

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção

Pablo Sthéfano Melo Silva
Tiago de Mendonça Lopes Cançado
Victor Paula Bartoli

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SIMULAÇÕES DA MANUFATURA EM UMA
INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS**

Belo Horizonte

2014

Pablo Sthéfano Melo Silva
Tiago de Mendonça Lopes Cançado
Victor Paula Bartoli

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SIMULAÇÕES DA MANUFATURA EM UMA
INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS**

Trabalho de Diplomação 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: Profa. Dra. Maria Aparecida
Fernandes Almeida

Belo Horizonte

2014

Pablo Sthéfano Melo Silva
Tiago de Mendonça Lopes Cançado
Victor Paula Bartoli

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SIMULAÇÕES DA MANUFATURA EM UMA
INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS**

Trabalho de Diplomação 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.

Profa. Dra. Maria Aparecida Fernandes Almeida (Orientadora)

Profa. Dra. Alessandra Lopes Carvalho

Eng^a. Danielle Brey-Gil Faria

Belo Horizonte
13 de Novembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela oportunidade de realizar meu sonho e por todas as graças conquistadas. Aos meus pais, Luiz e Fátima, e meu irmão Sânzio pelo apoio, motivação e por toda dedicação dada. A minha avó Maria de Lourdes (1932-2013), a Lia, que sempre me apoiou e sonhou em ver esta conquista e estará espiritualmente para congratulá-la. A nossa orientadora, professora Maria Aparecida, pelo apoio, paciência, suporte e conhecimento que tornou possível a realização deste trabalho. A engenheira Danielle Brey-Gil, que deu uma oportunidade para fazermos este estudo e a enorme contribuição e agregação de conhecimento neste trabalho. A professora Alessandra Carvalho, por todo o apoio dado e a grande ajuda no momento mais difícil na realização deste trabalho, e sem a sua presença esta obra jamais existiria. Ao professor Osvaldo Correia, que contribuiu bastante ao auxiliarmos na elaboração da metodologia e que nos deu uma diretriz para a realização desta obra. Aos coautores Tiago e Victor, pela aguerrida equipe que formamos e a amizade que propuseram momentos alegres e difíceis nesse trabalho feito com o nosso suor, sangue e lágrimas. Aos demais professores, que agregaram conhecimento que me auxiliaram a trilhar este caminho. A todos os amigos e colegas que encontrei nestas andanças pelo apoio e motivação dados e pelos momentos que passamos. **P.S.M.S.**

Agradeço a Deus por conquistar mais uma grande etapa importante. Aos meus pais, Sr. José Marcos e Sra. Heduiges, meus irmãos Marcos, Hugo, Rodrigo (*im memoriam*) e Raquel pelo grande apoio e incentivo. A minha noiva Aline, pela força de vontade e companheirismo nas horas complicadas. A amiga Nívia, que me mostrou um novo caminho com equilíbrio e superação para encarar novos desafios. A orientadora Maria Aparecida, pela atenção e conselhos importantes para o nosso trabalho. A Danielle, pela gentileza, disponibilidade e contribuição de abrir as portas de sua empresa. A professora Alessandra Carvalho, pelos auxílios e sugestões importantes de como iniciarmos o trabalho de diplomação. E finalmente, aos coautores Pablo e Victor, pela dedicação, atenção e colaboração de cada um com muito suor. **T.M.L.C.**

Agradeço a Deus, primeiramente, por ter me dado forças para alcançar e conquistar mais um objetivo em minha vida nessa trajetória acadêmica. Aos meus pais, irmãos, familiares, amigos e colegas de turma pelo apoio e incentivo. A orientadora, professora Maria Aparecida, pelo auxílio e orientação durante todo o desenvolvimento do trabalho de diplomação. A professora Alessandra Carvalho, pela disposição em nos ajudar, pela sugestão de tema e pelo fornecimento de material didático de estudo. A Engenheira Danielle Brey-Gil, pela simpatia, atenção, paciência e contribuição no desenvolvimento deste trabalho. Aos meus caros amigos e coautores Pablo e Tiago, pela cooperação, colaboração, dedicação e superação juntos que tiveram importância fundamental para a conclusão desse trabalho. E a todos que de alguma forma fizeram este trabalho se tornar possível.

V.P.B

“As oportunidades para melhorias existem em grande quantidade, mas não mandam avisos”.
Joseph Juran (1904-2008)

RESUMO

É importante para as empresas de manufaturas buscarem otimização de seus processos industriais para atender a demanda de mercado de maneira eficiente e produtiva. Os sistemas de modelagem e simulação são ferramentas fundamentais para ajudar na tomada de decisão uma vez que simulam situações reais de produção. Este trabalho faz um estudo comparativo entre simulações em uma indústria de embalagens plásticas após a automatização em uma máquina recuperadora. A finalidade deste estudo é comparar os resultados obtidos após a modificação no processo de recuperação em uma Indústria de embalagens plásticas através da simulação e modelagem com o uso de *software* de simulação discreta.

Palavras-chave: Indústria de embalagens plásticas. Embalagens. Manufatura. Modelagem. Simulação.

ABSTRACT

It is important for manufacturing companies seek optimizing their industrial processes to meet the market demand in an efficient and productive. The modelling and simulation of systems is a fundamental tool to aid in decision-making once that simulate real situations of production. This work makes a comparative study between simulations in a plastic packaging industry after automation in a recoil machine. The purpose of this study is to compare the results obtained after modification in the recovery process in a plastic packaging Industry through modeling and simulation by using discrete simulation software.

Keywords: Plastic packaging industry. Packaging. Manufacturing. Modeling. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de plásticos	16
Figura 2: Processo de fabricação de plásticos.....	17
Figura 3: Esquema de uma fila	19
Figura 4: Processo de modelagem.....	21
Figura 5: Processo de modelagem.....	21
Figura 6: Fluxograma de um processo de simulação	24
Figura 7: Passos da metodologia	26
Figura 8: Interface do <i>software</i> ARENA™	30
Figura 9: Interface do <i>Input Analyzer</i>	31
Figura 10: Processo de fabricação estudado	32
Figura 11: Processo de fabricação estudado feito pela lógica do <i>Software</i> ARENA™	33
Figura 12: Modelo do processo de Corte 4.....	34
Figura 13: Cenário antes da automatização	38
Figura 14: Cenário após automatização.....	38
Figura 15: Gráfico da taxa de ocupação de servidores antes da automatização	39
Figura 16: Gráfico da taxa de ocupação de servidores depois da automatização	39
Figura 17: Cenários gerados no <i>Process Analyzer</i>	43
Figura 18: Gráfico da taxa de ocupação dos servidores no Cenário 24	45
Figura 19: Distribuição gerada com os dados do processo de separação.....	52
Figura 20: Distribuição de probabilidade gerada com os dados do processo de aglutinação	52
Figura 21: Distribuição gerada com os dados do processo de recuperação.....	53
Figura 22: Distribuição gerada com os dados do processo de extrusão 1	53
Figura 23: Distribuição gerada com os dados do processo de extrusão 3	54
Figura 24: Distribuição gerada com os dados do processo de corte 4	54
Figura 25: Distribuição gerada com os dados do processo de acabamento	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cronograma da simulação.....	30
Tabela 2: Cenário anterior da empresa.....	37
Tabela 3: Cenário atual após a automatização	38
Tabela 5: Apuração do tempo em fila dos cenários anterior e atual	40
Tabela 6: Cenário atual e anterior recuperadora.....	41
Tabela 7: Cenário ideal após a automatização (Cenário 24)	44
Tabela 8: Apuração do tempo em fila dos cenários anterior e atual	45

LISTA DE ABREVIATURAS

BETA: Distribuição Beta

C - Número de atendentes ou servidores

IC - Intervalo de chegada

ERLA - Distribuição de Erlang

EXPO - Distribuição Exponencial

M - Número de servidores

NA - Número de clientes atendidos

NF - Número de clientes na fila

NORM – Distribuição Normal

NS - Número de clientes no sistema

POIS- Distribuição de Poisson

TA - Tempo médio de atendimento

TF - Tempo médio na fila

TOS – Taxa de ocupação de servidores

TS - Tempo médio no sistema

TRIA - Distribuição Triangular

VA Time – Tempo de valor agregado

WEIB - Distribuição de Weibull

λ - Ritmo de chegada

μ - Ritmo de atendimento

ρ - Taxa de utilização do servidor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.1.1	Objetivos específicos	13
2.2	Justificativa.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	Indústria de plásticos no Brasil	15
3.2	Teoria das Filas	17
3.3	Modelagem e simulação discreta de sistemas.....	20
3.4	Simulação como ferramenta de planejamento estratégico.....	23
4	METODOLOGIA.....	24
5	ESTUDO DE CASO	26
5.1	A empresa Beta	26
5.2	Plano de simulação.....	27
5.2.1	Formulação e análise do problema.....	28
5.2.2	Planejamento do projeto.....	29
5.2.2.1	<u>O software ARENA™.....</u>	<u>30</u>
5.2.2.2	<u>A ferramenta Input Analyzer.....</u>	<u>31</u>
5.2.3	Formulação do modelo conceitual.....	32
5.2.4	Coleta de dados	34
5.2.5	Tratamento de dados	35
5.3	Estudo e comparação dos dados obtidos após a simulação.....	35
6	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	49

ANEXO A: DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DA CADA SETOR GERADA PELO <i>INPUT ANALYZER</i>.	52
---	-----------

ANEXO B: RELATÓRIOS DA SIMULAÇÃO GERADOS PELO SOFTWARE ARENATM.	56
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem de plásticos ganha mais importância a cada dia por inúmeros motivos. E o principal deles é a sustentabilidade. Materiais plásticos podem demorar décadas para se decomporem no meio ambiente e além disso o processo de reciclagem gasta-se pouco da energia utilizada do processo primário.

O mercado de reciclagem do país está bastante aquecido e com isso várias empresas surgem no território brasileiro.

A reciclagem de plásticos começou a ser produzida a partir das próprias indústrias manufatureiras de plásticos, com proposito de reaproveitamento do processo.

O presente trabalho é sobre um estudo comparativo dos resultados do processo de produção de embalagens plásticas desenvolvido por Faria (2012), após a automatização da máquina recuperadora da empresa Beta, nome fictício.

A análise realizada do processo foi através do *software* ARENATM, que permite criar um modelo simulando todas as etapas de produção da fábrica.

Segundo Banks et. al (2010) a simulação de eventos discretos é bastante utilizada em diversas áreas, sobretudo na área de manufatura, auxiliando no processo de tomada de decisão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar um estudo comparativo no processo de produção de reciclagem de plásticos após a automatização da máquina recuperadora, através do uso de simulação computacional.

2.1.1 *Objetivos específicos*

- Elaborar uma revisão bibliográfica sobre processos de modelagem e simulação;
- Estudar um modelo de simulação previamente desenvolvido por Faria (2012) na empresa antes da automatização da máquina recuperadora;

- Gerar o modelo de simulação do processo de produção da empresa Beta após a implantação da máquina recuperadora;
- Desenvolver um estudo comparativo sobre gargalos encontrados na produção da indústria de embalagens plásticas.

2.2 Justificativa

Atualmente, as indústrias estão sofrendo com problemas de baixa produtividade, elevado custo de insumos, baixa capacidade de inovação, etc. E como o mercado de indústrias de embalagens plásticas está aquecido é fundamental fazer mudanças em seu processo para ganhar mercado na frente de seus concorrentes, atender a demanda e aumentar a vantagem competitiva. Porter (2012) mostra que

A vantagem competitiva surge fundamentalmente do valor que uma empresa tem condições de criar para os seus compradores. Ela pode tomar a forma de preços inferiores aos da concorrência por benefícios equivalentes ou o fornecimento de benefícios únicos que mais do que compensam um preço premium.

A importância da automatização nos processos industriais de qualquer empresa surgiu como uma necessidade para disputar um mercado cada vez mais competitivo e exigente. O retorno esperado depois da automatização é imediato, apesar do seu investimento ser um pouco alto.

A mudança que ocorreu na empresa Beta (nome fictício, por questões de sigilo industrial) de indústria de embalagens plásticas, foi à automatização da máquina recuperadora para aumentar sua produtividade, reduzir os gargalos dentro do sistema produtivo, diminuir os desperdícios durante os processos de produção, de forma a obter um produto final com mais qualidade e a redução no tempo de fabricação (*Lead Time*). Através deste acontecimento, o presente trabalho levantou o objetivo de analisar a capacidade que esta máquina impactou na produção da empresa, com o desenvolvimento de um modelo de simulação com o auxílio de um *software*.

O método de simulação pode contribuir para o estudo como uma forma de decidir e solucionar o processo de produção de uma empresa. Os resultados obtidos na simulação são capazes de auxiliar na tomada de decisões e decidir qual o melhor planejamento estratégico o processo deve seguir para aumentar a produtividade e a lucratividade.

É um estudo comparativo importante para mostrar o antes e depois da automatização de máquina recuperadora da empresa Beta, o quanto este equipamento impactou no processo

de produção de embalagens plásticas, e verificar se houve o aumento da eficiência e a redução de desperdícios.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Indústria de plásticos no Brasil

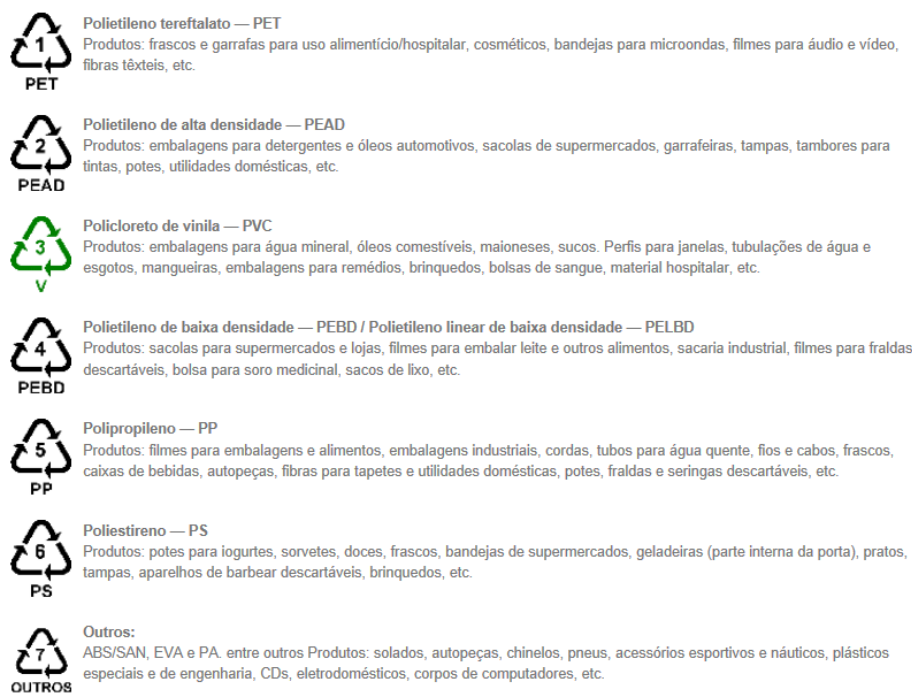
O consumo de transformados plásticos no Brasil chegou a R\$ 59 bilhões em 2012, representando um crescimento de 8,5% em relação aos R\$ 54,4 bilhões somados no ano anterior, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Plástica (2013).

De acordo com o Sindicato da Indústria de Material Plástico do Estado de Minas Gerais (2014) o setor de transformação de produtos poliméricos de Minas Gerais no ano de 2014 é composto por um total de mais de 60 empresas, sendo 16 fabricantes de filmes, que consistem em sacolas, bobinas, sacos, lonas, folhas tubulares e técnicas, sacaria, embalagens flexíveis, bobinas (lisas, impressas e picotadas), embalagens impressas e promocionais, sacos para lixo, sacas para café, filmes metalizados e laminados, rótulos e embalagens em geral.

O Sindicato da Indústria de Material Plástico do Estado de Minas Gerais define os polímeros da seguinte forma:

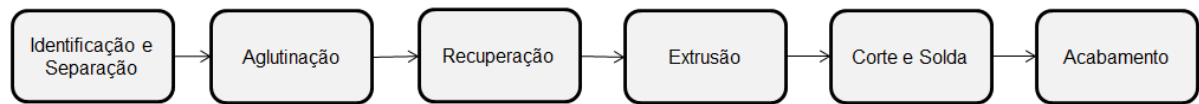
“Plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros, que, por sua vez, são formadas por moléculas menores, chamadas monômeros. Os plásticos são produzidos através de um processo químico chamado polimerização, que proporciona a união química de monômeros para formar polímeros. Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos. Os naturais, tais como algodão, madeira, cabelos, chifre de boi, látex, entre outros, são comuns em plantas e animais. Os sintéticos, tais como os plásticos, são obtidos pelo homem através de reações químicas. O tamanho e estrutura da molécula do polímero determinam as propriedades do material plástico” (SIMPLAST, 2014).

Existem dois tipos de plásticos utilizados na indústria, os termoplásticos e os termofixos. Os termoplásticos são aqueles que são moldados em determinadas temperaturas e pressões e podem ser recicláveis, uma vez que não sofrem alterações em sua estrutura química. Alguns exemplos de termoplásticos são o polipropileno (PP), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC), entre outros. Já os termofixos são plásticos que não podem ser recicláveis depois de moldados, logo não podem ser fundidos e remoldados novamente. Alguns exemplos de termofixos são o baquelite, poliuretanos (PU), poliacetato de etileno vinil (EVA), poliésteres, resinas fenólicas, dentro outros. A figura 1 mostra os tipos de plásticos, sua simbologia e sua aplicação:

Figura 1: Tipos de plásticos**Fonte: SIMPLAST 2014**

O material plástico é bastante usado no mundo todo e é utilizado em muitas atividades econômicas. Dentro da indústria plástica, no setor de petroquímica, há a transformação da resina termoplástica através dos seguintes processos: extrusão, injeção, sopro, injeção e sopro, rotomolagem, fundição, termoformagem e laminação. De acordo com o Sindicato da Indústria de Material Plástico do Estado de São Paulo (2011) o principal processo produtivo utilizado é a extrusão, utilizado por cerca de 60% do total do plástico transformado, seguido pelos processos de injeção (cerca de 20%), sopro (16%) e rotomoldagem e afins (9%). Os produtos plásticos que podem ser obtidos através destes processos são: embalagens plásticas para diversos fins, desde embalagens para peças automotivas e até mesmo itens para construção civil. A Figura 2 mostra o fluxograma do processo de fabricação de plásticos, que será tema de estudo deste trabalho:

Figura 2: Processo de fabricação de plásticos



Fonte: Elaborada pelos autores

No Brasil existem mais de 11 mil empresas que trabalham na transformação termoplástica empregando mais de 350 mil pessoas e esses números vem crescendo. Em relação ao consumo plástico no país, e de acordo com o Sindicato da Indústria de Material Plástico do Estado de São Paulo (2011), o consumo de plástico é de cerca de 30 kg per capita com tendência que esse indicador aumente e em torno de 6,2 milhões de toneladas que cresce em média de 5% ao ano.

Desse total de 6,2 milhões de toneladas, 26% são embalagens para indústria alimentícia, 8% são embalagens para produtos de higiene e limpeza, 14,5% são empregados em embalagens distintas. Em outros países como Estados Unidos e alguns da Europa o consumo é bem maior, cerca de 100 kg por habitante, o que mostra que o Brasil tem uma grande oportunidade de crescimento nesse setor.

3.2 Teoria das Filas

Segundo o Dicionário Michaelis (2008) a fila é a “série de coisas, animais ou pessoas, dispostos em linha reta, ao lado ou atrás uns dos outros” ou também “fileira de pessoas, colocadas umas atrás das outras, por ordem de chegada, que se forma nos lugares de grande afluência de interessados”. Resumidamente, a fila é um alinhamento organizado e sequencial de algo, que pode ser pessoas, peças, carros, caminhões, navios, aeronaves e outros. Doravante os componentes de uma fila serão denominados **entidades** ou **clientes**.

Dentro da indústria de bens ou serviços existe a formação de filas, alguns exemplos são: peças metálicas que estão à espera do processo de usinagem em uma metalúrgica, caminhões fora de estrada que aguardam o carregamento de minério em uma mina, navios cargueiros aguardando a sua vez de descarregar seus *containers* e aeronaves que recebem a

ordem da torre de controle do aeroporto para voar em círculos em torno do aeroporto aguardando a autorização para o pouso ou que ficam na *taxiway* esperando a decolagem.

Em algumas situações, a formação de filas poderão formar gargalos dentro do sistema produtivo, gerando instabilidade na produção e podem atrapalhar a produtividade de uma indústria, e isso pode fazer aumentar os custos da produção e afetar a qualidade do produto.

Uma das disciplinas que estuda o comportamento das filas é a **Teoria das Filas**, inserida dentro da Pesquisa Operacional, que Prado (2009) define como “um método analítico que aborda o assunto por meio de fórmulas matemáticas”, ou seja, uma fila é convertida em um modelo matemático (no caso são modelos probabilísticos) para ser analisado com o objetivo de fazer a tomada de decisões. Andrade (2004) afirma que a Teoria faz um estudo de entraves que congestionam um sistema, em que o principal atributo é um grupo de clientes solicitando serviços de um servidor de inúmeras maneiras. Morabito (2008) afirma que “os modelos de filas têm sido aplicados com sucesso em diversos sistemas de produção”, mostrando a grande utilidade do conceito tanto na indústria de bens quanto nos serviços.

Na Teoria das Filas são utilizados os seguintes termos e expressões:

- **Clientes** ou **Entidades** são os elementos que compõem uma fila, uma fração da população, que podem ser pessoas, animais, veículos, componentes elétricos, lingotes de aço e outros.
- **Servidores** são os elementos que atendem e/ou fazem o processo na entidade, como caixa de supermercado, píer de um porto, *finger* de um terminal aeroportuário, cabine de pintura, guarita de posto de pedágio, torno CNC e outros.
- **Recursos** são os operários que trabalham dentro do servidor.

As filas seguem a uma regra que é denominada disciplina de atendimento. Ackoff e Sasieni explicam como funciona a disciplina de uma fila:

A ordem em que os clientes esperam e são selecionados para receber o serviço chama-se *disciplina de fila*; os critérios podem ser vários: ou quem chega primeiro é atendido primeiro, ou o atendimento por idade, urgência, ou um sistema qualquer de prioridade, e assim por diante. Os clientes podem ser selecionados aleatoriamente, segundo o critério do atendente, em guichês apinhados. (ACKOFF; SASIENI, 1977, p. 245).

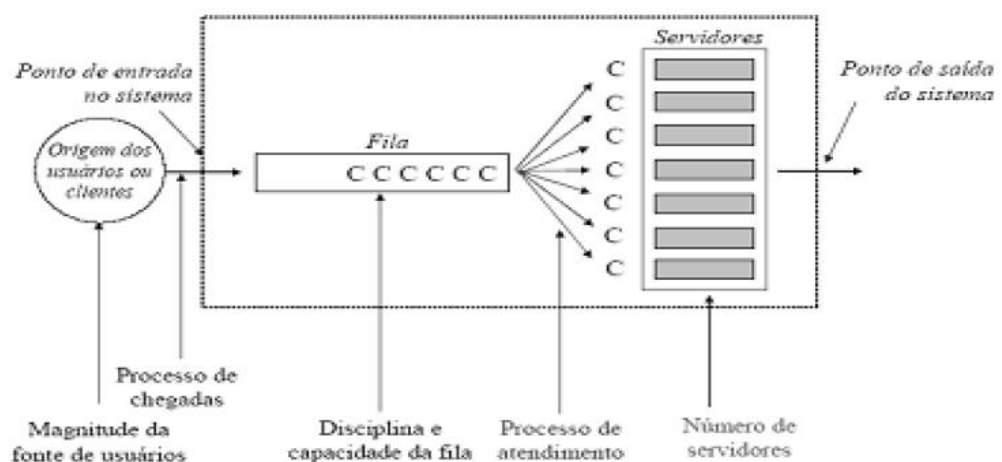
Segundo Morabito (2008), os sistemas de filas podem ser classificados como:

- Fila única e um único servidor: Aeronaves aguardando a ordem da torre de controle para decolar ou aterrissar na pista de um aeroporto;

- Fila única e múltiplos servidores em paralelo: Clientes aguardando o atendimento em um caixa de banco;
- Filas múltiplas e múltiplos servidores em paralelo: Veículos aguardando o atendimento em uma cabine de pedágios nas estradas;
- Fila única e múltiplos servidores em série: Linhas de produção de automóveis, onde as carrocerias passam pelo processo de estampagem, montagem, pintura e acabamento

A figura 3 mostra um esquema de uma fila, explicados os termos citados acima:

Figura 3: Esquema de uma fila



Fonte: Odoni *apud* Almeida (2010)

Segundo Prado (2009), são utilizadas as seguintes variáveis no estudo de uma fila:

- Referente ao sistema:
 - Tempo médio no sistema (TS);
 - Número de clientes no sistema (NS);
- Referentes à chegada:
 - Ritmo de chegada (λ);
 - Intervalo de chegada (IC);
- Referentes à fila:
 - Tempo médio na fila (TF);
 - Número de clientes na fila (NF);
- Referentes ao atendimento:
 - Tempo médio de atendimento (TA);

- Número de atendentes ou servidores (C);
- Número de clientes atendidos (NA);
- Ritmo de atendimento (μ);
- Taxa de utilização do servidor (ρ).

Algumas relações matemáticas básicas das variáveis da teoria das filas:

O intervalo de chegada é o inverso do ritmo de chegada:

$$IC=1/\lambda \quad (1)$$

O tempo de atendimento é o inverso do ritmo de atendimento:

$$TA=1/\mu \quad (2)$$

A quantidade de clientes no sistema é definida pela soma do número de clientes na fila e o número de clientes atendidos:

$$NS=NF+NA \quad (3)$$

O tempo médio do cliente no sistema é a soma do tempo médio na fila e o tempo de atendimento:

$$TS=TF+TA \quad (4)$$

A taxa de ocupação do servidor é a razão da taxa de chegada pela taxa de atendimento:

$$\rho=\lambda/\mu \quad (5)$$

No caso de vários servidores, deve-se multiplicar a taxa de atendimento da equação (v) pela quantidade de servidores (C):

$$\rho=\lambda/C\mu \quad (6)$$

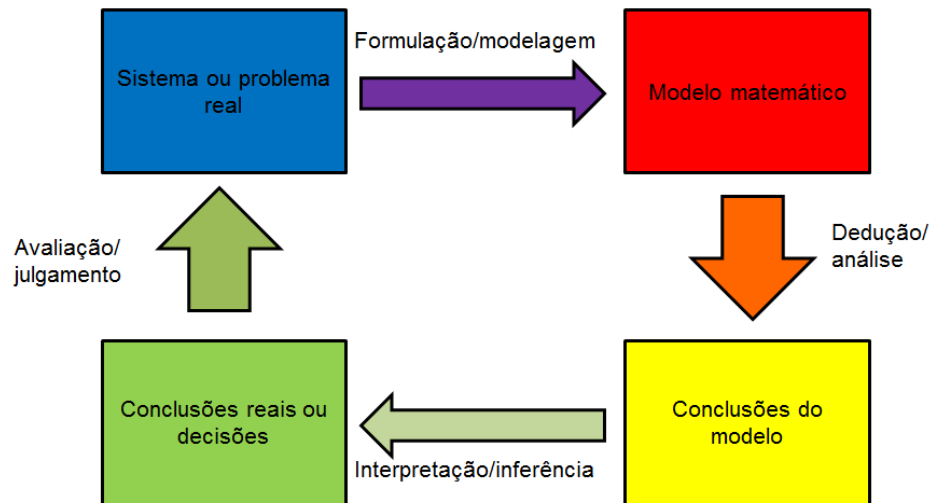
Uma fila ocorre quando a quantidade de entidades que necessitam de um serviço é superior que a quantidade e capacidade de execução dos servidores. Quando acontece o contrário (quantidade de servidores superior que a de clientes), ocorre à ociosidade dos servidores.

3.3 Modelagem e simulação discreta de sistemas

A modelagem é a ação de criar um modelo que exemplifica e explique um sistema real. Almeida (2009) mostra que “a experimentação com modelos é feita principalmente para aumentar o conhecimento sobre o sistema estudado. Uma simulação deve responder e, algumas vezes, criar questionamentos”, isto evidencia que a modelagem de um sistema

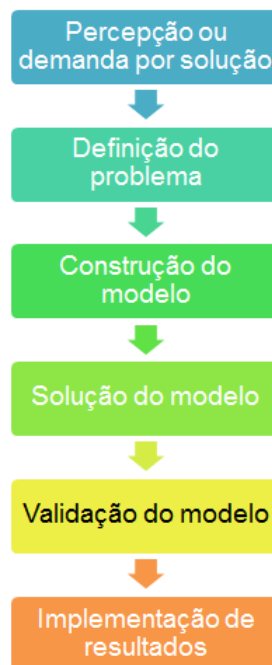
produtivo é fundamental para realizar a tomada de decisões e fazer as devidas melhorias. As figuras 4 e 5 mostram esquemas de um processo de modelagem:

Figura 4: Processo de modelagem



Fonte: Adaptado de Morabito (2008)

Figura 5: Processo de modelagem



Fonte: Adaptado de Andrade (2000) e Lachtermacher (2007)

Segundo Morabito (2008), Andrade (2000) e Lachtermacher (2007), a modelagem se inicia na observação de um sistema real onde se identifica um problema, fazendo a

formulação e modelagem de um modelo matemático que representa o sistema estudado, depois faz a dedução e análise para obter as conclusões, logo faz a interpretação e inferência com o objetivo de obter as conclusões reais para a tomada de decisões, e depois de realizar as avaliações e julgamento, mostrando os resultados positivos, os resultados serão implantados no sistema real.

A simulação segundo Prado (2009) “é uma técnica que, usando um computador digital, procura montar um modelo que melhor represente o sistema estudado” e Naylor (1971) mostra que “é uma técnica numérica para realizar experiências em um computador digital, envolvendo certos tipos de modelos lógicos que descrevem o comportamento de um sistema sobre extensos intervalos de tempo”. Ou seja, é a conversão de um modelo matemático em um modelo computacional por meio de *software* de simulação. Ackoff e Sasiene (1977) falam que “pode simular qualquer sistema de fila que possa ser descrito e para o qual se possam obter dados de chegada e de tempo de serviço”, e também falam que “o uso de simulação em problemas de fila é praticamente útil quando o processo nunca alcança a estabilidade, ou quando os estados transientes são críticos”, estas citações mostram a grande aplicabilidade da simulação para identificar gargalos que atrapalham a produtividade, a forte correlação entre a simulação e a teoria das filas e a utilização do conceito quando os modelos analíticos da Teoria das Filas não são suficientes para identificar atividades gargalos em sistemas complexos. Uma das simulações mais estudadas é a Simulação Discreta, que Kelton e Law *apud* Alvim (2009) definem como a simulação que relaciona a modelagem com a evolução do tempo, sendo representado de maneira que as variáveis de estado variem em intervalos de tempos distintos, no qual ocorrem os acontecimentos. Os sistemas de filas se encaixam nos modelos de simulação discreta. Silva (2012) utilizou a simulação discreta para estudar o processo de armazenamento e movimentação de cargas no transporte ferroviário, analisando a capacidade de um terminal e a viabilidade de investimento na ampliação de capacidade. Souza (2010) utilizou as técnicas de simulação na indústria têxtil para identificar as atividades gargalos do processo, que chegava a prejudicar a entrega de tecidos para os clientes. Este trabalho auxiliou na tomada de decisão da empresa, auxiliando na melhoria do rendimento da produção. Biscotto (2008) utilizou a simulação na indústria automotiva, fazendo uma análise do fluxo de carrocerias que entram no processo de pintura para verificar e descobrir melhorias no processo para aumentar o desempenho, e este trabalho propôs a mudança no leiaute para reduzir o tempo de pintura e aumentar a produtividade.

Os trabalhos acima mostram que a modelagem e a simulação podem fazer algumas previsões de cenários sujeitas a uma quantidade de restrições por meio de ferramentas

computacionais, capaz de gerar a solução ótima e dar uma diretriz para a tomada de decisões dentro do planejamento estratégico de uma empresa, auxiliando no aumento da produtividade.

Sobre os modelos de simulação, Freitas Filho (2008) discrimina da seguinte forma:

- a. Sistemas estáticos
- b. Sistemas dinâmicos
 - I. Sistemas dinâmicos determinísticos
 - II. Sistemas dinâmicos aleatórios
 - Sistemas dinâmicos aleatórios contínuos
 - Sistemas dinâmicos aleatórios discretos

Pela classificação acima, o sistema que será objeto de estudo desse trabalho é classificado como aleatório dinâmico e discreto, pois as variáveis não são influenciáveis pelo tempo.

3.4 Simulação como ferramenta de planejamento estratégico

O Planejamento Estratégico segundo Tubino (2008) é o conjunto de políticas que uma empresa define dentro do nível estratégico e que dá base para torná-la competitiva, e da diretriz para o setor tático e operacional. Moreira (2013) afirma que o Planejamento Estratégico se tornou um movimento que intensifica a atividade vital dentro de uma empresa, fazendo um planejamento racional da manufatura com o objetivo de obter uma vantagem competitiva, e também afirma que este conceito define a filosofia da empresa para definir os objetivos, políticas, e planos para o longo prazo, mostrando a importância para a sustentabilidade da empresa. Slack, Chambers e Johnston (2009) falam que as empresas devem desenvolver suas capacidades de maneira a permitir o refinamento e o aperfeiçoamento de seus objetivos estratégicos, e isto possui afinidade com a modelagem e a simulação de processos, pois auxiliam no Planejamento Estratégico. Na citação abaixo, Faria mostra a grande relação entre modelagem e simulação:

O objetivo é extrair deste conceito a ideia de que a modelagem de um sistema através da simulação computacional também significa uma ação estratégica para a empresa que deseja alinhar todas as áreas de sua empresa de forma a garantir melhor aproveitamento dos recursos com o menor custo possível. (FARIA, 2012, p.18)

Isto mostra que a simulação é uma ferramenta que auxilia no planejamento estratégico de uma empresa, pois faz a modelagem do sistema produtivo, descobre as possíveis

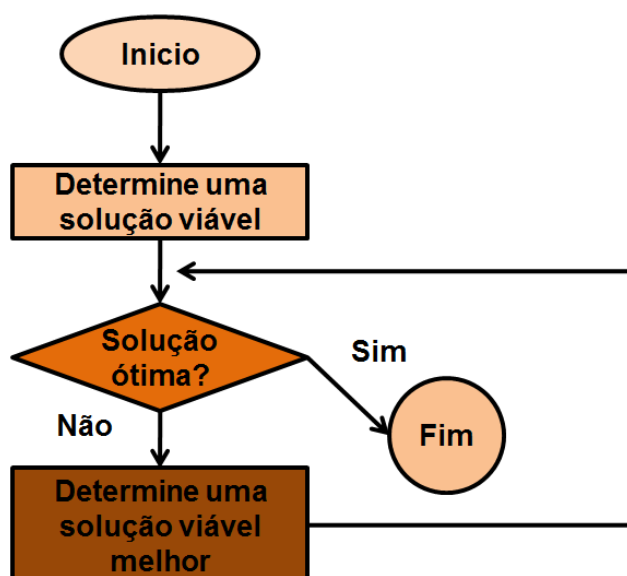
formações de filas (que em algumas situações poderão formar os gargalos), faz as melhorias nos setores mais problemáticos, a simulação é refeita e por fim descobre a solução ótima e faz a validação do modelo.

4 METODOLOGIA

Para Bertucci (2008), para realizar um estudo de caso é necessário à definição de metodologias, como o tipo de pesquisa, os procedimentos, o tratamento dos dados, a análise destes e outros fatores para dar credibilidade ao trabalho.

A figura 6 mostra um fluxograma baseado nas ideias de Lachtermacher (2007) onde resume as diretrizes para realizar uma simulação de um processo produtivo:

Figura 6: Fluxograma de um processo de simulação



Fonte: Adaptado de Lachtermacher (2007)

Neste trabalho será feita o uso de técnicas de simulação discreta do processo de fabricação de embalagens plásticas pós-atualização onde será comparada com a primeira simulação realizada por Faria (2012) antes da automatização do processo de recuperação.

Para realizar a simulação na indústria de embalagens plásticas, serão realizados os seguintes passos, semelhante aos seguidos por Faria (2012):

- Passo 1: Obtenção e análise da primeira simulação;
- Passo 2: Escolha da metodologia, será feita a simulação discreta da planta da empresa deste estudo de caso, utilizando o conceito de Teoria das Filas e ferramentas de simulação;

- Passo 3: Escolha da técnica de simulação, onde será utilizada a Simulação Discreta e a Teoria das Filas, onde as variáveis de estado serão alteradas somente em pontos definidos;
- Passo 4: Escolha da ferramenta computacional para fazer as simulações, neste trabalho será utilizado o *software* ARENATM da Rockwell Automation;
- Passo 5: Elaboração do modelo do processo estudado, onde será construído um diagrama de blocos (fluxograma), onde será representados todos os setores que participam do processo de fabricação em estudo;
- Passo 6: Coleta e obtenção de dados, onde será coletado tempo de execução das atividades em cada setor da planta;
- Passo 7: Estudo estatístico dos dados por meio de amostragem;
- Passo 8: Inserção dos dados obtidos no *software* ARENATM;
- Passo 9: Revisão do processo feito no ARENATM, onde será feita uma análise visual e analítica do modelo, verificando se está de acordo com o sistema real;
- Passo 10: Realizar a simulação;
- Passo 11: Fazer a validação do modelo, onde será analisado comportamento do sistema a partir da avaliação do movimento das entidades ao longo do processo e visualização dos indicadores em cada processo;
- Passo 12: Geração dos relatórios da simulação, onde o próprio ARENATM fornece após a compilação;
- Passo 13: Análise dos resultados obtidos pelos relatórios para identificar as atividades gargalos;
- Passo 14: Comparação das simulações das plantas antiga e atual, onde serão reveladas as possíveis melhorias do processo produtivo;
- Passo 15: Elaboração de um novo modelo para melhorar o processo atual, onde serão criados novos modelos e feitas várias iterações até que se obtenha um modelo convincente que apresente resultados de melhoria e que auxilie a empresa estudada na tomada de decisões.

A figura 7 é um diagrama sucinto que mostra os passos e a lógica que serão seguidos nesse trabalho:

Figura 7: Passos da metodologia

Fonte: Elaborada pelos autores

5 ESTUDO DE CASO

5.1 A empresa Beta

A empresa analisada atua no mercado há cerca de três décadas e tem como atividade a transformação de resinas termoplásticas de baixa densidade, a reciclagem de embalagens plásticas, e a venda, entrega e distribuição de seu produto.

Os produtos são fabricados conforme as normas brasileiras com alta qualidade, prezando pelo ótimo atendimento ao cliente; mantêm um ótimo relacionamento entre os *stakeholders* (clientes, fornecedores, funcionários, comunidade e outros) e contribui com o desenvolvimento sustentável promovendo a reciclagem de embalagens plásticas.

A linha de produtos é composta pela fabricação de sacos, embalagens e películas plásticas. O trabalho focará na análise do fluxo de matéria-prima, o plano de simulação, a análise dos resultados obtidos e a comparação com o estudo feito por Faria (2012).

Faria (2012) faz uma visão sucinta de cada setor:

- Setor de separação: Faz a limpeza do material. Os sacos vindos do refugo de outras empresas são separados manualmente de papéis, grampos, fitas adesivas e outras impurezas. Logo, o material é então ensacado e enviado para o processo de aglutinação;

- Setor de aglutinação: O material é inserido no aglutinador onde o plástico será cortado até virar flocos que serão fundidos e novamente solidificados com água fria a fim de formar grãos para melhor ser inserido no funil da máquina recuperadora;
- Setor de recuperação: Os grãos de plástico são levados ao funil e inseridos por meio de um grande parafuso sem fim em um tubo revestido com 12 resistências, aquecendo o material a uma temperatura de 250°C, e é forçado a passar por um conjunto de telas metálicas que filtrarão impurezas finas como limalhas e areia. Após passar por estas telas, o material derretido é extraído da máquina no formato de fios que são resfriados em um reservatório com água e picotados, tornando-se grãos prontos para se transformarem uma nova película plástica;
- Setor de extrusão: O material granulado e sem impurezas é levado para a extrusora que injetará o material em um novo tubo, derretido a 180°C e através de uma matriz circular de formato tubular, com o auxílio da injeção de ar no seu centro definindo o diâmetro. Para definir a espessura, a máquina controla a velocidade do motor de inserção de material e a velocidade da bobinadeira que enrolará o produto em tarugos para, mais tarde, ser enviado ao processo de corte e solda;
- Setor de corte e solda: O material tubular será desenrolado da bobina, passando entre rolos de compensação de tração e transportado até uma matriz horizontal que cortará o saco em uma dimensão especificada e ao mesmo tempo fazer a costura do fundo do saco por meio de uma prensa aquecida; O material é retirado de acordo com a quantidade pré-determinada e preparado para o seu recebimento no setor de acabamento;
- Setor de acabamento: Realiza o empacotamento do material produzido na forma em que ele irá ser entregue aos destinatários (clientes). Os sacos plásticos são testados, contados e embalados, e também serão identificados de forma a cumprir todos os requisitos.

5.2 Plano de simulação

O Plano de Simulação é uma diretriz visa o objetivo de orientar no planejamento e desenvolvimento da simulação, ou seja, é um roteiro da simulação, e deve responder as seguintes perguntas:

- O que será simulado?

- Quais dados serão utilizados?
- Qual será a ferramenta computacional que será utilizada?
- Quais recursos serão úteis para realizar a simulação?
- Qual será o modelo que representará o sistema estudado?
- Quais serão os resultados obtidos?
- A solução é ótima?

Harrel *apud* Almeida (2009) mostra que o plano de simulação é uma maneira de organizar e planejar os experimentos que serão realizadas, ou seja, roteiriza a simulação em várias etapas.

5.2.1 *Formulação e análise do problema*

A formulação do processo define a diretriz que a simulação será realizada, com a definição da proposta e objetivo.

O sistema que será estudado é o processo de manufatura de sacos plásticos, desde a chegada da matéria-prima até o processo de embalagem, passando por todos os processos de transformação e agregação de valor. A seção 5.1 deste trabalho mostra a descrição de todo o processo que será analisado. Faria (2012) descreve sucintamente o leiaute da indústria.

O modelo em análise consiste em 6 processos de produção, organizados em uma linha de produção em U em que o produto gerado na saída de cada processo torna-se o produto de entrada do processo seguinte. A cada fase o material sofre transformações físico-químicas até se obter um resultado em acordo com o esperado. De acordo esses dados, foi elaborada uma simulação, utilizando o *software* ARENATM, a partir de um modelo geral do sistema, para se verificar a taxa de chegada e a taxa de atendimento de cada processo. (FARIA, 2012, p. 30)

O objetivo desse estudo será compreender o comportamento das filas existente dentro do processo de fabricação e comparar com a simulação anterior, identificando os novos gargalos dos sistemas e as prováveis melhorias que ocorreram depois da automatização da máquina recuperadora.

As respostas esperadas são o novo número de entidades em cada fila do processo (Neste trabalho a entidade será a massa de embalagens plásticas em quilogramas produzidas por minuto), o tempo na fila, a taxa de ocupação de cada máquina (aglutinadora, recuperadora, extrusora, etc.), o número total de entidades que passaram pelo processo, o número total de sacos produzidos e o *lead-time* do processo, a descoberta de um nova

atividade gargalo e/ou excedente na produção, e o encontro da melhor solução que auxiliará a o setor estratégico da empresa na tomada de decisão.

5.2.2 *Planejamento do projeto*

O planejamento do processo define quais recursos serão empregados e o cronograma com o tempo definido para fazer os experimentos. Neste caso, os seguintes recursos serão utilizados para a realização deste estudo:

- Três analistas, que são discentes bacharelados do curso de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais;
- Tempo de orientação da docente orientadora;
- Tempo dos autores;
- Funcionários da alta administração e do chão de fábrica da empresa analisada;
- Computadores com acesso a internet e equipados com o *software* de simulação ARENA™ do laboratório de informática da PUC Minas;
- Referências bibliográficas (livros, apostilas, periódicos e artigos científicos) na área da Pesquisa Operacional;
- Pesquisa de campo;
- Dados obtidos pela empresa;
- Entrevistas aos envolvidos na produção;
- USB *flash drive* (*Pen drive*);
- Programa Microsoft Excel™ 2010.

A análise obedecerá ao seguinte cronograma mostrado na tabela 1:

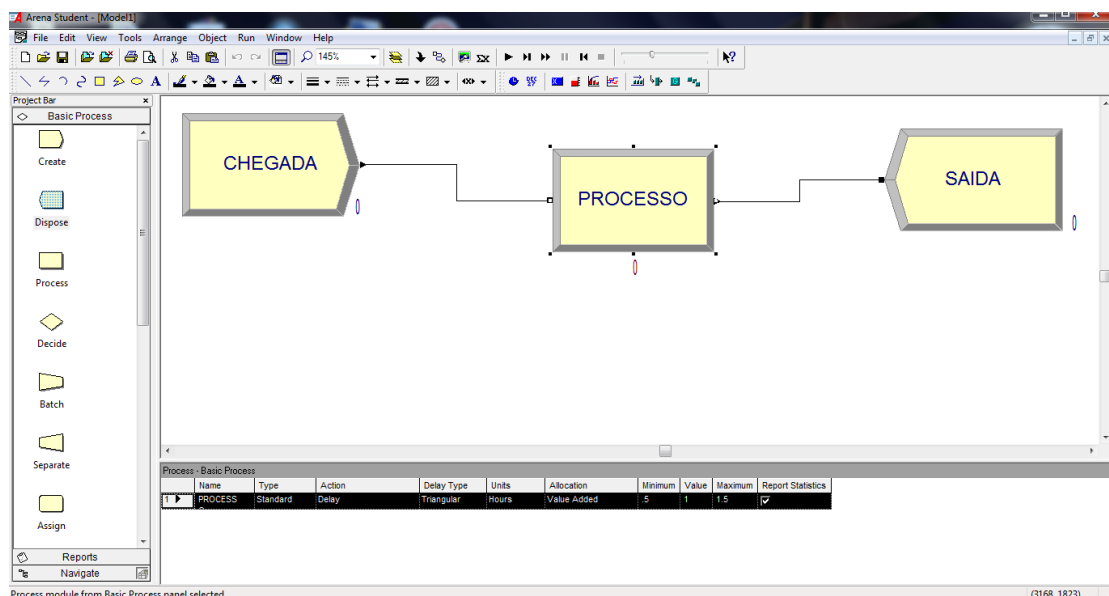
Tabela 1: Cronograma da simulação

Atividade	Tempo (Dias)
Escolha do tema do trabalho	30
Formulação do modelo no <i>software ARENA™</i>	10
Coleta e simulação dos dados	20
Simulação	5
Verificação	5
Validação	5
Experimentação	5
Interpretação e análise dos resultados	5

Fonte: Elaborada pelos autores

5.2.2.1 O software ARENA™

O *software ARENA™*, que será utilizado neste trabalho, é um programa desenvolvido pela Rockwell Automation que faz simulações de processos produtivos. A figura 8 mostra a interface do *software*:

Figura 8: Interface do *software ARENA™*

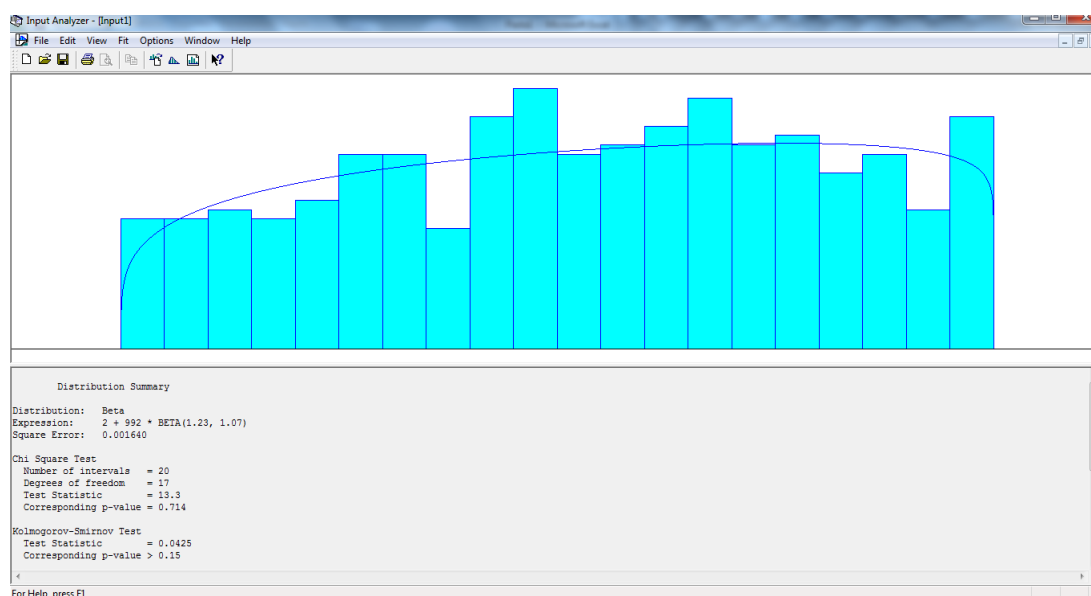
Fonte: Foto dos autores

Segundo Almeida (2009) o *software* utiliza como etapas para realizar a modelagem a criação de um modelo básico, o refinamento, a simulação, a análise do resultado e a seleção da melhor alternativa. Também fala que o programa utiliza a linguagem de programação SIMAN que “basicamente enxerga o sistema como uma sequencia de eventos aleatórios que causam mudanças nos estado do modelo”, ou seja, o sistema é sintetizado a um grupo de células de trabalho (ou estações de trabalho), que são interligados entre si e as entidades (ou clientes) percorrem estas estações conforma a uma lógica, por exemplo, um monobloco de carro (entidades) que passam por todos os setores de uma indústria automobilística (estações) para agregar valor e ser tornar um produto pronto ou um lingote (entidade) que passa em todos os processos em uma siderúrgica (estações). Neste estudo, o polímero (entidade) passara por várias etapas na indústria (estações) para se tornar um saco plástico acabado.

5.2.2.2 A ferramenta *Input Analyzer*.

O *Input Analyzer* é uma ferramenta disponível no *software* ARENATM que serve para fazer tratamentos de dados e escolher a melhor fórmula de distribuição de probabilidade que se adequa ao conjunto. As informações referentes às distribuições podem ser encontradas em Montgomery e Runger (2009) e Soares, Farias e César (2003). A figura 9 mostra a interface desta ferramenta.

Figura 9: Interface do *Input Analyzer*



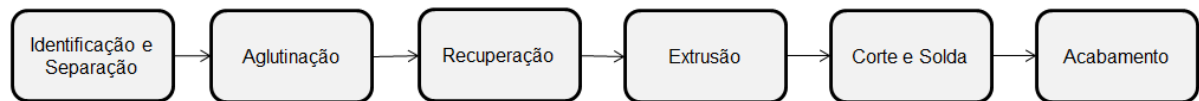
Fonte: Foto dos autores

Neste trabalho, esta ferramenta será utilizada para estimar a melhor função de probabilidade que se adequa ao conjunto de dados de cada setor fornecidos pela empresa.

5.2.3 *Formulação do modelo conceitual*

Nesta fase será esboçado o fluxograma do sistema, onde representara todos os processos envolvidos, onde serão identificadas as etapas e explanada a lógica. A figura 10, já mostrada na seção 3.1 mostra o fluxograma do processo estudado.

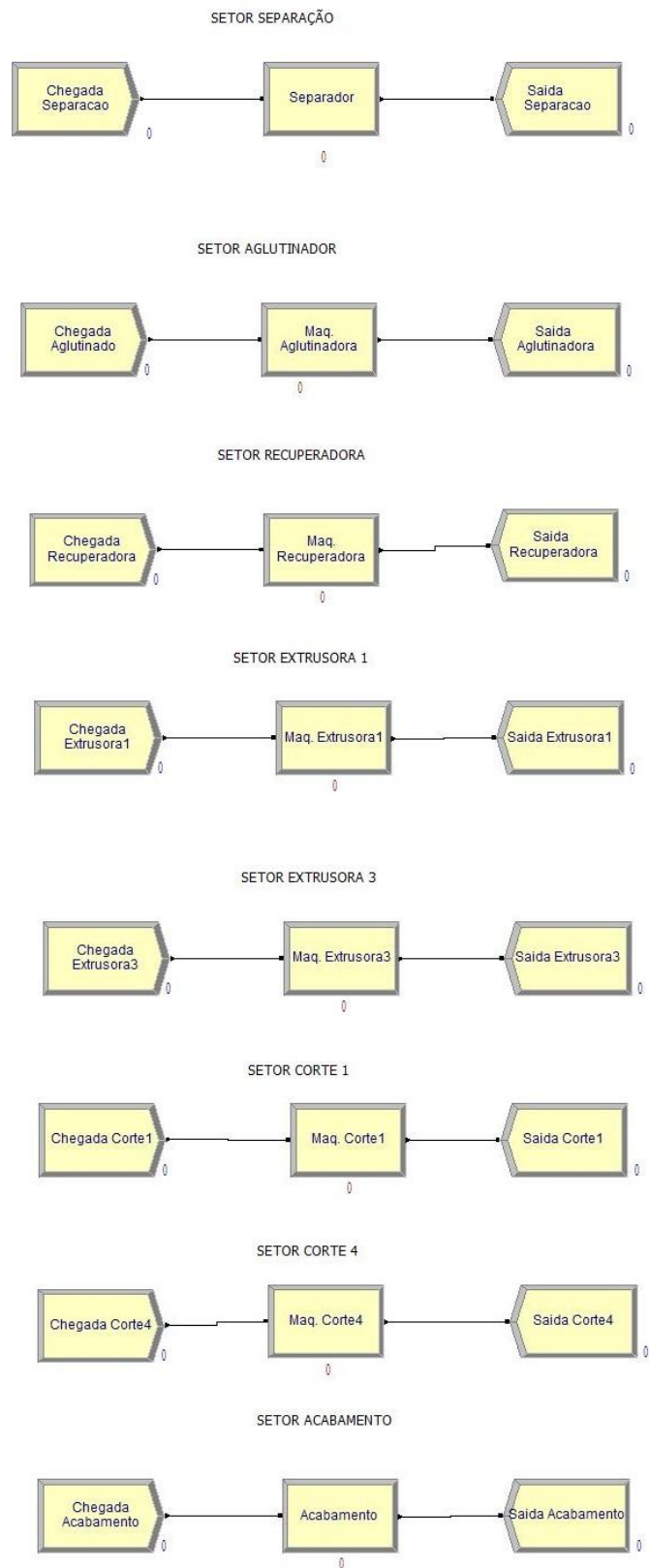
Figura 10: Processo de fabricação estudado



Fonte: Adaptado de Faria (2012)

A figura 11 mostra o fluxograma da figura 10 traduzido na lógica adotada pelo *software* ARENATM, com os processos definidos. Em todos os processos, foram utilizados os blocos básicos (*Basic process*): *Create* (Entrada), *process* (Processo) e *Dispose* (Saída).

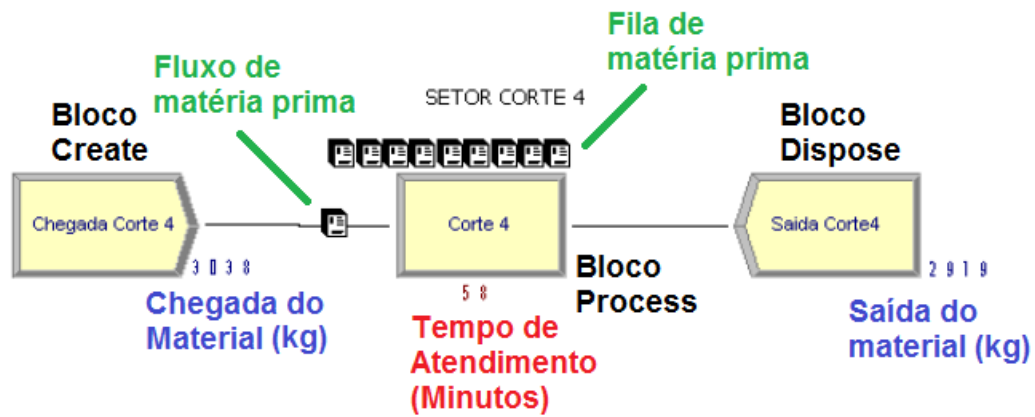
Figura 11: Processo de fabricação estudado feito pela lógica do *Software ARENA*™



Fonte: Elaborada pelos autores

A figura 12 mostra o modelo lógico de uma célula da indústria montado no *software* ARENA™, mostrando os blocos, filas, valores e fluxo.

Figura 12: Modelo do processo de Corte 4



Fonte: Adaptado de Faria (2012)

Em amarelo estão os blocos básicos de simulação de chegada, processo e saída. Ao lado direito do bloco *create*, em azul, está a quantidade de material que chega para ser processado na máquina de corte. Acima do bloco *process*, indicado em verde, está a fila formada pelo cliente (neste caso, matéria-prima). Abaixo, em vermelho, está o tempo de atendimento (TA) em minutos do beneficiamento da entidade. No bloco *dispose*, em azul à direita, mostra a quantidade de material que saiu em quilogramas.

5.2.4 Coleta de dados

Nesta fase, considerada a mais importante do estudo, foram coletados junto com a empresa os dados de todos os processos de fabricação de embalagens plásticas para serem utilizados na simulação. E esta fase pode ser considerada mais difícil, pois em algumas empresas os dados são inacessíveis por segredo industrial e pode haver excesso ou falta deles, que poderão comprometer a simulação.

Para obtenção dos dados dos processos, foram criadas planilhas para fazer o controle de cada setor, onde foram inseridos os horários de início e término, tipo de material, quantidade produzida, tempo de atendimento e *lead time*.

A obtenção de dados foi realizada durante o expediente da fábrica, que funciona de Segunda-feira a Sexta-feira das 6 às 18 horas e sábados das 6 às 15 horas, durante os meses de Abril e Outubro de 2014. Alguns setores da fábrica foram obtidas uma coleta de 5 dias, por

fatos complicadores. Para a realização do estudo, os autores fizeram visitas periódicas e tiveram apoio da alta administração e dos funcionários mais experientes da fábrica, havendo pouca dificuldade em obter os dados do processo.

Após a coleta, os dados foram transcritos para a planilha do Microsoft Excel™ 2010, onde as amostras foram submetidas a cálculos, a mesma utilizada no trabalho de Faria (2012). A quantidade de material foi obtida a partir da razão da massa de material produzida pelo tempo de expediente da indústria, excluindo pausas, como o horário de almoço dos funcionários e paradas inoportunas das máquinas.

5.2.5 Tratamento de dados

Nesta fase, os dados obtidos de cada processo passaram por tratamentos em ferramentas computacionais para se tornarem aptos para serem simulados. Esse procedimento é executado de forma atenciosa e precisa para não perder nenhum tipo de informação importante e que deve estar em conformidade com o objetivo do estudo. Como foi dito anteriormente, os dados coletados foram inseridos no Microsoft Excel™ 2010 com finalidade de estudo e tratamento por meio de tabelas e planilhas para se chegar à produtividade de cada setor da empresa.

O processo de produção na empresa segue um fluxo linear que passa pelas seis etapas básicas de manufatura, apresentando comportamento bem definido para a aplicação do estudo.

Após os dados de a fábrica ser transcritos para o Microsoft Excel™ 2010 e tratados, o mesmo foram convertidos em um arquivo texto (.txt) inseridos na ferramenta *Input Analyzer* do *software* ARENA™ para descobrir a melhor função de distribuição de probabilidade que melhor obedece a esse conjunto.

5.3 Estudo e comparação dos dados obtidos após a simulação

A empresa Beta trabalha no setor de manufatura de sacos plásticos e tem como política sempre atender clientes com eficiência, com produtos de qualidade e cumprimento de prazos, seja dos produtos padronizados ou até mesmo personalizados. Desde a criação, a empresa Beta tem sua estrutura organizacional voltada para atender da melhor forma a demanda de clientes utilizando sua capacidade produtiva dividida e direcionada entre número de servidores, de recursos, entidades, e tempo de trabalho. Números de servidores são

considerados as máquinas ou postos de trabalho, número de recursos são os funcionários, e as entidades são a quantidade em quilogramas de material produzido.

Como a empresa trabalha na produção de produtos embalagens plásticas não apenas padronizados, mas também personalizados, diversificados e com especificações diferentes de acordo com os pedidos dos clientes, o fluxo da produção alterna bastante e se torna complexo induzir melhorias nesse caso. Sendo assim, a utilização de ferramentas como o *software* ARENA™ se torna muito importante para criar modelos de um sistema de produção real, uma vez que este permite fazer modificações e simular situações reais diversas possibilitando chegar e obter possíveis resultados mais favoráveis e satisfatórios no processo produtivo.

Anteriormente a este estudo, Faria (2012) já havia desenvolvido um estudo de simulação na mesma empresa de estudo atual. Porém, recentemente, a empresa Beta, automatizou uma das máquinas do processo produtivo de manufatura de embalagem plástica denominada recuperadora. A troca do filtro da máquina recuperadora que era feita manualmente e demandava cerca de 15 minutos por troca, atualmente é feita em cerca de poucos segundos, o que significou um ganho e mais eficiência na produtividade da organização. A partir disso, uma nova simulação foi desenvolvida para apurar novos resultados após a automatização e compara-los.

Mas antes de fazer a simulação da modelagem computacional no *software* ARENA™ é primordial fazer primeiramente a coleta de dados, considerando as variáveis de tempo no sistema, os números de servidores, de clientes na fila e seus respectivos tempos de atendimento, número de recursos e de entidades.

Após coletados os dados, são inseridos as variáveis e expressões de distribuição de probabilidade na modelagem real. No Anexo A são mostrados as distribuições de probabilidades geradas pelo *Input Analyzer* a partir dos dados coletados de cada setor da fábrica. A simulação da empresa Beta foi realizada anteriormente com o tempo de oito horas com 24 replicações, que são o tempo de horas trabalhadas por dia e aos dias trabalhados por mês respectivamente. Terminado a simulação se gerou os seguintes resultados e variáveis relevantes anteriores a automatização da máquina recuperadora na tabela 2, e os relatórios completos da simulação podem ser vistos no Anexo B deste trabalho:

Tabela 2: Cenário anterior da empresa

	Separador	Aglutinado	Recuperado	Extrusora 1	Extrusora 3	Corte 1	Corte 4	Acabamento
IC (min)	EXPO (12,576)	EXPO (1,923)	EXPO (0,6197)	EXPO (6,1037)	EXPO (6,1037)	EXPO (0,0411)	EXPO (0,0962)	EXPO (6,25)
TA (min)	ERLA (0,052, 4)	EXPO (2,17)	1 + WEIB (0,749, 1.55)	0,13 + 1,08 * BETA (5,6, 15,4)	0,37 + ERLA (0,0894, 4)	0,13 + 0,27 * BETA (0,954, 1,57)	TRIA (0, 0,607, 1,7)	EXPO (0,16)
VA Time (TA)	0.2089	2.1850	1.6731	0.4190	0.7349	0.2312	0.7681	0.1651
TF (min)	0	38.0773	148.28	0.0134768	0.04022203	197.4	210.46	0
TS (min)	0.2089	40.1357	149.43	0.4325	0.7751	197.54	210.89	0.1651
NF (kg)	0	19.6998	238.9	0.00226437	0.0063684	4812.4	2177.61	0
M	4	1	1	1	1	1	1	3
TOS (%)	0,00430847 (0,4308 %)	0,9745 (97,45 %)	0,9999 (99,99 %)	0,06779101 (6,7791 %)	0,1144 (11,44 %)	1,0000 (100 %)	1,0000 (100 %)	0,00905816 (0,905816 %)
Entidade s entrada (kg)	39.5833	250.75	769.96	77.7917	74.8333	11682.17	4980.92	79.0833
Entidade s saída (kg)	3.472 por hora							

Fonte: Adaptado de Faria (2012)

Destacou-se em amarelo os valores referentes às variáveis que caracterizam na simulação deste sistema, anterior a automatização, a presença de gargalos, que são: número de clientes na fila (NF), número de servidores (M) e taxa de ocupação do sistema (TOS).

Analisando os valores de NF presentes na tabela percebem-se diferenças e uma grande amplitude entre os valores, o que indica espera de clientes na fila e formação de filas.

Já os valores de TOS, nessa primeira simulação antes da automatização, verificou alta taxa de ocupação nos seguintes servidores: Aglutinação (97,45%), Recuperação (99,99%), Corte 1 (100%) e Corte 4 (100%). A TOS próxima aos 100% significa dizer que o número de servidores (M) ou de funcionários está em operação durante em alguns desses setores de 97,45% a 100% do tempo, o que mostra que existe instabilidade nestes processos citados. Acredita-se que a taxa de ocupação considerada razoável de cada servidor (máquina) contendo um recurso ou funcionário na organização, de acordo com Faria (2012), seria nesse caso de 75%.

A partir desse mesmo modelo de simulação e após a automatização do servidor recuperador da empresa Beta, uma nova simulação foi realizada. Terminado a simulação se gerou os seguintes novos resultados e variáveis relevantes após a automatização da troca de filtro da máquina recuperadora, mostradas na tabela 3, e comparadas as TOS nas figuras 13 e 14.

Tabela 3: Cenário atual após a automatização

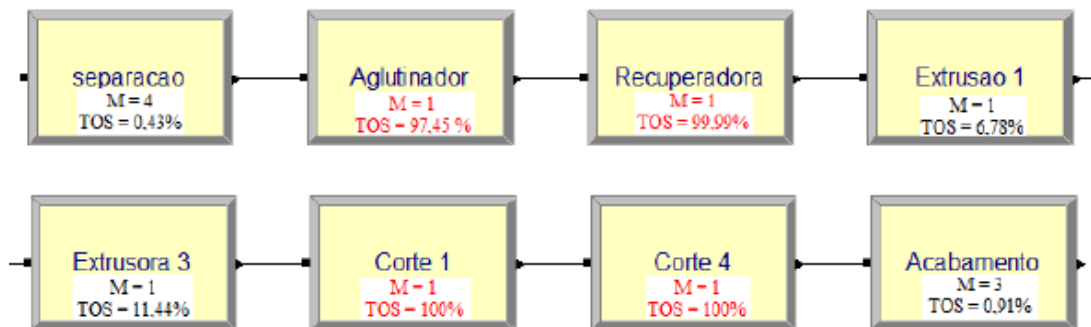
Cenário Após Automatização - Cenário Atual

Número de Replicações = 24

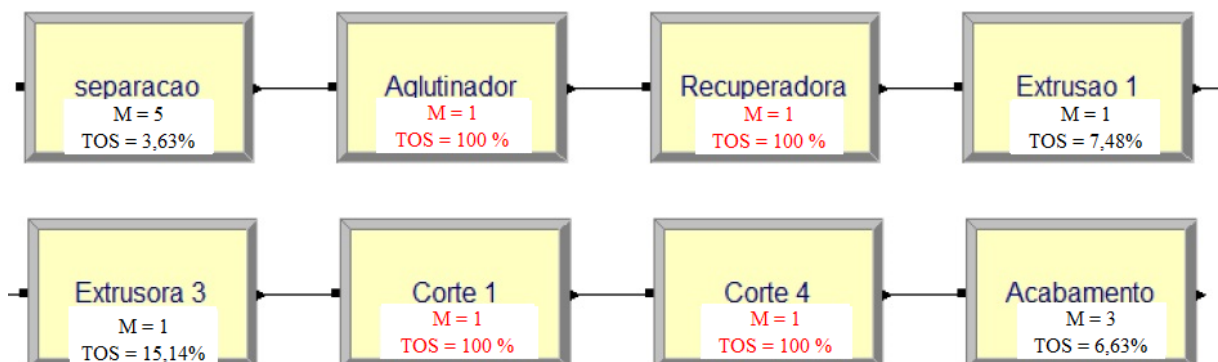
Tempo da Simulação = 8 horas

	Separador	Aglutinador	Recuperadora	Extrusora 1	Extrusora 3	Corte 1	Corte 4	Acabamento
IC (min)	EXPO (12,576)	EXPO (1,923)	EXPO (0,6197)	EXPO (6,1037)	EXPO (6,1037)	EXPO (0,0411)	EXPO (0,0962)	EXPO (6,25)
TA (min)	1 + GAMM(0.266, 4.62)	1.5 + 9 * BETA(1.37, 2.05)	0.13 + WEIB(2.01, 5.63)	NORM(0.463, 0.0871)	-0.001 + WEIB(0.98, 7.06)	0,13 + 0,27 * BETA (0,954, 1,57)	6 * BETA(0.598, 2.04)	4 * BETA(0.685, 1.66)
VA Time (TA)	2.2291	13.8585	1.9809	0.4652	0.9216	0.2317	1.3795	1.1673
TF (min)	0.00	199.17	163.58	0.02015669	0.0904	197.68	221.8	0.00034695
TS (min)	2.2291	206.96	164.89	0.4855	1.0122	197.82	222.53	1.1676
NF (kg)	0.00	108.92	262.24	0.00330268	0.01508066	4783.29	2326.67	0.00005566
M	5	1	1	1	1	1	1	3
TOS (%)	0.03635101 (03,63%)	1 (100%)	1 (100%)	0.07486181 (7,48%)	0.1514 (15,14%)	1 (100%)	1 (100%)	0.06632410 (6,63%)
Entidades entrada (kg)	38.9583	34.3333	241.83	77.2083	78.7917	2070.75	348.13	81.4583
Entidades saída (kg)	2971 por hora							

Fonte: Dados de pesquisa

Figura 13: Cenário antes da automatização

Fonte: Adaptado de Faria (2012)

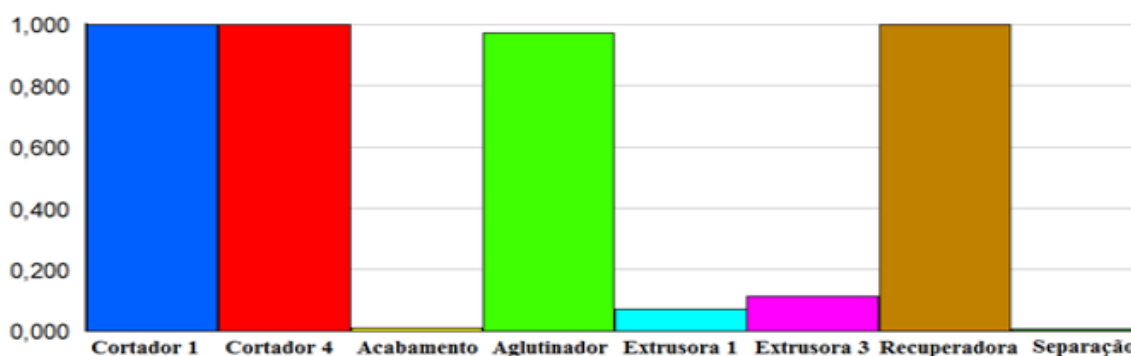
Figura 14: Cenário após automatização

Fonte: Elaborada pelos autores

Comparando os dois cenários, constata-se que houve mudanças chamativas em alguns valores das TOS dos setores. Ocorreu aumento, mas não muito significativo na Separação de 0,43% para 3,63%, Extrusão 1 de 6,78% para 7,48%, Extrusão 3 de 11,44% para 15,14%, e Acabamento de 0,91% para 6,63%. No geral, desses setores citados, o aumento da TOS não representa preocupação para a empresa Beta, exceto os setores de Aglutinação, Corte 1, Corte 4 e a Recuperadora, porque os números mostram que os servidores estão operando 100% do tempo e indicam instabilidade no sistema. Para haver uma diminuição significativa da TOS e ter uma melhor estabilidade, uma alternativa é aumentar o número de servidores (M) para assim balancear e diluir a quantidade de produtos semiacabados processados, mas isso implicaria em altíssimo investimento em maquinário.

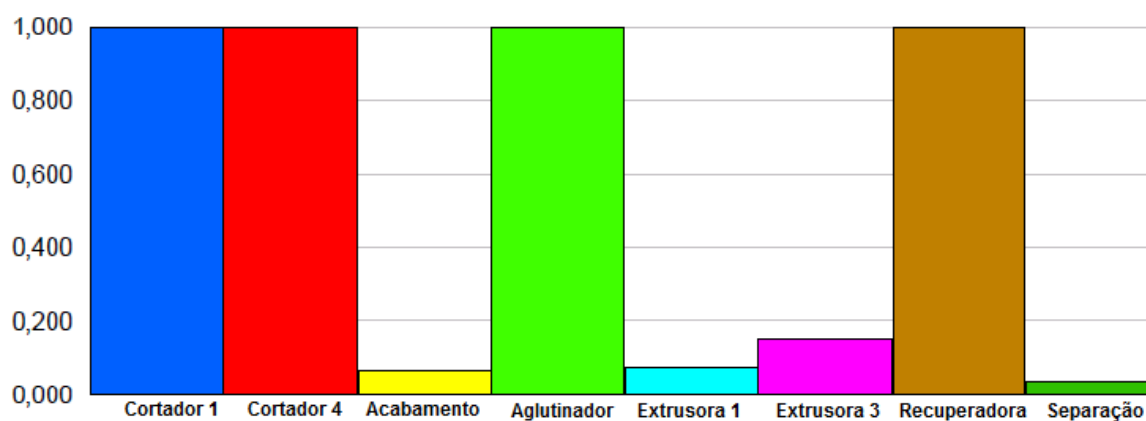
A seguir, nas figuras 15 e 16, está a representação gráfica de fácil visualização para análise dos resultados da taxa de ocupação dos servidores (TOS) entre o antes e depois da automatização do servidor recuperadora do sistema:

Figura 15: Gráfico da taxa de ocupação de servidores antes da automatização



Fonte: Adaptado de Faria (2012)

Figura 16: Gráfico da taxa de ocupação de servidores depois da automatização



Fonte: Dados de pesquisa

Portanto, pode-se perceber, visualmente, que houve um aumento da TOS nos servidores de Acabamento, Aglutinador, Extrusora 1, Extrusora 3, e Separação, que junto com os demais setores refletiram no tempo em fila (TF) como se pode perceber na tabela 5.

Tabela 5: Apuração do tempo em fila dos cenários anterior e atual

Número de Replicações = 24					Tempo da Simulação = 8 horas			
	Separador	Aglutinador	Recuperadora	Extrusora 1	Extrusora 3	Corte 1	Corte 4	Acabamento
Cenário Anterior (antes automatização)								
TF (min)	0	38.0773	148.28	0.0134768	0.04022203	197.4	210.46	0
Cenário Atual (após automatização)								
TF (min)	0	199.17	163.58	0.02015669	0.0904	197.68	221.80	0.00034695

Fonte: Dados de pesquisa

A tabela 5, gerada após os relatórios de cenários antigos (em amarelo) e atuais (em verde) da empresa Beta de antes e após a automatização, representa de forma geral mudanças pouco significativas entre os tempos de fila dos setores, exceto no Aglutinador. Chama-se a atenção a esse setor, principalmente, devido ao aumento de 38 para 199 minutos de tempo de fila para que um quilograma leva a ser manufaturado. Acredita-se que um dos motivos do aumento do TF da aglutinação se deu em conta de nos dias da coleta coincidir a empresa Beta ter uma grande demanda bastante variada de materiais, cerca de cinco tipos de materiais e procedimentos de aglutinação diferentes. Já os demais setores permanecem com os mesmo tempos em fila ou tiveram aumentos poucos significativos; setores Separador, Extrusora 1, Extrusora 3, Recuperadora e Acabamento. No entanto, a tabela e os gráficos representam resultados positivos e adequados na questão de fornecer dados concretos que auxiliam tomar decisões de possíveis melhorias (criação de cenários no *software* ARENATM), possibilitando criar sugestões de redução dos gargalos que podem ser alcançados pela diminuição da espera de produtos semiacabados, que são os clientes, esperando em fila para serem atendidos e processados.

Os números em minutos representam o tempo que um quilograma (kg) de material plástico aguarda em fila para ser manufaturado. Analisando dessa maneira, chega-se a notáveis mudanças nos servidores, principalmente, na aglutinadora em relação ao cenário anterior:

- Aglutinador: 80% de aumento do tempo de espera em fila de um quilograma de material.

- Recuperadora: 10% de aumento do tempo de espera em fila de um quilograma de material.
- Corte 4: 10% de aumento do tempo de espera em fila de um quilograma de material.

Em relação ao setor específico de estudo, na tabela 6 têm-se os resultados das variáveis relevantes da recuperadora, antes e após a automatização.

Tabela 6: Cenário atual e anterior recuperadora

	Recuperadora Antes Automatização	Recuperadora Automatizada
IC (min)	EXPO (0,6197)	EXPO (0,6197)
TA (min)	1 + WEIB (0,749, 1.55)	0.13 + WEIB(2.01, 5.63)
VA Time (TA)	1.6731	1.9809
TF (min)	148.28	163.58
TS (min)	149.43	164.89
NF (kg)	238.9	262.24
M	1	1
TOS (%)	0,9999 (99,99%)	1 (100%)
Entidades entrada (kg)	769.96	769,46
Entidades saída (kg)	286.33	241.83

Fonte: Dados de pesquisa

Constatam-se em destaque que apesar da automatização da máquina recuperadora a mesma não acarretou grandes mudanças ou diferenças no resultado do processo de manufatura como um todo em relação ao cenário anterior em que a troca de filtro era manualmente feita. Porém, existe um ganho em relação ao tempo para o funcionário desenvolver outra função ou ajudar em outra atividade na empresa, uma vez que a troca manual gastava-se cerca de 15 minutos por troca em cada operação e agora em apenas alguns segundos. Considerando que são feitas em média sete trocas de filtro por dia, ocorreu uma economia de tempo de aproximadamente 1 hora e 45 minutos por dia. Analisando-se os dados, chama-se a atenção novamente em relação à taxa de ocupação do servidor (TOS).

Percebe-se que a TOS continua alta mesmo após a automatização e chegou agora aos 100%, o que significa que está em operação todo o tempo e o sistema de processamento de manufatura está com uma instabilidade e gargalos na linha.

A comparação dos cenários antigos e atuais serve para inferir que a automatização foi satisfatória em termos de aumentar o valor agregado do funcionário para a organização. Entretanto, nem sempre uma automatização de um processo significa ganhos finais de produção uma vez que na empresa de estudo o gargalo permanece no setor de Corte. Dias *et. al.* (2013) mostra que em algumas situações a automatização não é viável, principalmente em empresas de pequeno porte.

As empresas, principalmente as de pequeno porte, possuem recursos financeiros na maioria das vezes escassos, para novos investimentos, desta forma, o auxílio das ferramentas de Pesquisa Operacional vem pra auxiliar os gestores na tomada de decisão, como encontrar as áreas dentro da empresa que necessitam de mais atenção, ou mesmo investimento. Uma correta e confiável coleta de dados, válida a ferramenta, fazendo com que estes possam ser utilizados de forma a se obter informações úteis na tomada de decisão. (DIAS *ET.AL.*, 2013)

A partir dos dados atuais da empresa Beta, foram criados cenários ideais no *software* ARENA™ através da ferramenta *Process Analyzer* para o processo de manufatura com o número adequado de número de servidores (M) para atender a linha, a figura 17 mostram os cenários gerados.

Figura 17: Cenários gerados no Process Analyzer

	Scenario Properties			Controls							Responses					
	S	Name	Reps	Cortador1	Cortador4	OperadorAcabamento	OperadorAgilitadora	OperadorExtrusora	OperadorExtrusora3	OperadorRecuperadora	OperatorSeparator	System NumberOut	Cortador1 ScheduledUtiliza	Cortador4 ScheduledUtiliza	OperadorAgilitadora ScheduledUtiliza	OperadorRecuperadora ScheduledUtiliza
1	🚩	Scenario 1	24	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	5.0000	2971.458	1.000	1.000	1.000	1.000
2	🚩	Scenario 2	24	6.0000	8.0000	3.0000	2.0000	1.0000	1.0000	2.0000	5.0000	15280.750	0.937	0.999	0.997	0.999
3	🚩	Scenario 3	24	6.0000	8.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	3.0000	5.0000	15494.292	0.937	0.999	0.998	0.988
4	🚩	Scenario 4	24	6.0000	8.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	15518.458	0.938	0.999	0.998	0.991
5	🚩	Scenario 5	24	6.0000	8.0000	3.0000	2.0000	1.0000	1.0000	3.0000	5.0000	15539.708	0.940	0.999	0.998	0.990
6	🚩	Scenario 6	24	7.0000	9.0000	3.0000	2.0000	1.0000	1.0000	3.0000	3.0000	15885.167	0.805	0.999	0.998	0.987
7	🚩	Scenario 7	24	8.0000	9.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	15834.917	0.702	0.999	0.998	0.993
8	🚩	Scenario 8	24	8.0000	9.0000	3.0000	2.0000	1.0000	1.0000	3.0000	2.0000	15910.667	0.705	0.999	0.998	0.988
9	🚩	Scenario 9	24	7.0000	9.0000	3.0000	2.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	15921.833	0.804	0.999	0.997	0.792
10	🚩	Scenario 10	24	7.0000	9.0000	2.0000	2.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	15928.833	0.804	0.999	0.997	0.797
11	🚩	Scenario 11	24	7.0000	9.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	15905.042	0.803	0.999	0.997	0.793
12	🚩	Scenario 12	24	7.0000	10.0000	2.0000	3.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	16305.667	0.803	0.998	0.995	0.799
13	🚩	Scenario 13	24	7.0000	10.0000	2.0000	4.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	16374.625	0.805	0.998	0.993	0.803
14	🚩	Scenario 14	24	7.0000	9.0000	2.0000	5.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	16053.750	0.805	0.999	0.989	0.796
15	🚩	Scenario 15	24	7.0000	10.0000	2.0000	5.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	16347.250	0.802	0.998	0.989	0.802
16	🚩	Scenario 16	24	7.0000	10.0000	1.0000	3.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	16330.833	0.806	0.998	0.996	0.794
17	🚩	Scenario 17	24	7.0000	10.0000	2.0000	3.0000	1.0000	1.0000	5.0000	1.0000	16343.917	0.805	0.998	0.995	0.651
18	🚩	Scenario 18	24	7.0000	10.0000	2.0000	4.0000	1.0000	1.0000	5.0000	1.0000	16350.333	0.804	0.998	0.993	0.645
19	🚩	Scenario 19	24	7.0000	11.0000	2.0000	4.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	16707.125	0.804	0.998	0.991	0.801
20	🚩	Scenario 20	24	7.0000	11.0000	2.0000	4.0000	1.0000	1.0000	4.0000	2.0000	16708.708	0.805	0.998	0.991	0.804
21	🚩	Scenario 21	24	7.0000	12.0000	2.0000	4.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	17079.875	0.806	0.998	0.992	0.801
22	🚩	Scenario 22	24	7.0000	14.0000	2.0000	4.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	17721.167	0.806	0.985	0.992	0.791
23	🚩	Scenario 23	24	7.0000	14.0000	2.0000	6.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	17769.083	0.805	0.985	0.975	0.802
24	🚩	Scenario 24	24	7.0000	14.0000	2.0000	8.0000	1.0000	1.0000	4.0000	1.0000	17796.958	0.803	0.988	0.860	0.803

Fonte: Dados de Pesquisa

Diversos cenários foram criados e aquele que gerava maior valor de produção final de saída e gerava maior estabilidade no sistema foi escolhido, no caso, o Cenário 24, que é mostrado na tabela 7 e no Anexo 2 deste trabalho com mais detalhes.

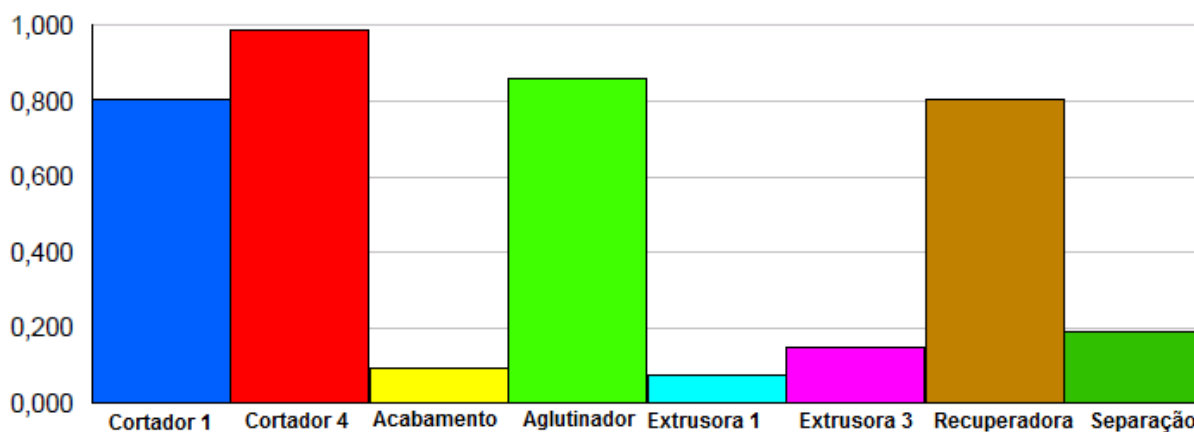
Tabela 7: Cenário ideal após a automatização (Cenário 24)

Cenário Ideal Após Automatização - Cenário Ideal								
Número de Replicações = 24				Tempo da Simulação = 8 horas				
	Separador	Aglutinador	Recuperadora	Extrusora 1	Extrusora 3	Corte 1	Corte 4	Acabamento
IC (min)	EXPO (12,576)	EXPO (1,923)	EXPO (0,6197)	EXPO (6,1037)	EXPO (6,1037)	EXPO (0,0411)	EXPO (0,0962)	EXPO (6,25)
TA (min)	1 + GAMM(0.266, 4.62)	1.5 + 9 * BETA(1.37, 2.05)	0.13 + WEIB(2.01, 5.63)	NORM (0.463, 0.0871)	-0.001 + WEIB(0.98, 7.06)	0,13 + 0,27 * BETA (0,954, 1,57)	6 * BETA(0.598, 2.04)	4 * BETA(0.685, 1.66)
VA Time (TA)	2.2203	13.7589	1.9834	0.4596	0.9158	0.2317	1.359	1.1768
TF (min)	0.2337	4.9892	0.8338	0.0186068	0.06688989	0.04738706	6.3775	0.00663133
TS (min)	2.4542	18.7317	2.8179	0.4782	0.9826	0.2791	7.7194	1.1834
NF (kg)	0.020567	2.63	1.3641	0.00297588	0.01087113	1.151	66.9974	0.00108975
M	1	8	4	1	1	7	14	2
TOS (%)	0.1879 (18,79%)	0.8601 (86,01%)	0.8031 (80,31%)	0.07351109 (7,35%)	0.1471 (14,71%)	0.8030 (80,30%)	0.9880 (98,80%)	0.0908 (9,08%)
Entidades entrada (kg)	40.6667	245.54	779.88	76.7917	77.125	11649.58	5018.75	74.3333
Entidades saída (kg)	17797 por hora							

Fonte: Dados de Pesquisa

Analisando os resultados e as variáveis geradas na tabela 7, percebe-se um grande ganho de produtividade e redução dos TF e TOS.

Comparando a tabela 3 (cenário atual) com a tabela 7 (cenário ideal) observam-se mudanças positivas nas taxas de ocupação dos servidores que são críticos. Aglutinação de 100% passou para 86%, Recuperadora de 100% passou para 80,31%, Corte 1 de 100% para 80,3% e Corte 4 de 100% para 98,8%. Isso foi fruto do aumento do número de servidores em cada setor em relação ao cenário atual, o que significou diluição dos gargalos e diminuição da instabilidade do sistema. Percebe-se a mudança visualmente no gráfico da TOS, ilustrado pela figura 18.

Figura 18: Gráfico da taxa de ocupação dos servidores no Cenário 24

Fonte: Dados de pesquisa

Portanto, observa-se que os setores críticos com a criação de cenário ideal dado pelo *software* tiveram suas taxas de ocupação reduzida. Analisando a tabela 8, a seguir, se tem uma comparação apurada do tempo de fila.

Tabela 8: Apuração do tempo em fila dos cenários anterior e atual

Número de Replicações = 24					Tempo da Simulação = 8 horas			
	Separador	Aglutinador	Recuperadora	Extrusora 1	Extrusora 3	Corte 1	Corte 4	Acabamento
Cenário Atual (após automatização)								
TF (min)	0	199.17	163.58	0.02015669	0.0904	197.68	221.80	0.000347
Cenário Ideal (Cenário 24)								
TF (min)	0.2337	4.9892	0.8338	0.0186068	0.06688989	0.04739	6.3775	0.0066313

Fonte: Dados de Pesquisa

Nota-se que todos os tempos de fila reduziram após a criação do Cenário 24. A redução do tempo de espera em fila é muito importante, uma vez que significa que a entidade (em quilogramas) entrou e deixou a fila de forma mais rápida e a taxa de atendimento está mais eficiente que o cenário anterior devido ao aumento de número de servidores (máquinas). Logo, consequentemente o número de saídas totais de entidades do sistema ficou bem maior, de 2971 kg/hora (quilogramas por hora) passou a ser 17797 kg/hora com a criação desse cenário 24.

Entretanto, vale ressaltar que o número atual de servidores (M) de 14 passou para 38 no cenário 24. Isto torna, evidentemente, inviável uma vez que significa em investimento altíssimo em maquinário novo e, consequentemente, contratação de mais funcionários para

operação das mesmas, e também implicaria em fazer um rearranjo ou ampliar espaço físico da empresa. Tudo isso são medidas que se tornam totalmente inviáveis, portanto, pelo alto custo.

Todavia, devido a vivência dos analistas na empresa durante os dias de coleta de dados, algumas inferências e sugestões podem ser tomadas ao invés do alto investimento nos 24 maquinários:

I. Manutenção de uma das máquinas extrusora e de, principalmente, três máquinas de corte que estão paradas;

II. Contratação de novos funcionários e assim aumentar o número de recursos por servidor;

III. Aquisição de um novo aglutinador com maior capacidade produtiva;

IV. Substituição de recursos (funcionárias mulheres por homens) no servidor corte ou automatização da troca da bobina plástica;

V. Substituição dos servidores (máquinas) por outros mais modernos e avançados tecnologicamente.

Sem dúvida, qualquer uma das cinco sugestões, a empresa Beta irá ter que arcar com investimentos financeiros. Entretanto, são alternativas mais viáveis para se colocar em prática e melhorar o cenário atual da organização.

A primeira sugestão sugere-se a manutenção principalmente em três maquinários de corte que se encontram parados uma vez que existe uma alta taxa de ocupação dos servidores atuais em funcionamento nesse setor. Portanto, colocando os cinco cortes que existem na fábrica em funcionamento, com certeza se teria a diminuição da TOS, diminuição de gargalos nesse setor e consequentemente aumento na produtividade.

Em relação à segunda sugestão, é interessante o aumento do efetivo de funcionários para que os operadores dos servidores da empresa Beta não fiquem totalmente sobrecarregados. Sendo assim possam trabalhar com uma margem de tempo maior e caso ocorra qualquer eventualidade, existirá outro para substituição imediata. Além disso, a segunda sugestão serve como link com a primeira sugestão uma vez que voltando a operar todos os servidores se precisará de mais recursos.

Já em relação à terceira sugestão, uma vez que o setor de aglutinação é uma das primeiras etapas do processo de manufatura do plástico e também teve um alto TOS, acredita-se que com a aquisição de mais um servidor seria interessante para equilibrar o sistema, diminuir o gargalo e diluir a taxa de atendimento nesse setor. Existem também no mercado, servidores (equipamentos) que automaticamente após a aglutinação transportam as entidades para o seguinte setor (no caso a recuperação).

A quarta sugestão se deu devido ao fato de os analistas observarem que os recursos (funcionários) atuais em operação no servidor tem dificuldade em fazer a troca das bobinas plásticas vindas do processo de extrusão e necessitam auxílio de outros recursos (funcionários). Percebe-se, portanto, que se perde tempo na troca (cerca de 7 minutos em média) e ajuste dos rolos (8 minutos em média) uma vez que os recursos atuais (funcionários do sexo feminino) não tem muita força física para carregar e acoplar a bobina no servidor de corte, uma vez que pesa em torno de 45 kg. Devido a essa necessidade de auxílio, ocorre a interrupção dos outros recursos (funcionários sexo masculino) de outros servidores (aglutinação e recuperação). Logo, o reajuste de recursos seria interessante ou até mesmo a automatização da troca de rolos ou bobinas se faz necessário para redução de tempo de *set-up*, porém vem novamente à questão de investimentos financeiros.

Por último, a quinta sugestão é vista como a melhor das alternativas apesar do alto investimento financeiro que se teria. Contudo, mesmo que com alto investimento que isto implica, em longo prazo é visto como uma excelente proposta uma vez que a empresa Beta tem produtos de qualidade, demanda crescente de produtos, clientes fidelizados e um bom mercado.

6 CONCLUSÃO

A técnica de simulação é uma ferramenta de grande valia para melhorar o sistema produtivo de indústrias e serviços, escolhendo a melhor solução. Utilizou-se o modelo que se adequava ao sistema real da empresa Beta e representava melhor o sistema atual em estudo.

A construção do modelo de simulação ideal é fundamental para se chegar a conclusões reais e decisões que podem ser futuramente tomadas. Através do modelo de simulação é possível identificar os tempos em fila das entidades e, principalmente, os gargalos que atrapalham o fluxo produtivo.

O modelo anterior, previamente desenvolvido, representava o cenário da empresa Beta anteriormente à automatização de um dos setores (recuperadora). Este modelo foi simulado e analisado com o intuito de estudar os tempos em fila, taxa de ocupação, e gargalos que haviam sido identificados no setor de corte.

A simulação e o modelo do estudo anterior foram importantes para a obtenção da base e a continuação do atual trabalho desenvolvido e estudado.

O modelo de simulação do processo de produção da empresa Beta após a implantação da máquina recuperadora foi gerado com sucesso a partir do *software* ARENA™

Os relatórios de resultados que foram gerados pelo programa foram fundamentais para se descobrir a formação de filas, a taxa de ocupação e gargalos no sistema de produção da empresa. Além de informar, também, a quantidade de entrada e saída de entidades de cada processo e de saída total do sistema de produção.

A partir da análise dos resultados atuais de simulação realizada pelos analistas, a automatização da troca de filtros da máquina recuperadora da indústria Beta, constatou-se que houve um grande ganho em termos de aumento do valor agregado do funcionário para a organização em desenvolver outras atividades, tarefas ou auxílios em outros servidores. A automatização representou também um aumento tímido de produtividade, atendeu em termos de melhoria de qualidade e agregou valor ao produto.

Concluiu-se que houve um significativo ganho de cerca de duas horas por dia no tempo de trabalho do funcionário com a automatização do servidor recuperação. Em relação à produção total de manufatura os valores das entidades de saída se mantiveram próximos e não tiveram grandes diferenças, continuando em torno de 3000 quilogramas por hora. Portanto, a decisão de automatizar o processo de recuperação do plástico foi de grande valia para a empresa Beta. Entretanto, sugerem-se ainda outras melhorias para se reduzir a taxa de ocupação dos servidores (TOS) dos processos Corte 1, Corte 4, Recuperadora e Aglutinadora.

Pode se perceber que as modelagens e simulações através de *softwares* podem ser refeitas para apontar melhores soluções usando modelos válidos no mundo real. O trabalho, portanto, mostrou que a simulação é uma ferramenta que auxilia no planejamento estratégico, uma vez que descobre as possíveis formações de filas (que em algumas situações poderão formar os gargalos), permitindo a identificação de diversos cenários para implantação de melhorias em setores problemáticos sem a necessidade intervenção no sistema real.

REFERÊNCIAS

- ACKOFF, Russell L; SASIENI, Maurice W. **Pesquisa Operacional**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1977.
- ALMEIDA, Maria Aparecida Fernandes. **Simulação de Sistemas: Notas de Aula**. Belo Horizonte, [s.n.], 2009.
- ALMEIDA, Maria Aparecida Fernandes. **Pesquisa Operacional: Notas de Aula**. Belo Horizonte, [s.n.], 2010.
- ALVIM, Rafael Soares Pissolato. **Planejamento de Capacidade Ferroviária Via Simulação**. 70p. 2009. Monografia (Conclusão do Curso) - Universidade Federal de Minas Gerais, Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Escola de Engenharia. Belo Horizonte.
- ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para Análise de Decisão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PLÁSTICA. **Consumo de plástico**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/noticias/consumo-de-plastico-cresce-85-em-2012/20130226110106_P_824> Acesso em: 02 mai. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PLÁSTICA. **Consumo de plástico**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>> Acesso em: 01 mai. 2014.
- BANKS, Jerry; CARSON, John S; NELSON, Barry L; NICOL, David M. **Discrete-event system simulation**. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. **Metodologia básica para elaboração de trabalhos de conclusão de cursos**. São Paulo: Atlas, 2008
- BISCOTTO, Bernardo de Almeida. **A simulação de eventos discretos em uma indústria automotiva**. 59p. 2008. Monografia (Conclusão do Curso) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Graduação em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção. Juiz de Fora.
- DIAS, Carla Maria de Lima; PEREIRA, Gabriela Veloso; LIMA, Gisele Paz; SANTOS, Lilian de Fátima Costa; GARBI, Mariana Rezende Oliveira; ABELHA, Rita Alessandra Pereira Reis. **Otimização da ordem de produção de coletores de dados a fim de se maximizar o lucro**. 12f. 2013. Seminário - Universidade Federal de Itajubá, Pós-Graduação em Pesquisa Operacional, Itajubá.
- FARIA, Danielle Brey-Gil. **Modelagem e simulação da manufatura em uma indústria de embalagens plásticas**. 61f. 2012. Monografia (Conclusão do Curso) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Graduação em Engenharia de Produção, Instituto Politécnico. Belo Horizonte.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicação em ARENA**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 3. ed. São Paulo: Campus, 2007.

MICHAELIS. **Dicionário Escolar Língua Portuguesa**. 2. ed. São Paulo: Melhoramentos, 2008.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

MORABITO, Reinaldo. **Pesquisa Operacional**. In: BATALHA, Mario Otavio (org.). **Introdução à Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013

NAYLOR, Thomas H. **Técnicas de Simulação em Computadores**. Petrópolis: Vozes, 1971.

PORTER, Michael E. **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das Filas e da Simulação**. 4. ed. Nova Lima: INDG, 2009.

PRADO, Darci Santos do. **Usando o ARENA em Simulação**. 4. ed. Nova Lima: INDG, 2009.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MATERIAL PLÁSTICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Extrusão**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em:
< <http://www.simplast.com.br/associados/extrusao.php> > Acesso em: 28 abr. 2014.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MATERIAL PLÁSTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais**. São Paulo, 2011. Disponível em:
<http://file.sindioplast.org.br/download/guia_ambiental_internet.pdf > Acesso em: 02 mai. 2014.

SLACK, Nigel; CHAMBERS; Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SILVA, Isabela Cristina Borges. **Modelagem e simulação para análise de capacidade de Terminais de carga e descarga ferroviária**. 76f. 2012. Monografia (Conclusão do Curso) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Graduação em Engenharia de Produção, Instituto Politécnico. Belo Horizonte.

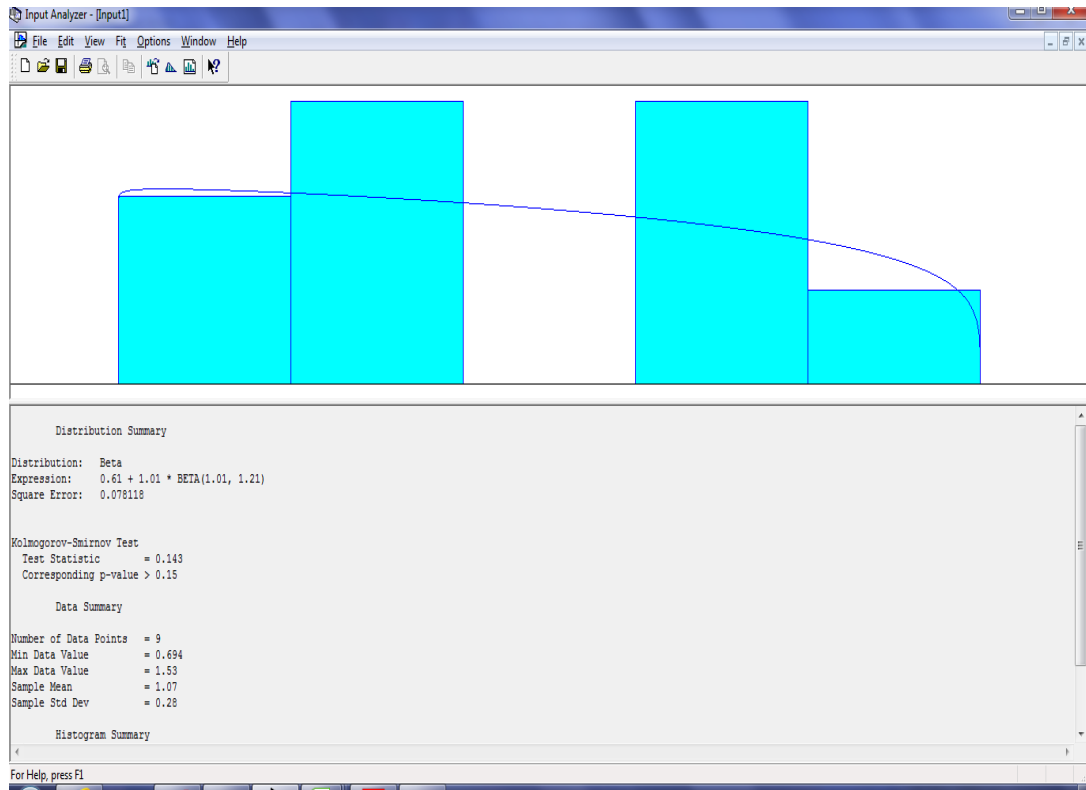
SOARES, José Francisco, FARIAS, Alfredo A., CESAR, Cibele Comini. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

SOUZA, Bruno Santos de. **Aplicação da simulação como ferramenta de auxílio de decisão em uma indústria têxtil de grande porte.** 139f. 2010. Monografia (Conclusão do Curso) - Universidade de São Paulo, Graduação em Engenharia de Produção, Escola Politécnica. São Paulo.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção, teoria e prática.** 4. ed. São Paulo : Atlas, 2008.

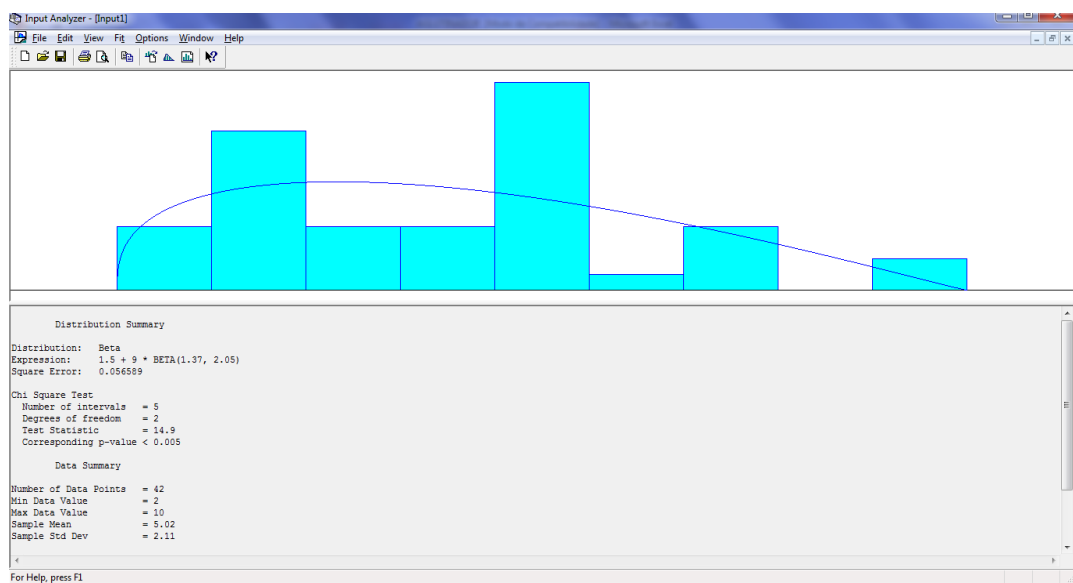
ANEXO A: DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DA CADA SETOR GERADA PELO *INPUT ANALYZER*.

Figura 19: Distribuição gerada com os dados do processo de separação



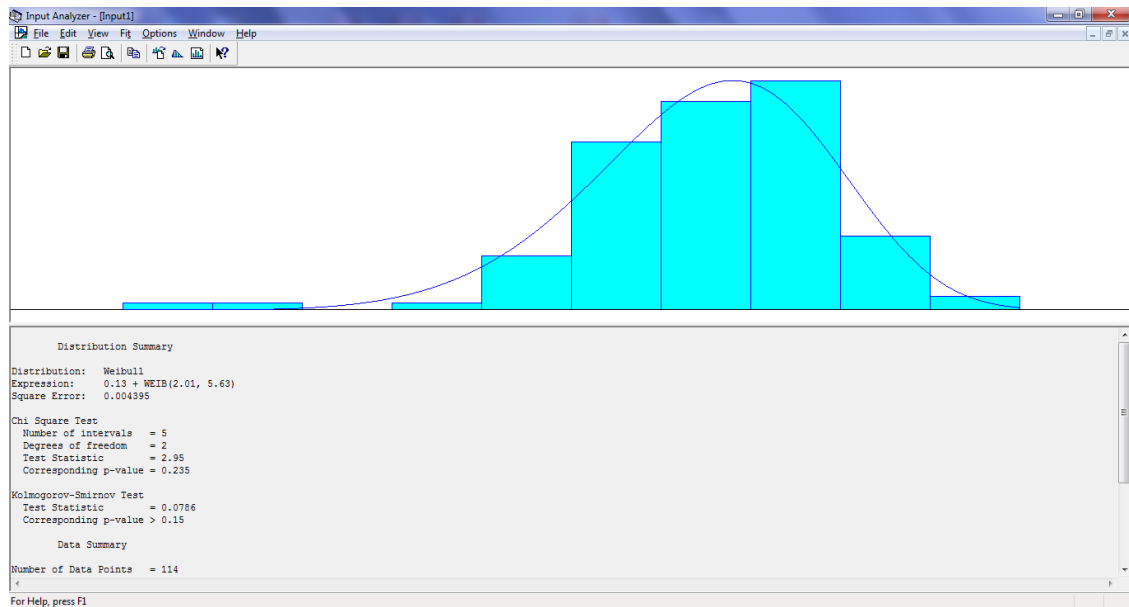
Fonte: Dados de pesquisa

Figura 20: Distribuição de probabilidade gerada com os dados do processo de aglutinação



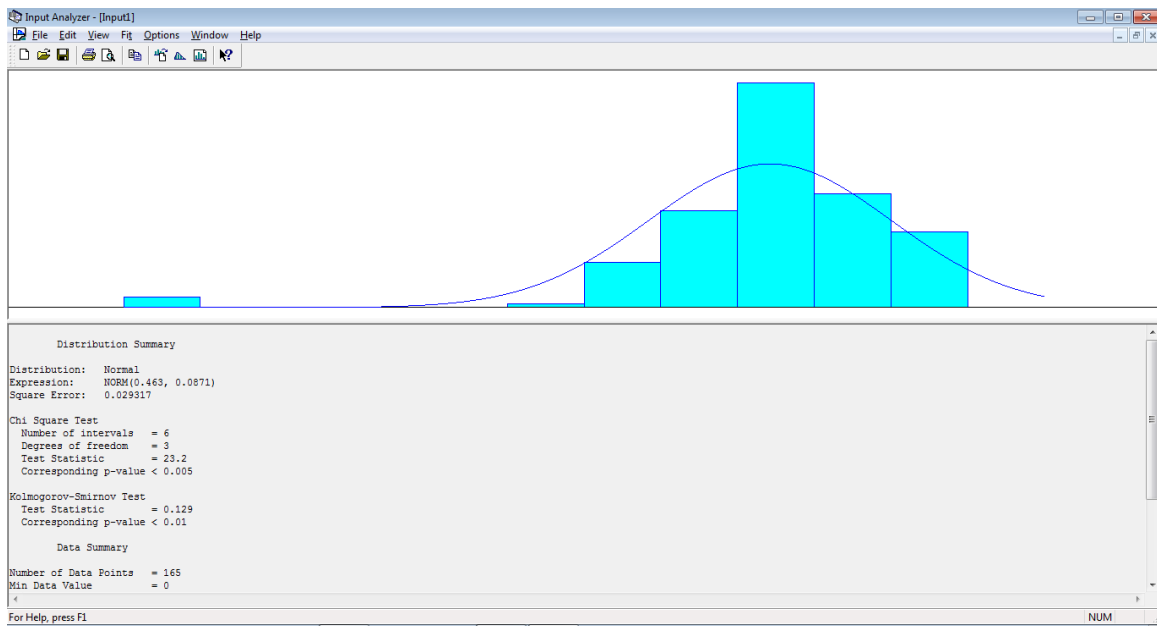
Fonte: Dados de pesquisa

Figura 21: Distribuição gerada com os dados do processo de recuperação



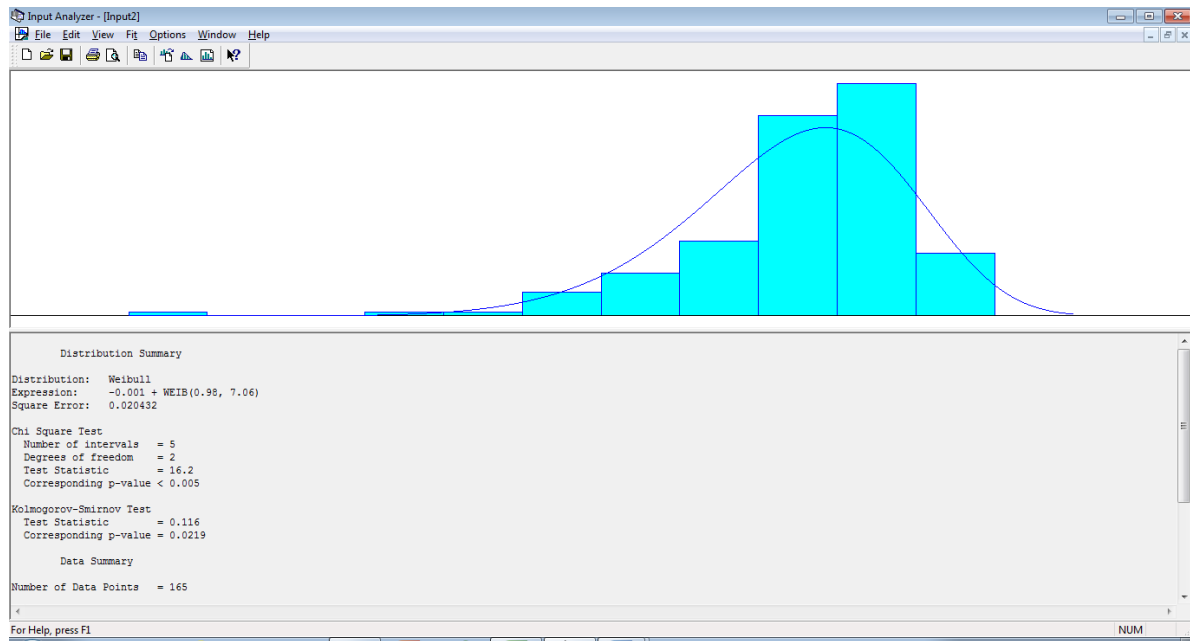
Fonte: Dados de pesquisa

Figura 22: Distribuição gerada com os dados do processo de extrusão 1



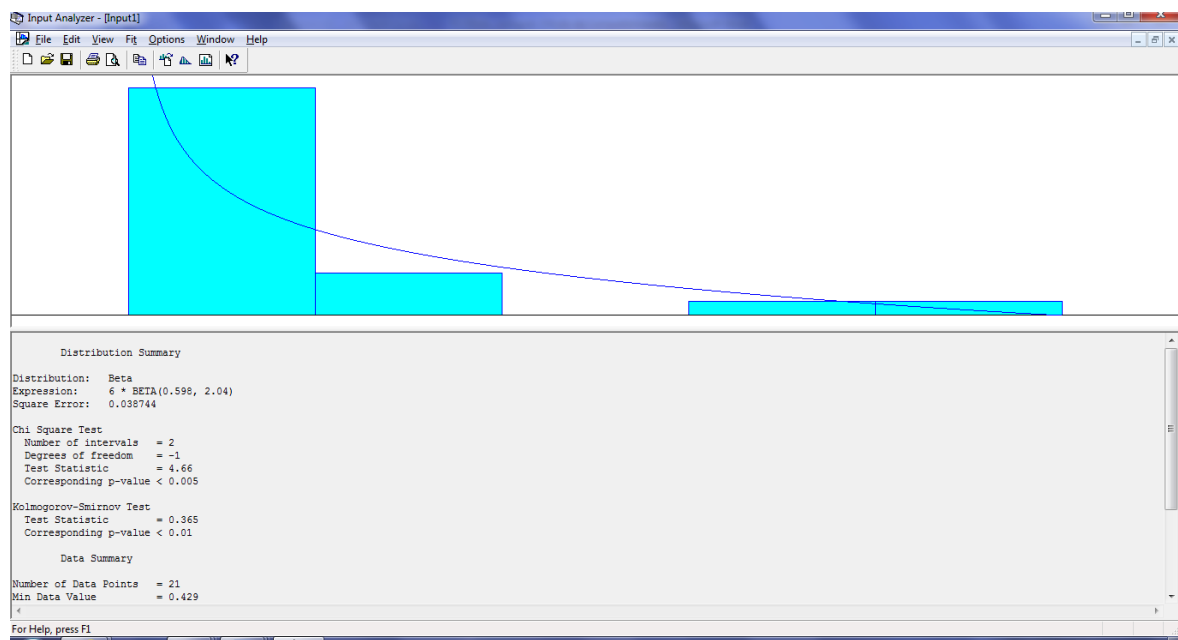
Fonte: Dados de pesquisa

Figura 23: Distribuição gerada com os dados do processo de extrusão 3



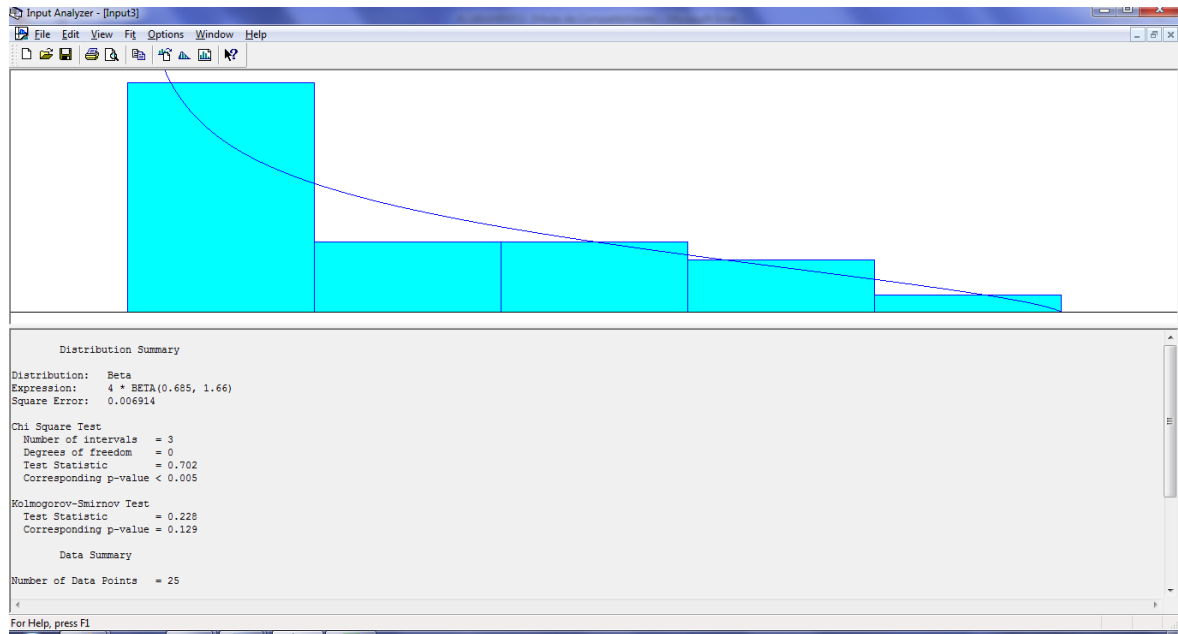
Fonte: Dados de pesquisa

Figura 24: Distribuição gerada com os dados do processo de corte 4



Fonte: Dados de pesquisa

Figura 25: Distribuição gerada com os dados do processo de acabamento



Fonte: Dados de pesquisa

ANEXO B: RELATÓRIOS DA SIMULAÇÃO GERADOS PELO SOFTWARE ARENA™

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

System

Average

Number Out17,797

Model Filename: C:\Users\430920\Desktop\Melhor Cenario2

Page 1 of 13

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Materialacabado	1.1768	0,03	1.0454	1.3517	0.00005754	3.7869
Materialaglutinado	13.7589	0,23	12.7023	14.9434	5.5014	48.8870
Materialcortado1	0.2317	0,00	0.2303	0.2330	0.1300	0.3971
MaterialCortado4	1.3590	0,01	1.3285	1.3937	0.00000064	5.8262
MaterialExtrusao1	0.4596	0,00	0.4394	0.4830	0.1891	0.7984
MaterialExtrusao2	0.9158	0,01	0.8748	0.9527	0.3339	1.3583
Materialrecuperado	1.9834	0,01	1.9569	2.0096	0.3891	3.2568
Materialseparado	2.2203	0,03	2.0373	2.3622	1.2515	4.4297

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Materialacabado	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialaglutinado	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialcortado1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialCortado4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialrecuperado	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialseparado	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
Materialacabado	0.00663982	0,00	0.00	0.02925749	0.00	1.3695
Materialaglutinado	4.9728	1,88	0.8316	22.1518	0.00	43.8077
Materialcortado1	0.04739105	0,00	0.04057561	0.05879488	0.00	0.7675
MaterialCortado4	6.3604	1,46	1.1175	15.6560	0.00	31.9582
MaterialExtrusao1	0.01861777	0,01	0.00678416	0.06865900	0.00	0.8195
MaterialExtrusao2	0.06680598	0,01	0.01450053	0.1320	0.00	2.6324
Materialrecuperado	0.8344	0,10	0.5101	1.5030	0.00	8.6565
Materialseparado	0.2339	0,05	0.04212224	0.4446	0.00	4.4297

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Entity

Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Materialacabado	1.1768	0,03	1.0454	1.3517	0.00005754	3.7869
Materialaglutinado	13.7589	0,23	12.7023	14.9434	5.5014	48.8870
Materialcortado1	0.2317	0,00	0.2303	0.2330	0.1300	0.3971
MaterialCortado4	1.3590	0,01	1.3285	1.3937	0.00000064	5.8262
MaterialExtrusao1	0.4596	0,00	0.4394	0.4830	0.1891	0.7984
MaterialExtrusao2	0.9158	0,01	0.8748	0.9527	0.3339	1.3583
Materialrecuperado	1.9834	0,01	1.9569	2.0096	0.3891	3.2568
Materialseparado	2.2203	0,03	2.0373	2.3622	1.2515	4.4297

NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Materialacabado	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialaglutinado	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialcortado1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialCortado4	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao1	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao2	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialrecuperado	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialseparado	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
Materialacabado	0.00663982	0,00	0.00	0.02925749	0.00	1.3695
Materialaglutinado	4.9728	1,88	0.8316	22.1518	0.00	43.8077
Materialcortado1	0.04739105	0,00	0.04057561	0.05879488	0.00	0.7675
MaterialCortado4	6.3604	1,46	1.1175	15.6560	0.00	31.9582
MaterialExtrusao1	0.01861777	0,01	0.00678416	0.06865900	0.00	0.8195
MaterialExtrusao2	0.06680598	0,01	0.01450053	0.1320	0.00	2.6324
Materialrecuperado	0.8344	0,10	0.5101	1.5030	0.00	8.6565
Materialseparado	0.2339	0,05	0.04212224	0.4446	0.00	4.4297

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Entity**Time****Transfer Time**

	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Materialacabado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialaglutinado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialcortado1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialCortado4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialrecuperado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialseparado	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
Materialacabado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialaglutinado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialcortado1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialCortado4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MaterialExtrusao2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialrecuperado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materialseparado	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
Materialacabado	1.1834	0.03	1.0538	1.3517	0.00005754	3.7892
Materialaglutinado	18.7317	1.99	13.8703	36.6668	5.5014	64.8601
Materialcortado1	0.2791	0.00	0.2720	0.2909	0.1300	1.0739
MaterialCortado4	7.7194	1.46	2.4586	17.0497	0.00004505	36.7221
MaterialExtrusao1	0.4782	0.01	0.4551	0.5311	0.1891	1.2744
MaterialExtrusao2	0.9826	0.01	0.9226	1.0398	0.3339	3.7423
Materialrecuperado	2.8179	0.11	2.4670	3.5062	0.3891	10.7554
Materialseparado	2.4542	0.06	2.1104	2.6797	1.2515	6.8620

Other

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

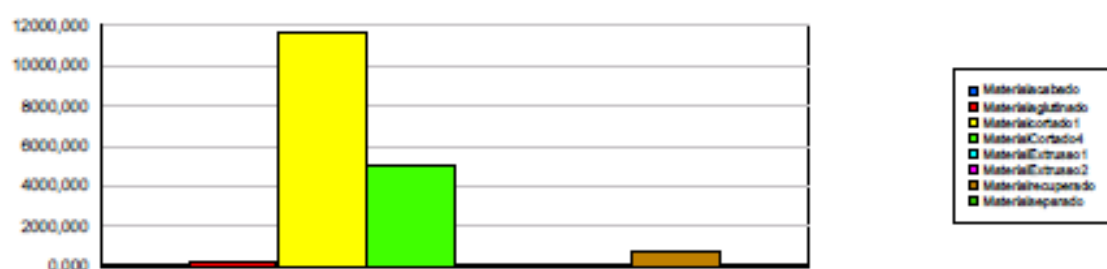
Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Materialacabado	74.3333	4,17	54.0000	89.0000
Materialaglutinado	245.54	6,46	220.00	263.00
Materialcortado1	11649.58	44,01	11442.00	11850.00
MaterialCortado4	5018.75	25,62	4893.00	5137.00
MaterialExtrusao1	76.7917	3,59	62.0000	92.0000
MaterialExtrusao2	77.1250	2,95	62.0000	90.0000
Materialrecuperado	779.88	9,58	737.00	829.00
Materialseparado	40.6667	2,45	29.0000	51.0000



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Materialacabado	74.2917	4,17	54.0000	89.0000
Materialaglutinado	235.46	6,36	210.00	272.00
Materialcortado1	11643.38	44,14	11435.00	11844.00
MaterialCortado4	4873.63	23,79	4779.00	5007.00
MaterialExtrusao1	76.7500	3,62	62.0000	92.0000
MaterialExtrusao2	77.0000	2,90	62.0000	89.0000
Materialrecuperado	775.88	9,55	737.00	823.00
Materialseparado	40.5833	2,48	29.0000	51.0000

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Entity**Other**

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Materialacabado	0.1827	0,01	0.1415	0.2261	0.00	4.0000
Materialaglutinado	9.5112	1,23	6.1956	20.4928	0.00	32.0000
Materialcortado1	6.7719	0,08	6.5114	7.1360	0.00	32.0000
MaterialCortado4	80.8301	15,54	25.0938	182.61	0.00	364.00
MaterialExtrusao1	0.07648697	0,00	0.05958534	0.0908	0.00	3.0000
MaterialExtrusao2	0.1579	0,01	0.1192	0.1840	0.00	4.0000
Materialrecuperado	4.5765	0,21	3.7878	5.8483	0.00	23.0000
Materialseparado	0.2085	0,02	0.1376	0.2652	0.00	4.0000

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Process**Time per Entity**

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Acabamento	1.1768	0,03	1.0454	1.3517	0.00005754	3.7869
Corte 1	0.2317	0,00	0.2303	0.2330	0.1300	0.3971
Corte 4	1.3590	0,01	1.3285	1.3937	0.00000064	5.8262
Extrusora1	0.4596	0,00	0.4394	0.4830	0.1891	0.7984
Extrusora3	0.9158	0,01	0.8748	0.9527	0.3339	1.3583
Maquina Aglutinadora	13.7589	0,23	12.7023	14.9434	5.5014	48.8870
Maquina Recuperadora	1.9834	0,01	1.9569	2.0096	0.3891	3.2568
Separador	2.2203	0,03	2.0373	2.3622	1.2515	4.4297

Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Acabamento	0.00663982	0,00	0.00	0.02925749	0.00	1.3695
Corte 1	0.04739105	0,00	0.04057561	0.05879488	0.00	0.7675
Corte 4	6.3604	1,46	1.1175	15.6560	0.00	31.9582
Extrusora1	0.01861777	0,01	0.00678416	0.06865900	0.00	0.8195
Extrusora3	0.06680598	0,01	0.01450053	0.1320	0.00	2.6324
Maquina Aglutinadora	4.9728	1,88	0.8316	22.1518	0.00	43.8077
Maquina Recuperadora	0.8344	0,10	0.5101	1.5030	0.00	8.6565
Separador	0.2339	0,05	0.04212224	0.4446	0.00	4.4297

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Acabamento	1.1834	0,03	1.0538	1.3517	0.00005754	3.7892
Corte 1	0.2791	0,00	0.2720	0.2909	0.1300	1.0739
Corte 4	7.7194	1,46	2.4586	17.0497	0.00004505	36.7221
Extrusora1	0.4782	0,01	0.4551	0.5311	0.1891	1.2744
Extrusora3	0.9826	0,01	0.9226	1.0398	0.3339	3.7423
Maquina Aglutinadora	18.7317	1,99	13.8703	36.6668	5.5014	64.8601
Maquina Recuperadora	2.8179	0,11	2.4670	3.5062	0.3891	10.7554
Separador	2.4542	0,06	2.1104	2.6797	1.2515	6.8620

Accumulated Time

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

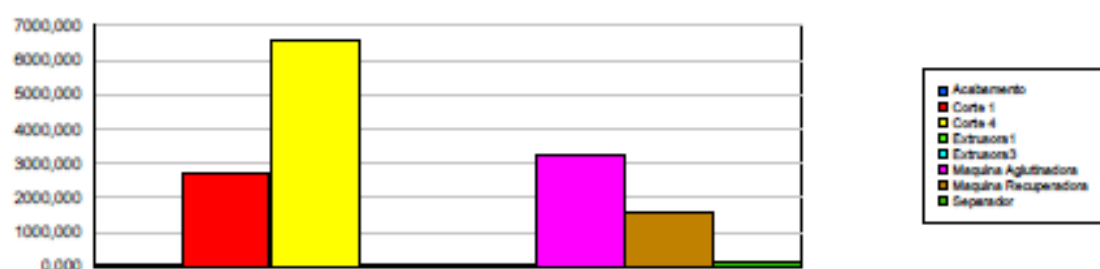
Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Process

Accumulated Time

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Acabamento	87.1078	4,55	67.9232	108.53
Corte 1	2697.39	11,40	2646.23	2753.52
Corte 4	6622.88	27,81	6475.27	6693.39
Extrusora1	35.2798	1,71	28.0104	42.2992
Extrusora3	70.5405	2,80	55.7662	81.5867
Maquina Aglutnadora	3239.21	99,42	2738.13	3672.28
Maquina Recuperadora	1538.99	20,78	1442.23	1635.85
Separador	90.0718	5,58	64.8076	111.68



12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Process**Accumulated Time**

Accum Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Acabamento	0.5231	0,30	0.00	2.5161
Corte 1	552.21	29,38	469.09	692.25
Corte 4	30943.31	6.996,41	5403.01	75133.03
Extrusora1	1.4284	0,41	0.4380	4.8748
Extrusora3	5.2023	0,89	1.1165	10.1669
Maquina Aglutinadora	1203.17	484,00	174.64	5604.41
Maquina Recuperadora	650.53	86,79	375.91	1202.41
Separador	9.8723	2,51	1.2215	19.2610

**Other**

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

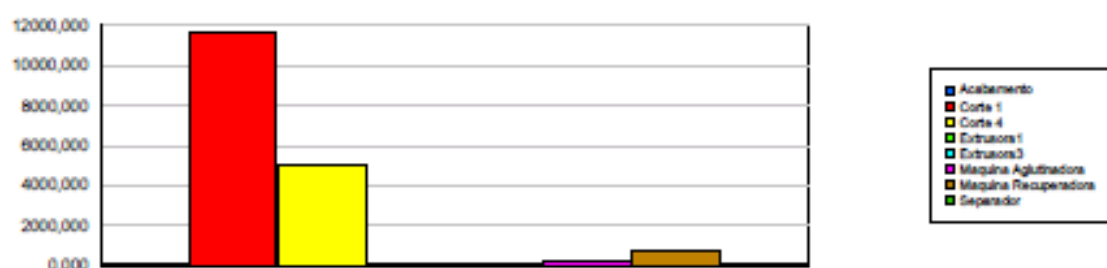
Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Process

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Acabamento	74.3333	4,17	54.0000	89.0000
Corte 1	11649.58	44,01	11442.00	11850.00
Corte 4	5018.75	25,62	4893.00	5137.00
Extrusora1	76.7917	3,59	62.0000	92.0000
Extrusora3	77.1250	2,95	62.0000	90.0000
Maquina Aglutnadora	245.54	6,46	220.00	283.00
Maquina Recuperadora	779.88	9,58	737.00	829.00
Separador	40.6667	2,45	29.0000	51.0000



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Acabamento	74.2917	4,17	54.0000	89.0000
Corte 1	11643.38	44,14	11435.00	11844.00
Corte 4	4873.63	23,79	4779.00	5007.00
Extrusora1	76.7500	3,62	62.0000	92.0000
Extrusora3	77.0000	2,90	62.0000	89.0000
Maquina Aglutnadora	235.46	6,36	210.00	272.00
Maquina Recuperadora	775.88	9,55	737.00	823.00
Separador	40.5833	2,48	29.0000	51.0000

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Acabamento.Queue	0.00663133	0,00	0.00	0.02925749	0.00	1.3695
Corte 1.Queue	0.04738706	0,00	0.04057274	0.05876992	0.00	0.7675
Corte 4.Queue	6.3775	1,46	1.1251	15.7009	0.00	31.9582
Extrusora1.Queue	0.01860680	0,01	0.00678416	0.06865900	0.00	0.8195
Extrusora3.Queue	0.06688989	0,01	0.01450053	0.1320	0.00	2.6324
Maquina Aglutnadora.Queue	4.9892	1,90	0.8363	22.4943	0.00	43.8077
Maquina Recuperadora.Queue	0.8338	0,10	0.5101	1.4993	0.00	8.6565
Separador.Queue	0.2337	0,05	0.04212224	0.4446	0.00	4.4297

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Acabamento.Queue	0.00108975	0,00	0.00	0.00524197	0.00	2.0000
Corte 1.Queue	1.1510	0,06	0.9775	1.4422	0.00	25.0000
Corte 4.Queue	66.9974	15,50	11.5439	168.64	0.00	350.00
Extrusora1.Queue	0.00297588	0,00	0.00091249	0.01015581	0.00	2.0000
Extrusora3.Queue	0.01087113	0,00	0.00232613	0.02118104	0.00	3.0000
Maquina Aglutnadora.Queue	2.6300	1,08	0.3859	12.6207	0.00	24.0000
Maquina Recuperadora.Queue	1.3641	0,18	0.7832	2.5050	0.00	19.0000
Separador.Queue	0.02056736	0,01	0.00254489	0.04012708	0.00	3.0000

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Cortador1	0.8030	0,00	0.7878	0.8197	0.00	1.0000
Cortador4	0.9880	0,00	0.9668	0.9984	0.00	1.0000
OperadorAcabamento	0.0908	0,00	0.07075332	0.1131	0.00	1.0000
OperadorAglutinadora	0.8601	0,03	0.7262	0.9840	0.00	1.0000
OperadorExtrusora	0.07351109	0,00	0.05835497	0.08812328	0.00	1.0000
OperadorExtrusora3	0.1471	0,01	0.1162	0.1717	0.00	1.0000
OperadorRecuperadora	0.8031	0,01	0.7512	0.8539	0.00	1.0000
OperadorSeparador	0.1879	0,01	0.1350	0.2327	0.00	1.0000
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Cortador1	5.6209	0,02	5.5145	5.7382	0.00	7.0000
Cortador4	13.8327	0,06	13.5346	13.9775	0.00	14.0000
OperadorAcabamento	0.1816	0,01	0.1415	0.2261	0.00	2.0000
OperadorAglutinadora	6.8811	0,20	5.8096	7.8722	0.00	8.0000
OperadorExtrusora	0.07351109	0,00	0.05835497	0.08812328	0.00	1.0000
OperadorExtrusora3	0.1471	0,01	0.1162	0.1717	0.00	1.0000
OperadorRecuperadora	3.2124	0,04	3.0046	3.4155	0.00	4.0000
OperadorSeparador	0.1879	0,01	0.1350	0.2327	0.00	1.0000
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Cortador1	7.0000	0,00	7.0000	7.0000	7.0000	7.0000
Cortador4	14.0000	0,00	14.0000	14.0000	14.0000	14.0000
OperadorAcabamento	2.0000	0,00	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
OperadorAglutinadora	8.0000	0,00	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000
OperadorExtrusora	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
OperadorExtrusora3	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
OperadorRecuperadora	4.0000	0,00	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
OperadorSeparador	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

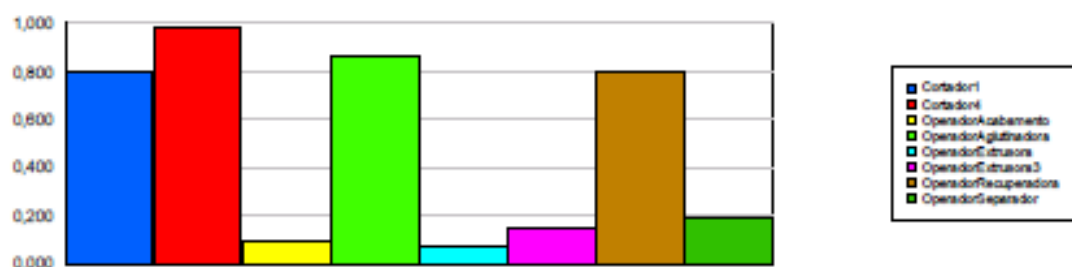
Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Cortador1	0.8030	0,00	0.7878	0.8197
Cortador4	0.9880	0,00	0.9668	0.9984
OperadorAcabamento	0.0908	0,00	0.07075332	0.1131
OperadorAglutinadora	0.8601	0,03	0.7262	0.9840
OperadorExtrusora	0.07351109	0,00	0.05835497	0.08812328
OperadorExtrusora3	0.1471	0,01	0.1162	0.1717
OperadorRecuperadora	0.8031	0,01	0.7512	0.8539
OperadorSeparador	0.1879	0,01	0.1350	0.2327



12:59:44

Category Overview

novembro 7, 2014

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 24 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Cortador1	11648.75	44,09	11442.00	11850.00
Cortador4	4887.63	23,79	4793.00	5021.00
OperadorAcabamento	74.3333	4,17	54.0000	89.0000
OperadorAglutinadora	242.58	6,19	218.00	280.00
OperadorExtrusora	76.7917	3,59	62.0000	92.0000
OperadorExtrusora3	77.1250	2,95	62.0000	90.0000
OperadorRecuperadora	778.92	9,60	737.00	827.00
OperadorSeparador	40.6667	2,45	29.0000	51.0000

