ago	Set	Out	Nov	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Escolha do tema									
Entrega de intenção de pesquisa									
Levantamento bibliográfico									
Introdução									
Elaboração da justificativa									
Definição de objetivos									
Formação de referencial teórico									
Metodologia									
Apresentação primeira parte									
Pesquisa bibliográfica e documental									
Coleta de dados									
Análise dos dados									
Observação no local de pesquisa									
Formação do modelo									
Simulação de cenários									
Análise de relatórios									
Propostas de melhorias									
Desenvolvimento do artigo acadêmico									
Conclusão									
Entrega do trabalho e Apresentação									

Fonte: Elaborado pelos Autores

3.3 Coleta de Dados

A coleta de dados foi feita no local utilizando cronômetros e dados fornecidos pela análise do trabalho, que é a área responsável por estudo de tempos e movimentações. Esse setor trabalha diretamente com o levantamento e avaliações dos tempos e métodos de trabalho na empresa, portanto existe uma base científica para o fornecimento das informações utilizadas.

Por baseamento metodológico, foram realizadas várias filmagens para analisar se o processo é padronizado, algo que influencia diretamente na tomada de tempo.

Foram feitas planilhas nas quais foram anotados os horários em que cada lote entrou e saiu de cada um dos processos. Dessa forma foram analisadas todas as informações sobre os tempos de execução das atividades.

De posse dos dados, foram feitos gráficos a fim de demonstrar as distribuições estatísticas de cada processo. Para tanto foi utilizada a ferramenta *Input Analyzer* do software Arena.

3.4 Tratamento dos Dados

Conforme os dados estavam disponíveis para o início das análises foi realizado o tratamento de todos os dados.

Nessa etapa foi necessário bastante atenção e uma análise mais profunda, para garantir que as respostas da simulação não sejam contaminadas por dados ou por dados que mascaram a realidade do sistema atual. Todas as informações devem ser organizadas de forma compreensível para facilitar discussões sobre a área analisada.

O software Excel foi utilizado para tabular todos os dados, conforme cada etapa dessa linha de produção.

A criação do modelo de simulação exigiu a inserção de dados de conceitos oriundos da teoria das filas, tais como: Taxa de chegada, taxa de saída, tempo de processamento, número de entidades, número de recursos, etc. A Subseção 5.6.1 mostra o tratamento estatístico dos dados através do *Input Analyzer*. Alguns dados foram excluídos das análises pelas seguintes razões abaixo:

- Tempos atípicos durante a operação, devido à intervenção dos colaboradores;
- Falta de peças, ocasionando em uma parada de linha;
- Alarmes gerados nas máquinas durante a coleta dos tempos;
- Aumento da velocidade de usinagem, devido à recuperação da produção;
- Redução da velocidade de usinagem, para evitar quebras;
- Colaboradores com velocidade acima do normal para executar determinadas operações.

Sabe-se que, as menores variações no ambiente de trabalho podem prejudicar a excelência na execução dos serviços, portanto, esta foi a principal razão de se eliminar dados não confiáveis. Este é um motivo-problema que distancia os resultados finais da modelagem dos resultados reais.

Posteriormente a definição do fluxograma lógico do modelo, foi utilizado o Input Analyzer, para execução do teste de aderência e verificar quais as distribuições de probabilidade que se adéquam para cada uma das entidades do modelo mostradas acima. O Input Analyzer é uma ferramenta provida como um componente padrão do software Arena, com o objetivo de determinar a qualidade da forma da distribuição de probabilidade a partir da extração do gráfico da distribuição juntamente com a expressão que a determina. Os dados coletados com o auxílio do cronometro, foram inseridos individualmente para cada um dos blocos.

De acordo com Almeida (2009) o software input analyzer calcula os valores inseridos fazendo o teste de aderência usando os testes estatísticos do qui-quadrado e do KS-Kolmogorov-Sminov, adequando os valores inseridos para uma probabilidade que melhor representa esses dados.

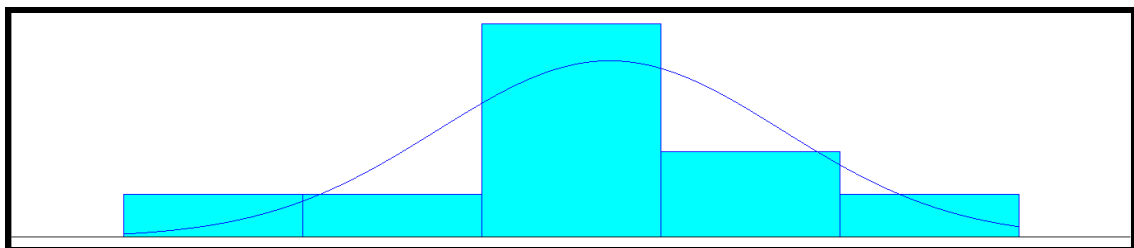
3.5 Variável das Modelagens

As distribuições ajustadas de dados existentes pelo Input Analyzer são mostradas a seguir:

“Para o bloco create não foi utilizado distribuição de probabilidade, pois as peças chegam à linha a cada 2 minutos e sempre constantes”.

- Centro de Usinagem (operação 10)
Distribuição = Normal
Expressão Obtida = $\text{NORM}(2.08, 0.0135)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 3.

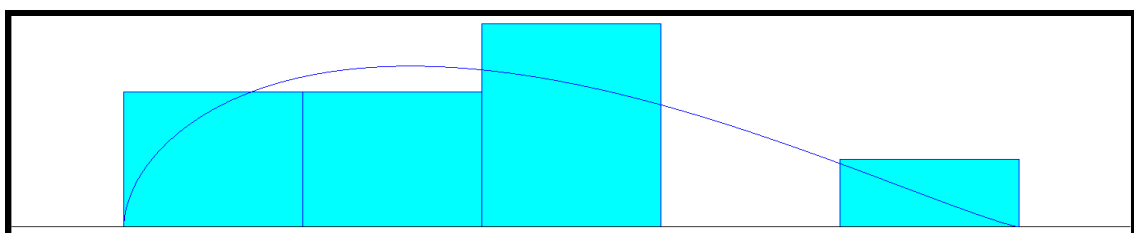
Figura 3: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 10



Fonte: Dados da Pesquisa

- Centro de Usinagem (operação 20)
Distribuição = Beta
Expressão Obtida = $6.39 + 0.06 * \text{BETA}(1.55, 2.17)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 4.

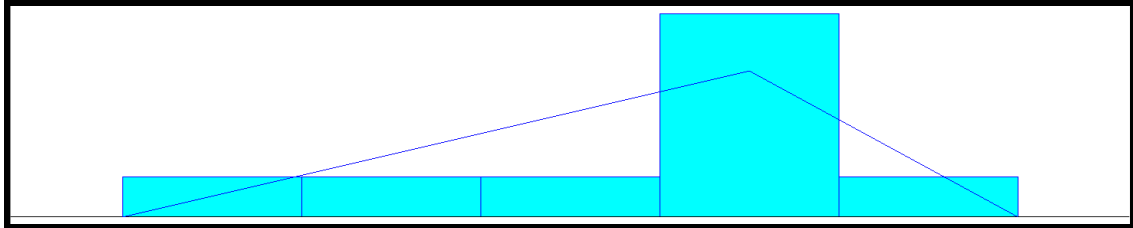
Figura 4: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 20



Fonte: Dados da Pesquisa

- Distribuição de Probabilidade – Lavadora (operação 30)
Distribuição = Triangular
Expressão Obtida = $\text{TRIA}(1.54, 1.56, 1.57)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 5.

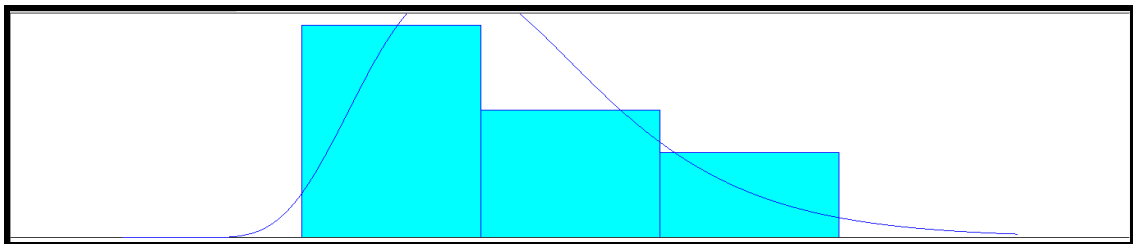
Figura 5: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 30



Fonte: Dados da Pesquisa

- Implantação de Anéis e Guias de Válvulas (operação 40)
Distribuição = Log - Normal
Expressão Obtida = $1.66 + \text{LOGN}(0.0133, 0.00462)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 6.

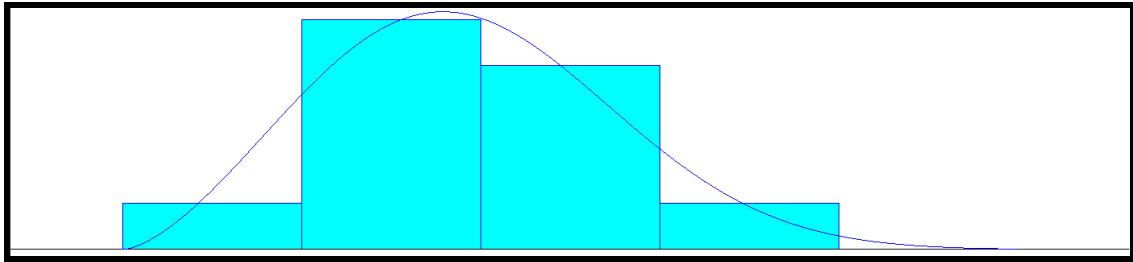
Figura 6: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 40



Fonte: Dados da Pesquisa

- Centro de Usinagem (operação 50)
Distribuição = Weibull
Expressão Obtida = $6.89 + \text{WEIB}(0.013, 2.54)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 7.

Figura 7: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 50



Fonte: Dados da Pesquisa

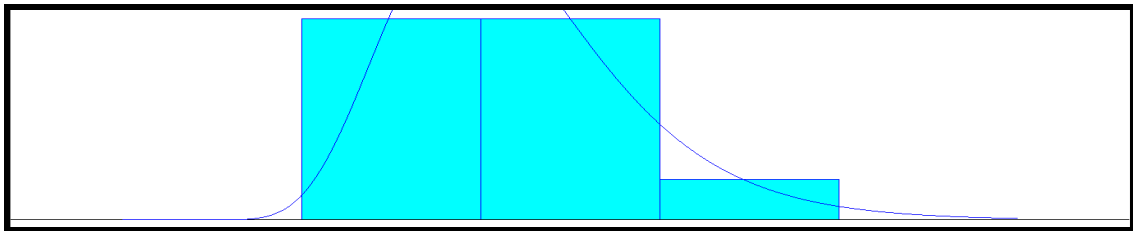
➤ Lavadora (operação 60)

Distribuição = Log - Normal

Expressão Obtida = $1.61 + \text{LOGN}(0.0175, 0.00526)$

Curva de probabilidade mostrada na figura 8.

Figura 8: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 60



Fonte: Dados da Pesquisa

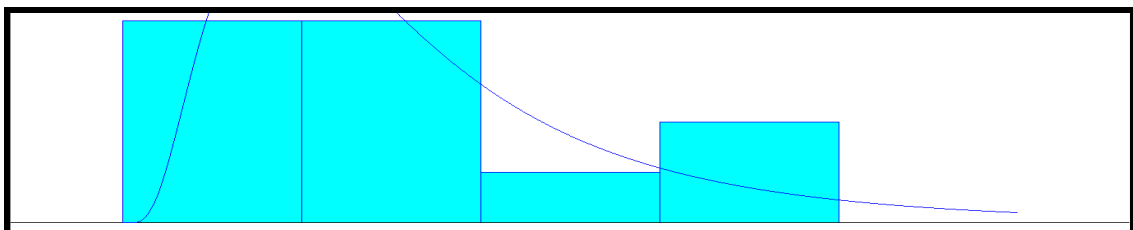
➤ Montagem Manual das Capas dos Mancais (operação 70)

Distribuição = Log - Normal

Expressão Obtida = $0.65 + \text{LOGN}(0.0102, 0.00782)$

Curva de probabilidade mostrada na figura 9.

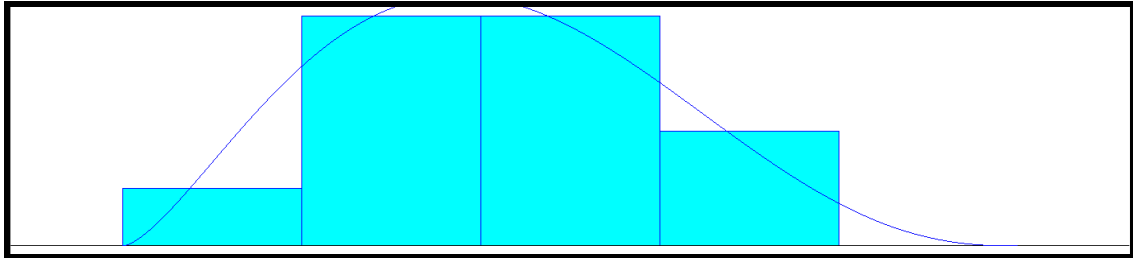
Figura 9: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 70



Fonte: Dados da Pesquisa

- Centro de Usinagem (operação 80)
Distribuição = BETA
Expressão Obtida = $3.44 + 0.03 * \text{BETA}(2.54, 3.58)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 10.

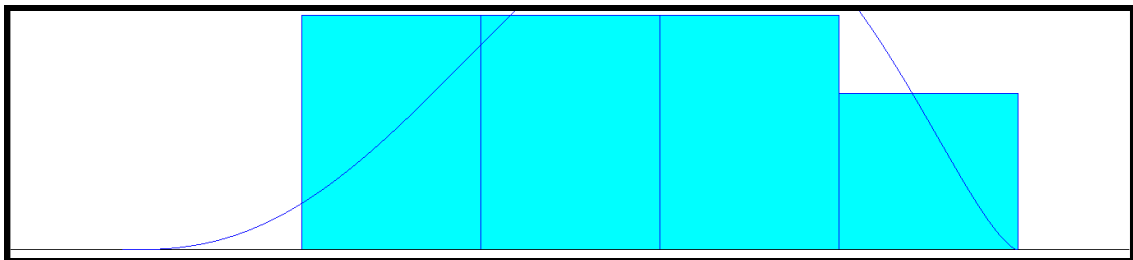
Figura 10: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 80



Fonte: Dados da Pesquisa

- Lavadora (operação 90)
Distribuição = BETA
Expressão Obtida = $1.52 + 0.02 * \text{BETA}(3.76, 2.51)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 11.

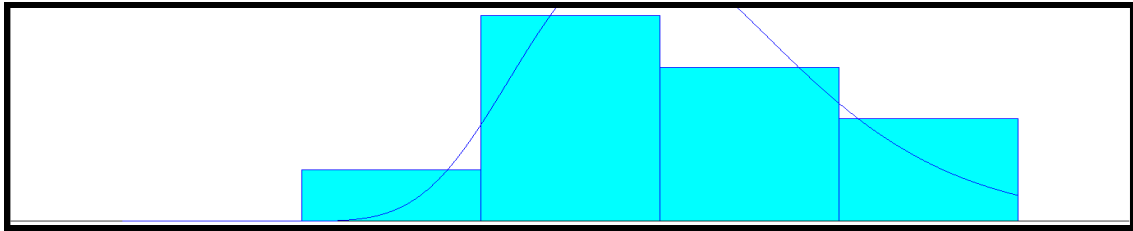
Figura 11: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 90



Fonte: Dados da Pesquisa

- Teste de Estanqueidade e Etiquetadora (operação 100)
Distribuição = Log - Normal
Expressão Obtida = $1.25 + \text{LOGN}(0.0127, 0.00329)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 12.

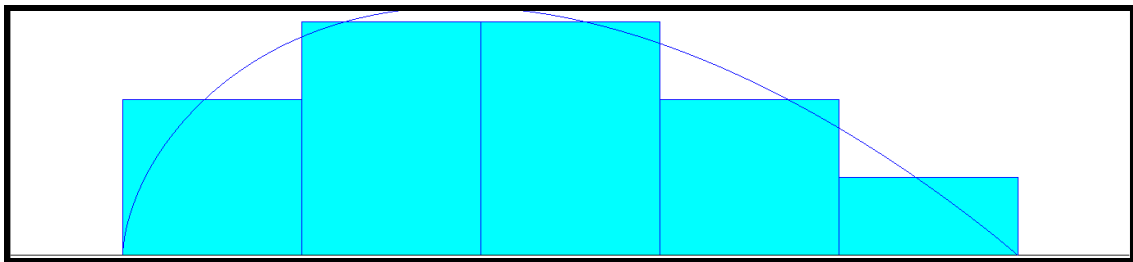
Figura 12: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 100



Fonte: Dados da Pesquisa

- Descarga Manual e Controle Visual do Cabeçote (operação 110)
Distribuição = BETA
Expressão Obtida = $1.38 + 0.03 * \text{BETA}(1.59, 1.98)$
Curva de probabilidade mostrada na figura 13.

Figura 13: Curva de Probabilidade Obtida Para OPERAÇÃO 110



Fonte: Dados da Pesquisa

Os blocos foram escolhidos conforme as definições da Rockwell (2010):

- Bloco Create: é responsável pela criação de entidades no modelo;
- Bloco Process: responsável pelo processo executado pelo servidor à entidade (cliente);
- Bloco Dispose: é responsável pela retirada das entidades (clientes já servidos) do sistema.

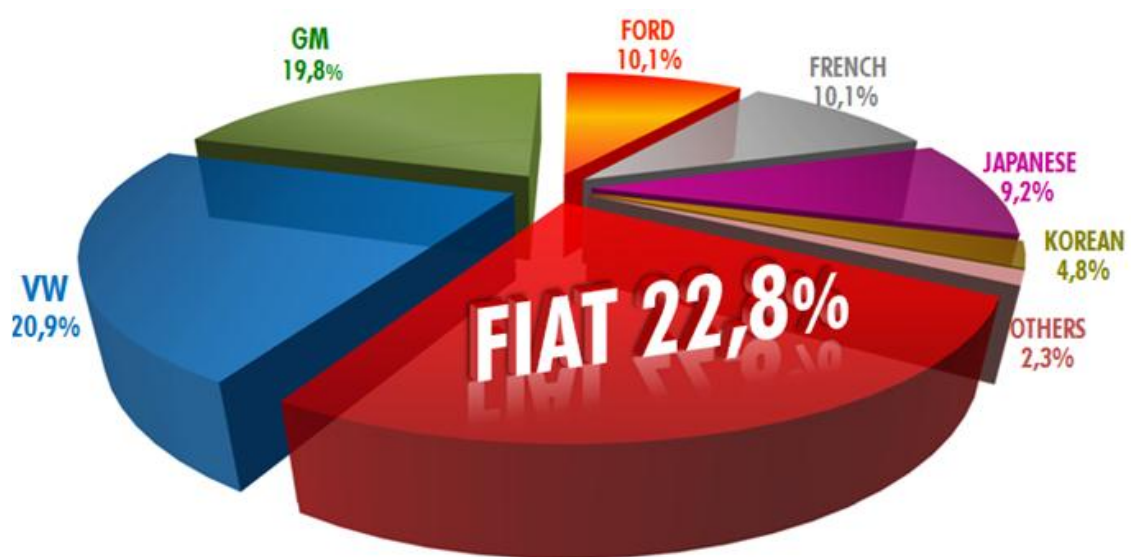
4. ESTUDO DE CASO

4.1 A Empresa

O estudo foi realizado em uma indústria automobilística, trata-se da FIAT Automóveis S/A, uma montadora multinacional de origem italiana, pertencente ao Grupo FIAT e que está presente no mercado brasileiro desde meados dos anos 70, localizada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, mais especificamente em Betim.

A fábrica mineira é referência mundial no segmento automotivo, por se tratar da maior fábrica do grupo e por alcançar números elevados de produção. Segundo o próprio site da empresa, a produção de veículos no ano de 2012 foi um recorde. Foram produzidos e emplacados 838.219 veículos. Esta quantidade elevada de produção se reflete na demanda do mercado, há 11 anos a empresa é líder de mercado, como mostra a figura 14.

Figura 14: Participação de Vendas da FIAT no Mercado Brasileiro em 2012



Fonte: site (FIAT, 2012)

Com o objetivo de continuar mantendo a liderança nacional de vendas e atender o mercado, a FIAT tem uma capacidade produtiva para até 800 mil veículos por ano e está em meio a um importante ciclo de investimentos de R\$ 10 bilhões entre 2011 e 2014, que ampliará a capacidade da fábrica de Betim para 950 mil unidades anuais. A empresa também investe na implantação de sua segunda fábrica de automóveis no País, situada em Goiana, Pernambuco, que terá capacidade para produzir até 250 mil unidades por ano (FIAT, 2013).

Além de atender o mercado nacional, a produção é exportada para o mercado da América Latina. Toda essa produção é destrinchada em 16 modelos de automóveis e comerciais leves e disponíveis em mais de 230 versões diferentes.

Por se tratar de uma montadora, é necessário o abastecimento de peças e produtos por fornecedores. de um processo chamado “mineirização” foi formado ao entorno da empresa um parque de fornecedores para sustentar a produção, gerando ainda mais empregos e riqueza para a região, além dos mais de 30000 empregados diretos e indiretos que trabalham nas dependências da empresa.

A área Industrial, a qual o estudo aborda, o processo de montagem dos veículos é dividido em 5 grandes processos. São eles:

- Prensas

As atividades de produção de um veículo tem início na oficina prensas (Figura 15), onde as chapas de aço são transformadas em peças para a carroceria do automóvel. As chapas de aço chegam em bobinas e/ou chapas já cortadas e tratadas quimicamente, pelo fornecedor.

As prensas recortam, furam e dobram as chapas de aço até chegar à peça ideal desejada. Ao todo estão em funcionamento 17 linhas com um total de 108 prensas, médias e grandes. Cada linha tem capacidade de fazer de 15 a 20 tipos de peças diferentes.

Todas as aparas de aço não aproveitadas no processo são transformadas em sucatas prensadas e, posteriormente, reprocessadas. Os materiais são reciclados de forma a contribuir com a preservação do meio ambiente.

Figura 15: Unidade Operativa Prensas



Fonte: site (FIAT, 2013)

- Funilaria

As peças estampadas nas prensas são soldadas na oficina funilaria (Figura 16), local onde a carroceria começa a tomar forma. Durante o processo de junção das peças, são aplicados entre 3,8 mil e 4,5 mil pontos de soldas, dependendo do veículo, que depois passa por um processo de revisão para ser encaminhado ao galpão de pintura.

Figura 16: Unidade Operativa Funilaria



Fonte: site (FIAT, 2013)

- Pintura

O processo realizado na oficina pintura (figura 17) é o que garante a durabilidade e embelezamento da carroceria de um automóvel, elo da estética e da qualidade. Seus processos de tratamento são usados para proteção contra corrosão e resistência a intempéries, cujos materiais previamente qualificados em exaustivos ensaios em laboratório resultam na cobertura das chapas internas e, externamente, na formação de película de cor final, síntese da excelência de proteção e aparência do produto.

Figura 17: Unidade Operativa Pintura



Fonte: site (FIAT, 2013)

- Mecânica

A oficina mecânica (figura 18) é dividida em duas grandes áreas, motores e transmissões.

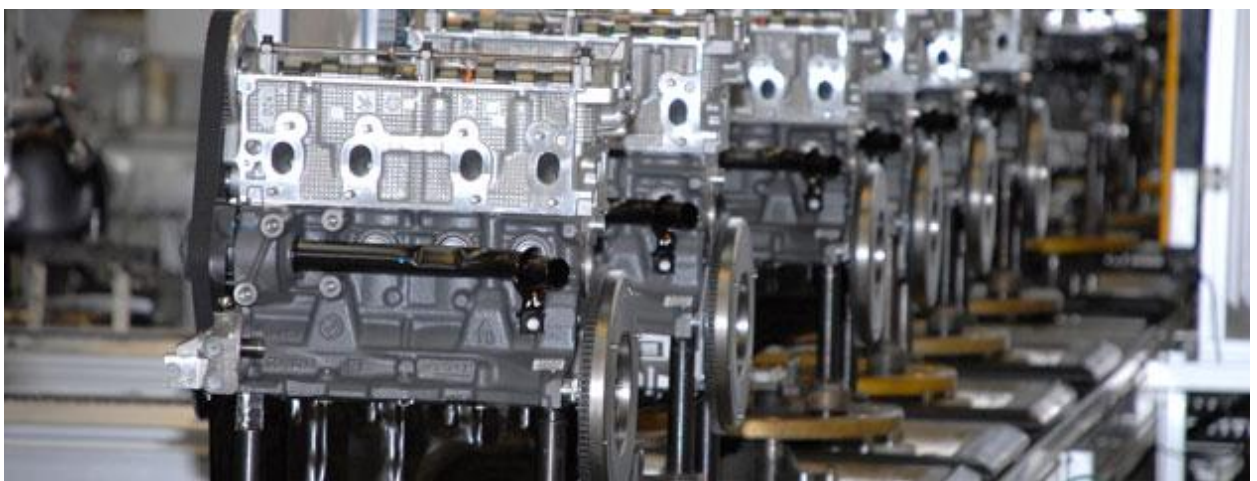
Na fábrica de motores a produção é dividida em duas etapas principais: usinagem e montagem. Na primeira é realizado todo o processo de desbaste e acabamento do bloco motor, eixo virabrequim e cabeçotes, que são as principais peças do produto. Já a montagem de todos os componentes do propulsor e testes de funcionamento faz parte da segunda fase da produção.

Já na fábrica de transmissões, o processo é feito em três etapas: usinagem, tratamento térmico e montagem. Para comprovar a qualidade e durabilidade dos produtos, cada peça passa pelo teste de Manobralidade, no qual são analisadas as

transições e a transmissão das marchas em uma cabine totalmente computadorizada.

Depois de finalizados, os motores e câmbios são enviados para a área de Motopropulsores, unidade responsável pela união dos dois produtos. Depois de encaixado, o conjunto motopropulsor completo é enviado à linha de montagem final onde são acoplados à carroceria.

Figura 18: Unidade Operativa Mecânica



Fonte: site (FIAT, 2013)

- Montagem

No galpão da oficina montagem (figura 19) é feita a finalização do veículo. Nessa etapa, o veículo recebe os acabamentos externos e internos, como estofado, bancos, vidros, painéis, luzes, motor, suspensão, parte elétrica e outros componentes de finalização.

Os veículos são identificados da carroceria por meio de um código de barras, para que todos os setores da montagem tenham de imediato, as informações sobre as características técnicas e as peças que serão colocadas nos automóveis.

Para facilitar e agilizar o trabalho de montagem interna do veículo, as portas são retiradas no início e novamente acopladas ao carro somente no final do processo, que segue para a revisão final, quando são realizadas as diagnoses elétricas demais testes, para em seguida serem liberados para entrega ao cliente.

Figura 19: Unidade Operativa Montagem Final



Fonte: site (FIAT, 2013)

4.2 Plano de Simulação

4.2.1 Formulação e Análise do Problema

O estudo foi realizado para otimizar a produção na oficina motores que tem uma capacidade diária de cerca de 3000 motores atualmente, contudo analisar o comportamento desse sistema de modo a verificar soluções para aumentar a produtividade e reduzir as filas nesse processo.

O processo a ser analisado é a usinagem do cabeçote, que está dividida em 10 operações, sendo que algumas delas são subdivididas em máquinas iguais para obtenção de uma maior produtividade.

Trata-se de uma operação gargalo do processo e que ainda não sofreu nenhum estudo dedicado para que se entenda o motivo de ser um gargalo, além de nunca serem analisados, por exemplo, dados de manutenção. E, além disso, a linha é desbalanceada, ou seja, enquanto algumas operações estão desaturadas, paradas, outras estão supersaturadas, gerando perdas para a oficina.

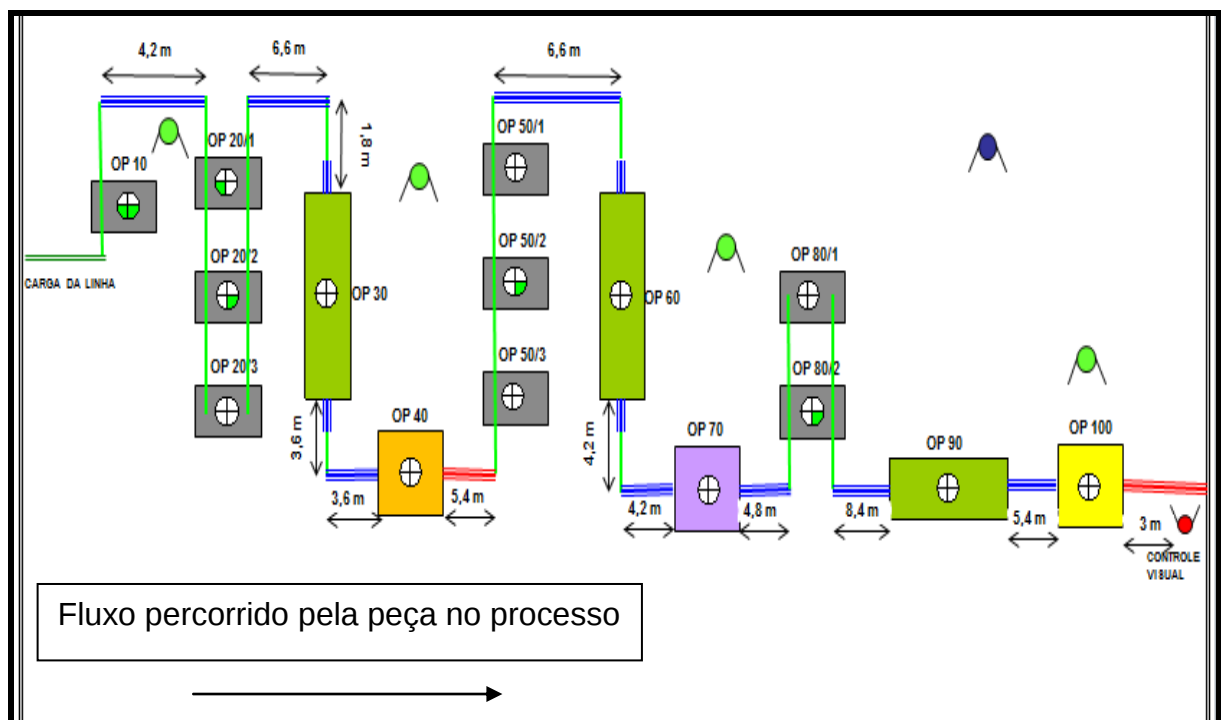
Espera-se que com a implantação e sucesso do estudo, as melhorias evidenciadas e sugeridas para o processo fossem alcançadas, como por exemplo, o maior conhecimento sobre as maneiras mais corretas de programação das máquinas da operação, determinação da capacidade máxima de produção por hora,

tempo entre as falhas, o calendário correto de manutenção preventiva, o melhor balanceamento da linha, entre outros. Todas essas melhorias seriam evidenciadas no controle de perdas da oficina, com a implementação.

4.2.2 Formulação do Modelo Conceitual

O modelo mostra os dados coletados em campo. Os resultados foram reportados através de relatórios pós-simulação fornecidos pelo próprio software ARENA e suas respectivas análises. O objetivo maior da simulação foi identificar nos relatórios gerados onde estão os gargalos do processo e visualizar situações onde eles são eliminados, além de indicar uma possível troca de layout visando a melhor distribuição e balanceamento da linha.

Figura 20: Fluxograma do Processo



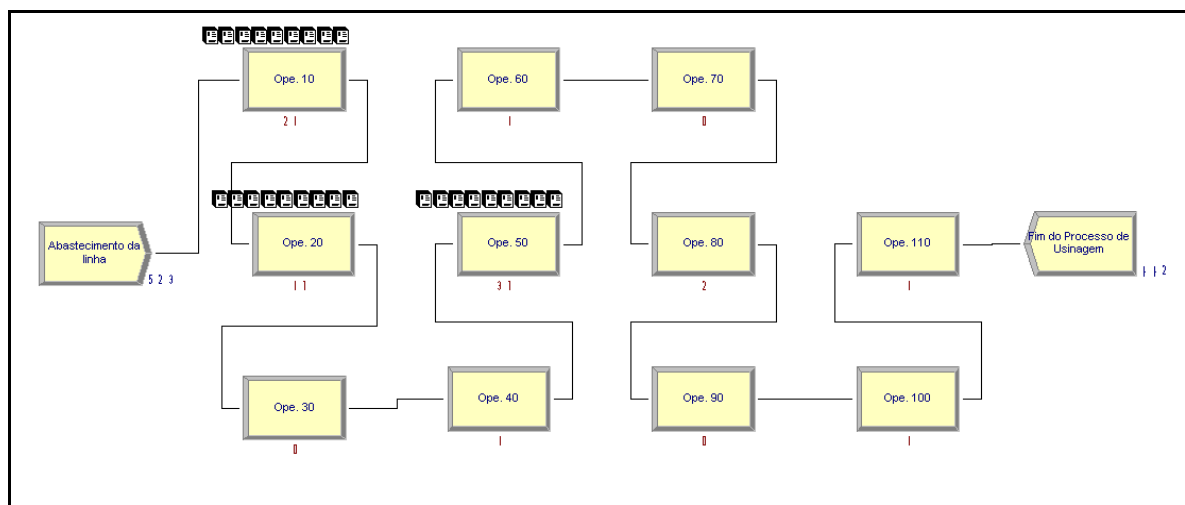
Fonte: Elaborado pelos Autores

A figura 20 é uma representação da linha de usinagem do cabeçote. Indica as operações realizadas na linha deste processo, começando pela chegada das peças no processo, passando pelas usinagens, lavadoras, implantação dos anéis de

descarga e distribuição até a descarga manual dessa linha, mostrando exatamente o fluxo que a peça percorre na linha.

A Figura 21 é o modelo originalmente construído no software de simulação. Sendo um módulo de animação permitindo a visualização dos indicadores de chegada, saída e tempo em tempo real, podendo ser acelerado ou retardado.

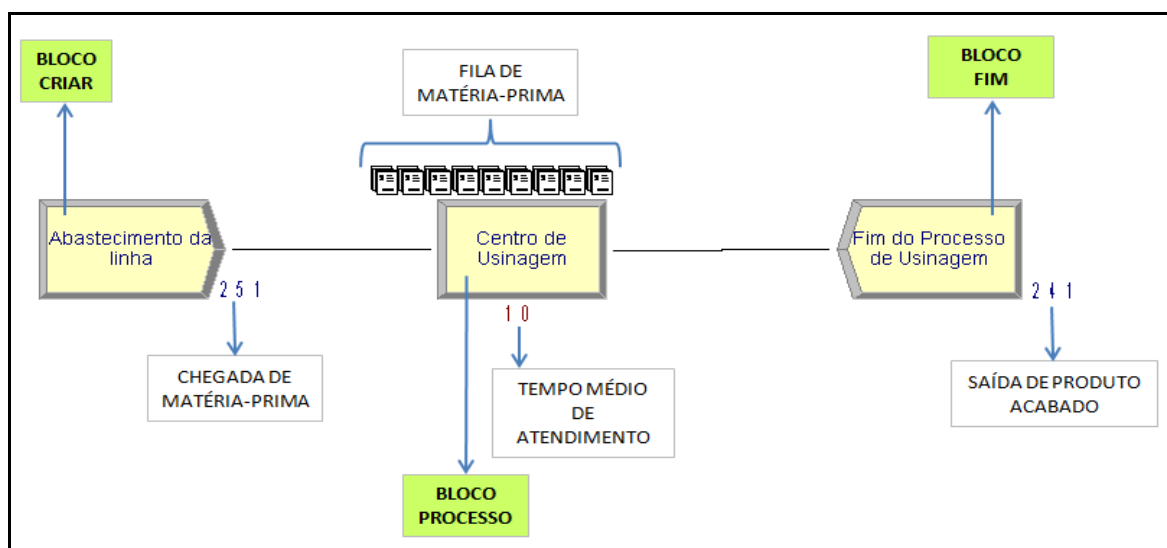
Figura 21: Fluxograma Lógico Criado no Software Arena



Fonte: Elaborado pelos Autores

Para compreensão do fluxo lógico criado no software Arena segue abaixo (figura 22) um esquema com a definição dos componentes de um modelo:

Figura 22: Definição de Componentes da Modelagem



Fonte: Elaborado pelos Autores

A modelagem do fluxograma lógico criado faz referencia a todos os processos envolvidos no estudo com seus respectivos blocos. Sendo interligados diretamente, processo a processo.

Os números que mostram a chegada de matéria-prima representam a chegada de peças brutas prontas para serem trabalhadas em quantidade/minuto. No segundo bloco os números mostrados como tempo médio de atendimento, representam o tempo de processamento das peças em cada etapa do processo. Por sua vez, o terceiro bloco, representa a quantidade de peças processadas no sistema.

4.3 Análise dos Resultados

A crescente demanda por automóveis tem despertado um interesse da empresa analisada pelo aumento de sua produção, para atender então esse crescimento da demanda. A linha de produção analisada trabalha hoje na sua capacidade máxima, portanto o aumento dessa capacidade implica no aumento do número de servidores ou redução no tempo de atendimento dos servidores críticos (gargalos). Todos os servidores foram dimensionados para atender a uma demanda, portanto quando essa demanda aumenta e a capacidade é mantida o atendimento ao cliente fica limitado pela capacidade de produção dimensionada para esse sistema.

Atualmente a empresa analisada trabalha para atender a um constante crescimento na demanda por veículos dessa marca, isso caracteriza um processo complexo de se fazer inferências e alterações no que diz respeito à melhoria no fluxo produtivo. Esta é a principal razão de se criar um modelo computacional do sistema real e, a partir dele, realizar experimentos e análises com o intuito de obter resultados satisfatórios para conduzir futuras alterações no processo.

Para realizar a simulação desta modelagem é indispensável, então, considerar as variáveis de tempo no sistema, número de “clientes” nas filas, taxa de utilização dos servidores e número de servidores. Esta determinação implicará na observação dos setores que apresentam baixa taxa de atendimento ocasionando o acúmulo de peças esperando nas filas do processamento, o que significa, em outras palavras, identificar os gargalos no sistema. Com esse propósito, foi gerada a

primeira modelagem no software de simulação computacional a partir do banco de dados coletados presencialmente na empresa.

Uma vez inseridas todas as variáveis e expressões de distribuição de probabilidade na modelagem real do sistema, foi feita a simulação para o tempo de 22 horas, que corresponde ao número de horas trabalhadas/dia, esse é um processo que trabalha em todos os dias da semana, nos 3 turnos disponíveis. A simulação foi feita com 180 replicações, que corresponde a 6 meses trabalhados. Após o término desta primeira simulação foi possível gerar o relatório (Reports) de resultados em 10 páginas contendo os dados numéricos em forma de tabelas e gráficos, uma das ferramentas disponíveis no software Arena. Para melhor visualização, segue um resumo das variáveis relevantes para este estudo no quadro 02:

Quadro 02: Cenário Atual do Sistema Analisado

Número de Replicações = 180							Tempo da Simulação = 22 horas		
Operação	TOS	VA - Time (min)	TF (min)	NF	NS	TS (min)	TA	Peças que entraram no sistema	Peças produzidas pelo sistema
Op. 10	100%	2,08	27,66	14	1	29,70	NORM(2,08, 0.0135)	721	614
Op. 20	100%	6,42	19,57	10	3	25,89	6.39 + 0.06 * BETA(1.55, 2.17)		
Op. 30	72%	1,56	0,00	0	1	1,56	TRIA(1.54, 1.56, 1.57)		
Op. 40	78%	1,67	0,00	0	1	1,67	1.66 + LOGN(0.0133, 0.00462)		
Op. 50	100%	6,90	50,10	23	3	56,76	6.89 + WEIB(0.013, 2.54)		
Op. 60	70%	1,63	0,00	0	1	1,63	1.61 + LOGN(0.0175, 0.00526)		
Op. 70	28%	0,66	0,00	0	1	0,66	0.65 + LOGN(0.0102, 0.00782)		
Op. 80	74%	3,45	0,00	0	2	3,45	3.44 + 0.03 * BETA(2.54, 3.58)		
Op. 90	65%	1,53	0,00	0	1	1,53	1.52 + 0.02 * BETA(3.76, 2.51)		
Op. 100	54%	1,26	0,00	0	1	1,26	1.25 + LOGN(0.0127, 0.00329)		
Op. 110	59%	1,39	0,00	0	1	1,39	1.38 + 0.03 * BETA(1.59, 1.98)		

* Legenda: TA = tempo de atendimento

VA Time = tempo de valor agregado

TF = tempo em fila

TS = tempo total no sistema

NF = número de peças na fila

NS = número de servidores

TOS = taxa de ocupação dos servidores

Fonte: Dados da Pesquisa

De acordo com um dos objetivos específicos deste estudo, podemos destacar os valores das variáveis NF, M e TOS que caracterizam a presença de gargalos no funcionamento desse sistema. Podemos observar que em determinados servidores existe uma alta ocorrência de filas com peças esperando para serem processadas, portanto essa espera para o processamento é o que caracteriza a formação de filas.

Observando-se a TOS no quadro 02, verifica-se uma alta taxa de ocupação para as operações 10, 20 e 50, as filas acontecem então nessas operações, aumentando assim o lead time da peça no sistema. Desta forma, como as TOS dessas seções estão em aproximadamente 100% isto significa que há instabilidade nestes servidores, causando assim instabilidade em todo o processo. Ou seja, os recursos estão em operação em até 100% do tempo. Com isso, o número de servidores deve ser aumentado para diluir a quantidade de peças semi-acabados processados e, conseqüentemente, reduzir o percentual de ocupação dos servidores.

A partir desses resultados construímos outro cenário mudando a quantidade de servidores nesses pontos críticos até chegarmos a valores balanceados de ocupação para cada operação. Verificando-se o comportamento do sistema no que diz respeito a taxa de ocupação dos servidores em cada operação.

Foi observado além da possibilidade de balanceamento da linha, eliminando pontos críticos, a redução de turnos de trabalho, ou seja, atender a demanda trabalhando em menor tempo, aumentando assim a capacidade de produção do processo analisado.

Conforme o quadro 03, podemos observar a quantidade de turnos trabalhados por semana e qual é a capacidade produtiva trabalhando nesse regime.

Quadro 03: Capacidade Produtiva Semanal Atual do Processo

Turno	Horas p/ turno	% de horas do turno em relação ao total de horas do dia	Produção Diária	Turnos p/ semana	Produção Semanal
1º	8,8	40%	246	7	1719
2º	8,2	37%	229	7	1602
3º	5	23%	140	6	837
Total	22	100%	614	20	4158

Fonte: Dados da pesquisa

A formulação do novo cenário mostra também a viabilidade de redução dessa quantidade de turnos de trabalho semanal, para um possível retorno financeiro para empresa, justificando assim o investimento. De acordo com o quadro 04, pode-se observar o balanceamento da linha eliminando os pontos críticos na produção.

Quadro 04: Cenário Proposto Para o Sistema Analisado

Número de Replicações = 180								Tempo da Simulação = 22 horas	
Operação	TOS	VA - Time (min)	TF (min)	NF	NS	TS (min)	TA	Peças que entraram no sistema	Peças produzidas pelo sistema
Op. 10	52%	2,08	0,00	0	2	2,08	NORM(2,08, 0,0135)	721	707
Op. 20	80%	6,42	0,00	0	4	6,42	$6,39 + 0,06 * \text{BETA}(1,55, 2,17)$		
Op. 30	77%	1,56	0,00	0	1	1,56	TRIA(1,54, 1,56, 1,57)		
Op. 40	83%	1,67	0,00	0	1	1,67	$1,66 + \text{LOGN}(0,0133, 0,00462)$		
Op. 50	85%	6,90	0,00	0	4	6,90	$6,89 + \text{WEIB}(0,013, 2,54)$		
Op. 60	80%	1,63	0,00	0	1	1,63	$1,61 + \text{LOGN}(0,0175, 0,00526)$		
Op. 70	33%	0,66	0,00	0	1	0,66	$0,65 + \text{LOGN}(0,0102, 0,00782)$		
Op. 80	85%	3,45	0,00	0	2	3,45	$3,44 + 0,03 * \text{BETA}(2,54, 3,58)$		
Op. 90	75%	1,53	0,00	0	1	1,53	$1,52 + 0,02 * \text{BETA}(3,76, 2,51)$		
Op. 100	62%	1,26	0,00	0	1	1,26	$1,25 + \text{LOGN}(0,0127, 0,00329)$		
Op. 110	68%	1,39	0,00	0	1	1,39	$1,38 + 0,03 * \text{BETA}(1,59, 1,98)$		

Fonte: Dados da Pesquisa

Com a comparação entre os valores do quadro 05 (cenário atual) e os valores do quadro 06 (cenário proposto), pode-se perceber a redução do tempo de filas no sistema, redução de peças em fila no sistema e algo muito importante para o aumento da capacidade produtiva da linha a redução no tempo total da peça na linha de produção.

Quadro 05: Dados Atuais do Sistema

Tempo total da peça em fila no sistema (min)	97,33
Número total de entidades em fila no sistema	47
Número total de Servidores	16
Lead Time (min)	125,5

Fonte: Dados da Pesquisa

Quadro 06: Dados Propostos Para o Sistema

Tempo total da peça em fila no sistema (min)	0
Número total de entidades em fila no sistema	0
Número total de Servidores	19
Lead Time (min)	28,55

Fonte: Dados da Pesquisa

Até chegar na situação ideal de balanceamento da linha, reduzindo a TOS dos servidores críticos, foi analisado a possibilidade de incrementar servidores nas operações 20 e 50, reduzindo a taxa de ocupação nesses servidores, porém a operação 10 no início do processo continua com uma taxa de ocupação de 100%, sendo que é a primeira operação da linha, portanto o estoque gerado (fila para atendimento) fica sendo entre a chegada do fornecedor e a capacidade dessa operação de processamento das peças, os dados podem ser visualizados conforme o quadro 07.

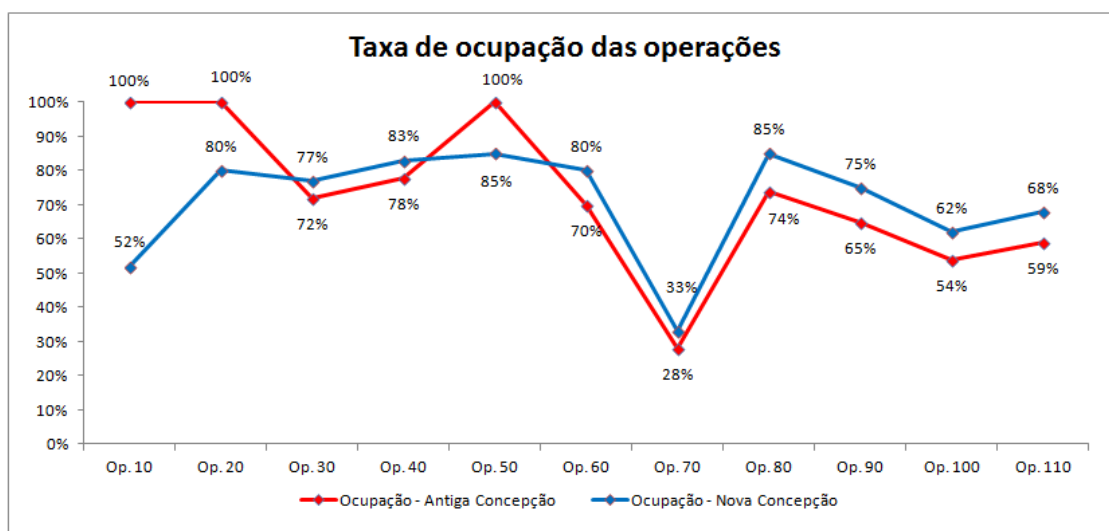
Quadro 07: Cenário Entre o Real e o “Ideal”

Número de Replicações = 180								Tempo da Simulação = 22 horas	
Operação	TOS	VA - Time (min)	TF (min)	NF	NS	TS (min)	TA	Peças que entraram no sistema	Peças produzidas pelo sistema
Op. 10	100%	2,08	27,70	14	1	29,74	NORM(2,08, 0.0135)	721	679
Op. 20	77%	6,42	0,00	0	4	6,42	6.39 + 0.06 * BETA(1.55, 2.17)		
Op. 30	74%	1,56	0,00	0	1	1,56	TRIA(1.54, 1.56, 1.57)		
Op. 40	80%	1,67	0,00	0	1	1,67	1.66 + LOGN(0.0133, 0.00462)		
Op. 50	82%	6,90	0,00	0	4	6,90	6.89 + WEIB(0.013, 2.54)		
Op. 60	77%	1,63	0,00	0	1	1,63	1.61 + LOGN(0.0175, 0.00526)		
Op. 70	31%	0,66	0,00	0	1	0,66	0.65 + LOGN(0.0102, 0.00782)		
Op. 80	82%	3,45	0,00	0	2	3,45	3.44 + 0.03 * BETA(2.54, 3.58)		
Op. 90	72%	1,53	0,00	0	1	1,53	1.52 + 0.02 * BETA(3.76, 2.51)		
Op. 100	60%	1,26	0,00	0	1	1,26	1.25 + LOGN(0.0127, 0.00329)		
Op. 110	66%	1,39	0,00	0	1	1,39	1.38 + 0.03 * BETA(1.59, 1.98)		

Fonte: Dados da Pesquisa

Segue uma representação gráfica de fácil análise visual que compara a taxa de ocupação dos servidores, no cenário atual e proposto.

Figura 23: Comparação Entre Ocupação Atual x Proposta das Operações



Fonte: Dados da Pesquisa

Pode-se observar uma taxa de ocupação mais linear entre os servidores, conforme modificação na quantidade de servidores dos processos antes críticos.

No quadro 05 pode-se verificar nas operações destacadas uma redução na taxa de ocupação dos servidores das operações 10, 20 e 50, essas operações passam a não ser pontos críticos (gargalos) nesse sistema. É possível verificar, que conforme a quantidade de peças que chegam ao sistema no *IC* (intervalo de chegada) atual de 2 minutos, o processo tem nessa nova proposta uma ocupação máxima na operação 80, que passa a ter o maior tempo de processamento das peças de 85%, o que possibilita um aumento desse *IC*, para garantir um aumento ainda maior da produção diária dessa linha. No quadro 07 pode-se perceber que a linha nesse novo cenário faz a mesma produção semanal, com menos turnos de trabalho, o que implica em redução de mão de obra. Atualmente trabalhando nos 3 turnos e 7 dias por semana é necessário um numero total de 27 colaboradores especializados para a operação dessa linha, na proposta de melhoria da linha, aumentamos o numero de servidores das operações 10, 20 e 50, ou seja, com a aquisição de 3 centros de usinagem.

Nesse cenário a quantidade de mão de obra pode ser reduzida a 21 colaboradores, pois não é preciso mais que a linha trabalhe nos 3 turnos 7 dias por semana, conforme quadro 07. A nova configuração necessita que apenas o 1º turno trabalhe em todos os dias da semana. O 2º e 3º turno fica com ocupação apenas de segunda a sexta-feira, ou seja, 5 dias por semana. Essa é uma linha automática e

conforme dados fornecidos pelo setor de análise do trabalho, esse aumento na quantidade de servidores não necessita de um aumento na mão de obra para operação desta linha, visto que a mão de obra atual está dessaturada, podendo atender esse aumento de 3 servidores.

Quadro 08: Capacidade Produtiva Semanal Proposta Para o Processo

Turno	Horas p/ turno	% de horas do turno em relação ao total de horas do dia	Produção Diária	Turnos p/ semana	Produção Semanal
1º	8,8	40%	283	7	1980
2º	8,2	37%	264	5	1423
3º	5	23%	161	5	803
Total	22	100%	707	17	4206

Fonte: Dados da Pesquisa

De acordo com os dados obtidos na simulação da situação atual e proposta, foi possível fazer uma análise de fluxo de caixa sobre o investimento em questão e o retorno financeiro dessa modificação para a empresa. Conforme o quadro 09 pode-se observar que o investimento tem fluxo de caixa positivo a partir do 6º ano após a implantação. No momento pode ser inviável a implantação dessas melhorias, levando em consideração o *payback* (*tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ou ultrapassa ao valor desse investimento*) com a redução de mão de obra, pois o tempo para o retorno é muito grande, podendo o mercado sofrer variações na demanda, assim como a linha pode sofrer modificações com possíveis chegadas de novos produtos. O investimento é muito alto, para considerar apenas o *payback* com a redução de mão de obra.

Existem outras variáveis passíveis de análise, tais como: Redução do estoque intermediário de produtos semi-acabados, redução de pontos críticos na linha, balanceamento das operações e aumento da capacidade produtiva. Contudo não foram levados em consideração no cálculo do *payback*.

Quadro 09: Custo de Mão de Obra x Custo do Investimento

Custo da mão de obra / hora (R\$)	30
Horas mensais	220
Custo mensal (R\$)	6600
Qtd mão de obra (Redução)	6
Custo total MO por mês (R\$)	39600
Custo total MO no ano (R\$)	475200
Custo total da implantação de 3 máquinas (R\$)	2100000

Fonte: Dados da Pesquisa

Quadro 10: Análise Financeira do Investimento

PAYBACK			
Mês	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa descontado (R\$)	Fluxo de Caixa acumulado (R\$)
0	-2060400	-2060400	-2060400
1	39600	39208	-2021192
2	39600	38820	-1982372
3	39600	38435	-1943937
4	39600	38055	-1905882
5	39600	37678	-1868204
6	39600	37305	-1830899
7	39600	36936	-1793963
8	39600	36570	-1757394
9	39600	36208	-1721186
10	39600	35849	-1685336
11	39600	35494	-1649842
12	39600	35143	-1614699
13	39600	34795	-1579904
14	39600	34451	-1545453
15	39600	34109	-1511344
16	39600	33772	-1477572
17	39600	33437	-1444135
18	39600	33106	-1411029
19	39600	32779	-1378250
20	39600	32454	-1345796
21	39600	32133	-1313663

22	39600	31814	-1281849
23	39600	31499	-1250349
24	39600	31188	-1219162
25	39600	30879	-1188283
26	39600	30573	-1157710
27	39600	30270	-1127440
28	39600	29971	-1097469
29	39600	29674	-1067795
30	39600	29380	-1038415
31	39600	29089	-1009325
32	39600	28801	-980524
33	39600	28516	-952008
34	39600	28234	-923774
35	39600	27954	-895820
36	39600	27677	-868143
37	39600	27403	-840739
38	39600	27132	-813607
39	39600	26863	-786744
40	39600	26597	-760146
41	39600	26334	-733812
42	39600	26073	-707739
43	39600	25815	-681924
44	39600	25560	-656364
45	39600	25307	-631057
46	39600	25056	-606001
47	39600	24808	-581194
48	39600	24562	-556631
49	39600	24319	-532312
50	39600	24078	-508234
51	39600	23840	-484394
52	39600	23604	-460790
53	39600	23370	-437420
54	39600	23139	-414281
55	39600	22910	-391371
56	39600	22683	-368688
57	39600	22458	-346230
58	39600	22236	-323994
59	39600	22016	-301978
60	39600	21798	-280180
61	39600	21582	-258598
62	39600	21368	-237230
63	39600	21157	-216073
64	39600	20947	-195126
65	39600	20740	-174386
66	39600	20535	-153852
67	39600	20331	-133521
68	39600	20130	-113391
69	39600	19931	-93460

70	39600	19733	-73727
71	39600	19538	-54189
72	39600	19344	-34844
73	39600	19153	-15692
74	39600	18963	3272

Fonte: Dados da Pesquisa

Na visão dos analistas deste trabalho, foi sugerido o aumento de 2 servidores nesse processo, justamente onde foram destacados os pontos críticos, onde são formadas as filas. Esses servidores são “centros de usinagem”, nos quadros 06 e 08 pode-se observar que o número de servidores aumentou de 16 para 18. O que significa um alto investimento financeiro da empresa em novos maquinários e na disposição de espaço físico para alocação dos mesmos, ou seja, inviabiliza a aplicação das alterações aqui sugeridas.

Com um pouco de experiência fabril é pertinente a sugestão de outra proposta de melhoria.

Pode-se não aumentar o número de servidores, mas sim reduzir o tempo de atendimento desses servidores. Como estes pontos críticos são centro de usinagem, é pertinente a realização de um outro estudo, onde será testado a viabilidade técnica de unificação de ferramentas de usinagem, como por exemplo:

- Unificar brocas com diâmetros diferentes;
- Modificações nas etapas de usinagem feitas em cada operação;
- Melhor alocação das ferramentas no magazine da máquina;
- Redução das movimentações internas, feitas pelos eixos X, Y e Z no momento da usinagem;
- Unificação de ferramentas de frezagem;
- Terceirizar para os fornecedores algumas usinagens de desbaste;

Essas são ideias para estudos posteriores. Com a conclusão da proposta, fica a critério da empresa a realização de um investimento na aquisição de mais maquinário, garantindo o balanceamento das operações e eliminação dos pontos críticos. Os resultados em produtividades são bons, onde se obtém um aumento de 10% na produção diária da linha estudada, passando de 614 para 679 peças/dia.

5. CONCLUSÃO

A dinâmica atual do mercado faz com que a utilização de sistemas que simulam o cenário real da empresa, torne-se cada vez mais indispensável.

Diante do cenário econômico atual onde a competitividade na produção, vendas e distribuição de automóveis aumenta a cada ano, as ferramentas de simulação são de extrema importância para encontrar formas concretas de otimização e melhoria nos processos de produção, sem a necessidade de interferência no sistema. Com base na importância da utilização dessa ferramenta escolheu-se esse tema para crescimento acadêmico dos alunos responsáveis pela elaboração desse trabalho e para tentar solucionar alguns problemas com pontos críticos na linha de produção.

Com base nessa necessidade, os autores procuraram descrever os conceitos de simulação de sistemas e teoria das filas, através da elaboração de um referencial teórico, explicando: o conceito de modelagem e simulação, quais os benefícios do emprego dessa ferramenta para as industriais de uma forma geral, pontos positivos e negativos do uso da ferramenta em questão, passos para utilização da modelagem e simulação, resumo do comportamento de filas em um sistema.

Para desenvolvimento do trabalho, foi elaborado um cronograma, para facilitar na distribuição das atividades ao longo do tempo.

Inicialmente foi realizada uma visita à área que seria estudada, entendendo de forma geral todo o processo, como funcionava o fluxo de produção, qual a importância dos recursos de todo o sistema, avaliação visual de como o sistema se comportava em relação aos pontos críticos de produção, busca de conhecimentos específicos sobre o processo de usinagem através de conversas com os responsáveis pela área.

Posteriormente, se iniciou o processo de coleta de dados do sistema, permanecendo no local e levantando o tempo de processamento de todas as operações da linha (servidores). Foi utilizado o input analyzer para tratamento estatístico dos dados cronometrados, realizando o teste de aderência e verificando quais distribuições de probabilidade mais se adequavam aos dados obtidos.

A modelagem se iniciou com a construção de um fluxo de produção, onde é possível observar onde estão alocados todos os servidores e a quantidade em toda a linha de produção.

Posteriormente esse retrato da linha de produção, foi inserido no software arena, na formulação do modelo que trabalha como módulo de animação permitindo a visualização dos indicadores de chegada, saída e tempo de processamento em tempo real, podendo ser acelerado ou retardado. Em seguida foi executada a simulação da linha de produção por um período de 6 meses, com produção em 22 horas/dia, um retrato real do modo de operação do sistema.

Foram analisados todos os resultados que evidenciam: operações com formação de filas, tempo de processamento, quantidade de peças em fila e número de servidores em toda a linha de produção. Com base nos resultados obtidos, foram avaliadas de acordo com o conhecimento fabril de todo o processo, alternativas e oportunidades de ganhos efetivos, com a redução do lead time da peça em toda a linha de produção, não formação de filas entre os servidores para atendimento, redução de peças no sistema, ou seja, acúmulo de peças entre as operações, formando estoques intermediários entre as operações. Inicialmente a proposta era aumentar o número de servidores apenas em duas operações que se mostraram críticas na sua taxa de ocupação com base nos relatórios emitidos pelo software arena. Porém essa alternativa ainda deixava o sistema em desequilíbrio, pois uma das operações continuava sendo muito crítica em todo o processo. Com base nos resultados, uma nova alternativa foi modelada e simulada, gerando relatórios que evidenciaram o balanceamento de todo o processo.

Os resultados foram satisfatórios quanto aos itens avaliados no projeto, o ganho em produtividade, redução de peças entre as operações e eliminação das filas foi muito bem avaliado pelos analistas do projeto. Com base nos conhecimentos dos analistas, uma avaliação sobre o retorno financeiro para a empresa com base nas modificações propostas foi realizado. Foi calculado o payback para esse projeto levando em consideração o custo de implantação e uma possível redução de mão de obra, na linha avaliada, pois com o aumento da produção diária é possível reduzir os turnos de trabalho. Os resultados obtidos na avaliação financeira não foram tão satisfatórios, pois o incremento de servidores esbarra em um investimento muito alto, no qual o lucro líquido da empresa passa a ser positivo após um período de aproximadamente 6 anos, o que torna as modificações inviáveis.

Portanto o estudo fica como sugestão para futuras modificações e novas estruturações de linhas de produção na empresa estudada. Outras alternativas podem ser avaliadas, como: redução do tempo de atendimento em cada servidor, com modificações nas ferramentas e movimentos das máquinas durante o processo de usinagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Maria A.F. ***Introdução à Teoria das Filas***, notas de Aula. Belo Horizonte, 2009.

ALMEIDA, Maria A.F. ***Simulação de Sistemas, Notas de Aula***. Belo Horizonte, 2009.

ANDRADE, Eduardo L. ***Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para Análise de Decisão***, 3ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2004.

FARIA, Danielle Brey-Gil. ***Modelagem e simulação da manufatura em uma indústria de embalagens plásticas***. Minas Gerais, 2012.

FREITAS Filho, Paulo José de, ***Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena***. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008. 384p.

PRADO, Darci Santos do. ***Teoria das Filas e da Simulação: série pesquisa operacional***. 2. Ed. INDG Tecnologia e Serviços. Belo Horizonte. MG. 2006. 127p.

PRADO, Darci Santos do. ***Usando o Arena em Simulação. Série Pesquisa Operacional***. 3. Ed. INDG Tecnologia e Serviços. Belo Horizonte. MG. 2004. 286p.

ROCKELL SOFTWARE, Rockwell Automation. ***Arena Packaging USER'S GUIDE PUBLICATION ARENPK-UM001F-EN-P***-April 2010.

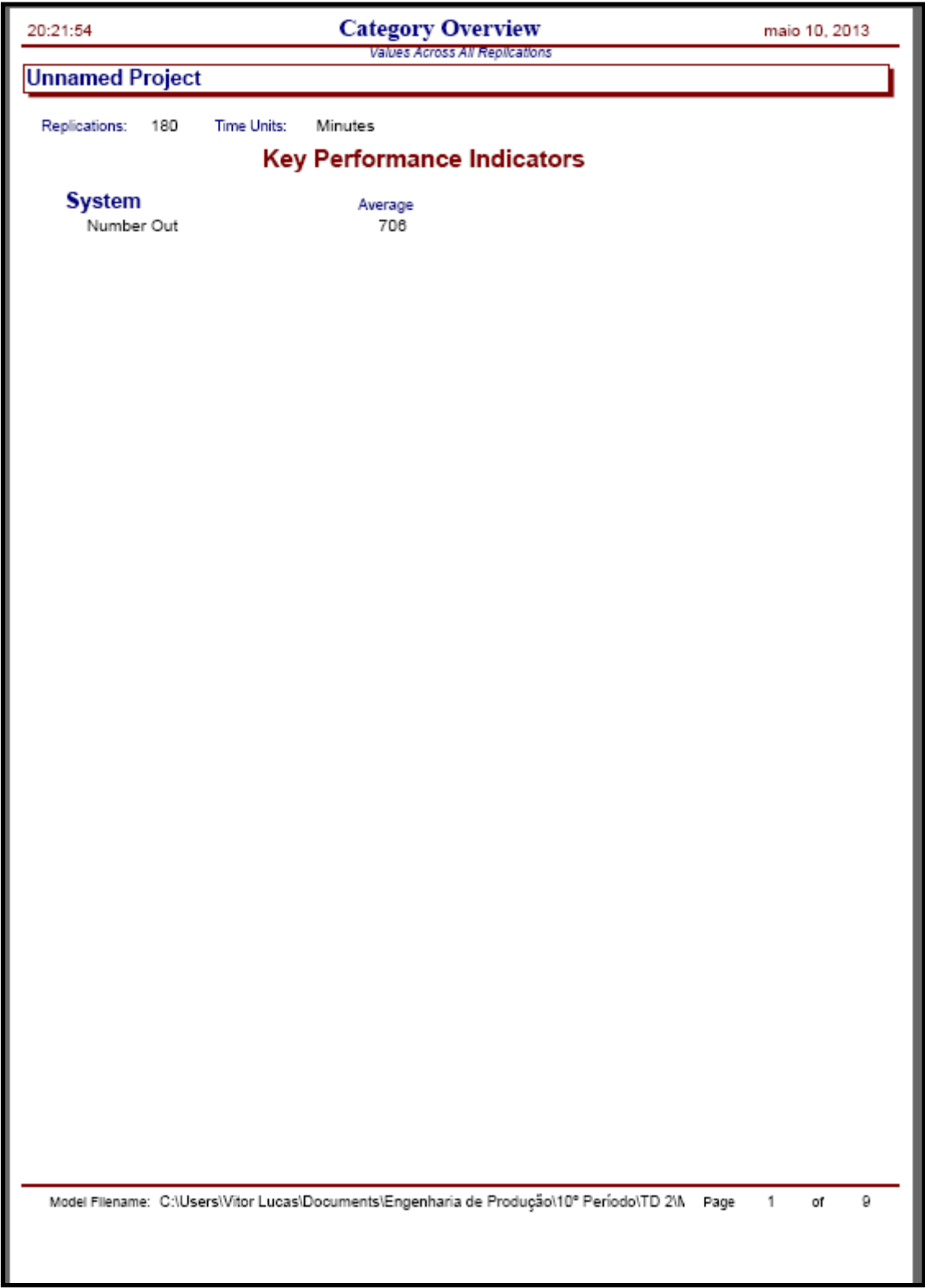
SILVA, Isabela Cristina Borges da. ***Modelagem Para Análise de Capacidade de Terminais de Carga e Desgarga Ferroviária***. Minas Gerais, 2012.

GUIMARAES, A.; DIALLO, M. ***Aplicabilidade da Simulação Computacional no Processo Produtivo: estudo de caso***. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31, 2011, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: Minascentro, 2011.

ROCKELL SOFTWARE, Rockwell Automation. ***Arena Packaging USER'S GUIDE PUBLICATION ARENPK-UM001F-EN-P***-April 2010.

FIAT AUTOMOVÉIS S/A, Disponível em: < www.fiat.com.br >. Acesso em 17/03/2013.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DO CENÁRIO PROPOSTO GERADO PELO ARENA



Unnamed Project

Replications: 180 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	28.5547	< 0,00	28.5522	28.5573	28.4581	28.7887
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	28.5547	< 0,00	28.5522	28.5573	28.4581	28.7887

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	721.00	0,00	721.00	721.00		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	706.00	0,00	706.00	706.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Abastecimento	14.1456	< 0,00	14.1443	14.1469	0.00	15.0000

Unnamed Project

Replications: 180 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Ope. 10	2.0800	< 0,00	2.0785	2.0812	2.0243	2.1347
Ope. 100	1.2627	< 0,00	1.2624	1.2630	1.2539	1.2889
Ope. 110	1.3933	< 0,00	1.3927	1.3941	1.3803	1.4095
Ope. 20	6.4149	< 0,00	6.4135	6.4162	6.3906	6.4486
Ope. 30	1.5567	< 0,00	1.5560	1.5574	1.5401	1.5699
Ope. 40	1.6733	< 0,00	1.6728	1.6738	1.6629	1.7336
Ope. 50	6.9015	< 0,00	6.9010	6.9020	6.8901	6.9236
Ope. 60	1.6275	< 0,00	1.6269	1.6280	1.6147	1.6701
Ope. 70	0.6602	< 0,00	0.6595	0.6609	0.6504	0.8766
Ope. 80	3.4524	< 0,00	3.4519	3.4530	3.4408	3.4686
Ope. 90	1.5320	< 0,00	1.5316	1.5323	1.5210	1.5395

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Ope. 10	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 100	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 110	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 20	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 30	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 40	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 50	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 60	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 70	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 80	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope. 90	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Ope. 10	2.0800	< 0,00	2.0785	2.0812	2.0243	2.1347
Ope. 100	1.2627	< 0,00	1.2624	1.2630	1.2539	1.2889
Ope. 110	1.3933	< 0,00	1.3927	1.3941	1.3803	1.4095
Ope. 20	6.4149	< 0,00	6.4135	6.4162	6.3906	6.4486
Ope. 30	1.5567	< 0,00	1.5560	1.5574	1.5401	1.5699
Ope. 40	1.6733	< 0,00	1.6728	1.6738	1.6629	1.7336
Ope. 50	6.9015	< 0,00	6.9010	6.9020	6.8901	6.9236
Ope. 60	1.6275	< 0,00	1.6269	1.6280	1.6147	1.6701
Ope. 70	0.6602	< 0,00	0.6595	0.6609	0.6504	0.8766
Ope. 80	3.4524	< 0,00	3.4519	3.4530	3.4408	3.4686
Ope. 90	1.5320	< 0,00	1.5316	1.5323	1.5210	1.5395

Accumulated Time

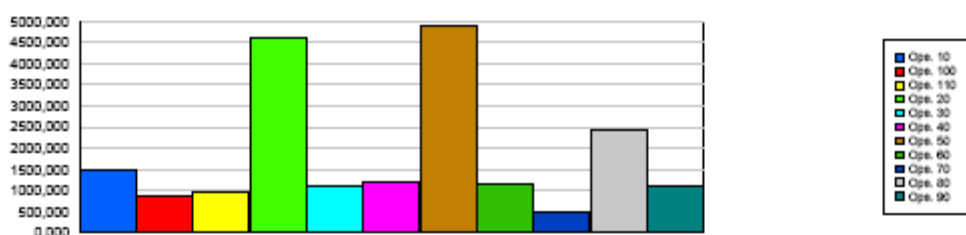
Unnamed Project

Replications: 180 Time Units: Minutes

Process

Accumulated Time

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ope. 10	1495.53	0,05	1494.48	1496.41
Ope. 100	892.72	0,01	892.48	892.91
Ope. 110	983.70	0,03	983.22	984.25
Ope. 20	4593.10	0,05	4592.05	4594.02
Ope. 30	1113.03	0,03	1112.57	1113.52
Ope. 40	1196.41	0,02	1196.06	1196.66
Ope. 50	4907.00	0,02	4906.59	4907.29
Ope. 60	1155.54	0,02	1155.10	1155.90
Ope. 70	468.75	0,03	468.23	469.27
Ope. 80	2444.33	0,02	2443.92	2444.70
Ope. 90	1084.65	0,01	1084.41	1084.88



Accum Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ope. 10	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 100	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 110	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 20	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 30	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 40	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 50	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 60	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 70	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 80	0.00	0,00	0.00	0.00
Ope. 90	0.00	0,00	0.00	0.00

Other

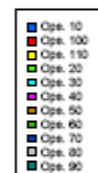
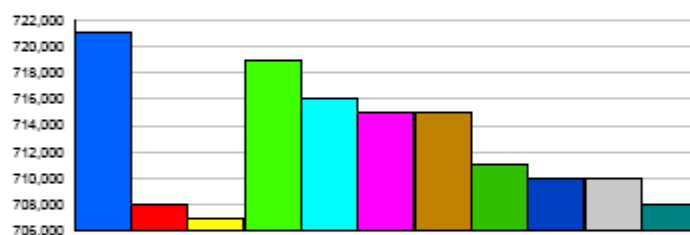
Unnamed Project

Replications: 180 Time Units: Minutes

Process

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ope. 10	721.00	0,00	721.00	721.00
Ope. 100	708.00	0,00	708.00	708.00
Ope. 110	707.00	0,00	707.00	707.00
Ope. 20	719.00	0,00	719.00	719.00
Ope. 30	716.00	0,00	716.00	716.00
Ope. 40	715.00	0,00	715.00	715.00
Ope. 50	715.00	0,00	715.00	715.00
Ope. 60	711.00	0,00	711.00	711.00
Ope. 70	710.00	0,00	710.00	710.00
Ope. 80	710.00	0,00	710.00	710.00
Ope. 90	708.00	0,00	708.00	708.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Ope. 10	719.00	0,00	719.00	719.00
Ope. 100	707.00	0,00	707.00	707.00
Ope. 110	706.00	0,00	706.00	706.00
Ope. 20	716.00	0,00	716.00	716.00
Ope. 30	715.00	0,00	715.00	715.00
Ope. 40	715.00	0,00	715.00	715.00
Ope. 50	711.00	0,00	711.00	711.00
Ope. 60	710.00	0,00	710.00	710.00
Ope. 70	710.00	0,00	710.00	710.00
Ope. 80	708.00	0,00	708.00	708.00
Ope. 90	708.00	0,00	708.00	708.00

Unnamed Project

Replications: 180 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Ope.10.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.100.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.110.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.20.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.30.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.40.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.50.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.60.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.70.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.80.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.90.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Ope.10.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.100.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.110.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.20.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.30.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.40.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.50.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.60.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.70.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.80.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ope.90.Queue	0.00	< 0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Unnamed Project

Replications: 180 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina10	0.5200	< 0,00	0.5198	0.5203	0.00	1.0000
Maquina100	0.6200	< 0,00	0.6199	0.6202	0.00	1.0000
Maquina110	0.6837	< 0,00	0.6834	0.6841	0.00	1.0000
Maquina20	0.7995	< 0,00	0.7993	0.7998	0.00	1.0000
Maquina30	0.7740	< 0,00	0.7736	0.7743	0.00	1.0000
Maquina40	0.8308	< 0,00	0.8306	0.8310	0.00	1.0000
Maquina50	0.8542	< 0,00	0.8541	0.8542	0.00	1.0000
Maquina60	0.8034	< 0,00	0.8031	0.8037	0.00	1.0000
Maquina70	0.3255	< 0,00	0.3252	0.3259	0.00	1.0000
Maquina80	0.8502	< 0,00	0.8500	0.8503	0.00	1.0000
Maquina90	0.7532	< 0,00	0.7531	0.7534	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina10	1.0400	< 0,00	1.0392	1.0408	0.00	2.0000
Maquina100	0.6200	< 0,00	0.6199	0.6202	0.00	1.0000
Maquina110	0.6837	< 0,00	0.6834	0.6841	0.00	1.0000
Maquina20	3.1978	< 0,00	3.1971	3.1985	0.00	4.0000
Maquina30	0.7740	< 0,00	0.7736	0.7743	0.00	1.0000
Maquina40	0.8308	< 0,00	0.8306	0.8310	0.00	1.0000
Maquina50	3.4167	< 0,00	3.4164	3.4170	0.00	4.0000
Maquina60	0.8034	< 0,00	0.8031	0.8037	0.00	1.0000
Maquina70	0.3255	< 0,00	0.3252	0.3259	0.00	1.0000
Maquina80	1.7004	< 0,00	1.7001	1.7008	0.00	2.0000
Maquina90	0.7532	< 0,00	0.7531	0.7534	0.00	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Maquina10	2.0000	< 0,00	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Maquina100	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina110	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina20	4.0000	< 0,00	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Maquina30	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina40	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina50	4.0000	< 0,00	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Maquina60	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina70	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maquina80	2.0000	< 0,00	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Maquina90	1.0000	< 0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Unnamed Project

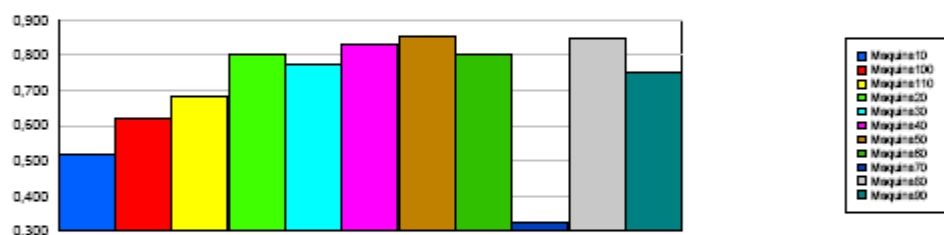
Replications: 180 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Scheduled Utilization

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Maquina10	0.5200	0,00	0.5196	0.5203
Maquina100	0.6200	0,00	0.6199	0.6202
Maquina110	0.6837	0,00	0.6834	0.6841
Maquina20	0.7995	0,00	0.7993	0.7996
Maquina30	0.7740	0,00	0.7736	0.7743
Maquina40	0.8308	0,00	0.8306	0.8310
Maquina50	0.8542	0,00	0.8541	0.8542
Maquina60	0.8034	0,00	0.8031	0.8037
Maquina70	0.3255	0,00	0.3252	0.3259
Maquina80	0.8502	0,00	0.8500	0.8503
Maquina90	0.7532	0,00	0.7531	0.7534



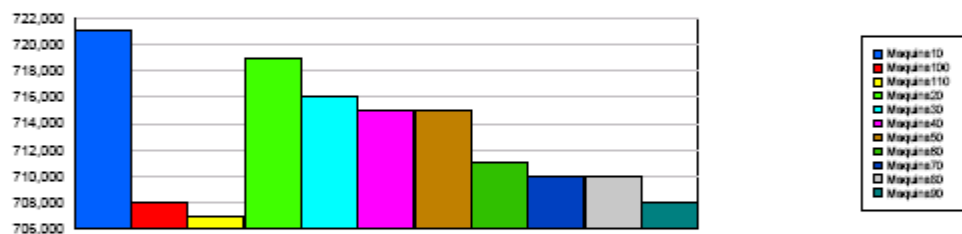
Unnamed Project

Replications: 180 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Maquina10	721.00	0,00	721.00	721.00
Maquina100	708.00	0,00	708.00	708.00
Maquina110	707.00	0,00	707.00	707.00
Maquina20	719.00	0,00	719.00	719.00
Maquina30	716.00	0,00	716.00	716.00
Maquina40	715.00	0,00	715.00	715.00
Maquina50	715.00	0,00	715.00	715.00
Maquina60	711.00	0,00	711.00	711.00
Maquina70	710.00	0,00	710.00	710.00
Maquina80	710.00	0,00	710.00	710.00
Maquina90	708.00	0,00	708.00	708.00



APÊNDICE B –AUTORIZAÇÃO FORMAL FIAT AUTOMÓVEIS



Autorizo os alunos Pedro Pessoa de Carvalho e Vitor Lucas Rodrigues de Paula, graduandos em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, a citar o nome da empresa Fiat Automóveis S/A em seu trabalho de curso, local onde os estudos foram realizados.



Betim, 21 de Maio de 2013

João Gabriel Monteiro Barcelos
RH Industrial

FIAT AUTOMÓVES S/A