

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

**SIMULAÇÃO DINÂMICA PARA IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE
DE RESTRIÇÕES PRODUTIVAS**

Mário Felipe Walderramos Silva

TCC-EP-71-2010

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

SIMULAÇÃO DINÂMICA PARA IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RESTRIÇÕES PRODUTIVAS

Mário Felipe Walderramos Silva

TCC-EP-71-2010

Monografia apresentada como requisito de avaliação no curso de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Maringá – UEM.

Orientador: Prof.: Dr. Gilberto Clóvis Antonelli

**Maringá - Paraná
2010**

"The future belongs to those who believe
in the beauty of their dreams."

Eleanor Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Mário e Rossana por terem me educado e me apoiado indiferente de qual minha decisão fosse.

Aos meus irmãos Vitor, Lucas e agora Rebeca por serem mais do que irmãos, e sim verdadeiros amigos.

A minha namorada Dayane por estar sempre do meu lado e me apoiar incondicionalmente.

Ao meu orientador Gilberto por ter me guiado e mostrado o caminho para realizar este trabalho.

Ao professor Manoel por ter me auxiliado na parte técnica do trabalho.

A todos os colegas de curso por terem facilitado estes cinco anos de trabalho duro, sem eles não seria o mesmo.

Finalmente a Deus a quem devo tudo o que já consegui.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

Este trabalho mostra a utilização da simulação dinâmica de processos com auxílio do software Rockwell ARENA 12.0 para se encontrar valores reais dos indicadores produtivos (lead time, tamanho de filas, tempo de filas, etc.) e no auxílio à tomada de decisão nos problemas de alta complexidade que exigem ferramentas específicas, no caso a diminuição do elevado tempo de ciclo do produto estudado. Após uma observação detalhada do processo produtivo, foi realizado a cronoanálise do mesmo e posteriormente o tratamento estatístico destes dados com auxílio de fórmulas matemáticas e posteriormente com ferramentas especiais do software. Dois cenários foram modelados, um que representa a realidade atual da empresa e outro idealizado para diminuir significativamente o tempo de ciclo sem precisar de grandes investimentos. Após a validação da modelagem, foi realizado a simulação do mesmo e os indicadores e relatórios do software mostraram aonde se deveria atuar e a disponibilidade destes recursos foi alterada no modelo idealizado. Com tais mudanças foi possível diminuir consideravelmente (quase pela metade) o tempo de produção do lote conseqüentemente aumentando a capacidade produtiva da empresa, apenas se investindo em poucas máquinas novas e na contratação de apenas alguns funcionários.

Palavras-chave: *Modelagem, Simulação, Restrições Produtivas, Software ARENA.*

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	viii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	I
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4 SEQUÊNCIA LÓGICA DO TRABALHO	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
2.2 TEMPO PADRÃO.....	4
2.3 FLUXOGRAMA DE PROCESSOS	6
2.4 BALANCEAMENTO DE LINHAS	6
2.5 TEORIA DAS RESTRIÇÕES	9
2.5.1 <i>Definições</i>	9
2.5.2 <i>Princípios para implementação da teoria das restrições em processos produtivos</i>	10
2.6 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS	10
2.6.1 <i>Por que simular?</i>	11
2.6.2 <i>Sistemas</i>	11
2.6.3 <i>Modelos</i>	12
2.6.4 <i>Vantagens da simulação</i>	13
2.6.5 <i>Desvantagens da simulação</i>	13
2.6.6 <i>Passos na formulação de um estudo envolvendo modelagem e simulação</i>	14
2.7 O SOFTWARE ARENA.....	16
3. METODOLOGIA.....	19
4. DESENVOLVIMENTO.....	20
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA	20
4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	20
4.3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO	21
4.4 FLUXOGRAMA DE PROCESSOS.....	21
5. COLETA E ANÁLISE DE DADOS	24
5.1 COLETA DE DADOS	24
5.2 TRATAMENTO DOS DADOS	25
5.2.1 <i>Input Analyzer</i>	26
6. SIMULAÇÃO	28
6.1 <i>CREATE</i>	28
6.2 <i>ASSIGN</i>	29
6.3 <i>BATCH</i>	29
6.4 <i>PROCESS</i>	30
6.4.1 <i>Setups</i>	30
6.4.2 <i>Processamentos</i>	30
6.5 <i>RECORD</i>	31
6.6 SISTEMAS INDIVIDUAIS.....	32

6.6.1 Sistema de Inspeção de Qualidade	32
6.6.2 Sistema de montagem intermediária	34
6.6.3 Sistema de Zincagem	37
6.6.4 Sistema de Montagem Final	40
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
7.1 CENÁRIO REAL	45
7.2 CENÁRIO IDEALIZADO	46
7.3 QUADRO COMPARATIVO	47
8. CONCLUSÃO.....	48
9. REFERÊNCIAS	49
APÊNDICES.....	50
APÊNDICE 1 – TABELA APRESENTADA PELO ARENA DOS <i>LEAD TIMES</i> DOS COMPONENTES	51
APÊNDICE 2 – TABELA APRESENTADA PELO ARENA DOS TEMPOS DAS FILAS NOS PROCESSAMENTOS	52
APÊNDICE 3 – TABELA APRESENTADA PELO ARENA DAS ENTIDADES EM FILA NOS PROCESSAMENTOS	53
APÊNDICE 4 – TABELA APRESENTADA PELO ARENA DOS <i>LEAD TIMES</i> DOS COMPONENTES NO CENÁRIO IDEALIZADO	54
APÊNDICE 5 – TABELA APRESENTADA PELO ARENA DOS TEMPOS DAS FILAS NOS PROCESSAMENTOS NO CENÁRIO IDEALIZADO.....	55
APÊNDICE 6 – TABELA APRESENTADA PELO ARENA DAS ENTIDADES EM FILA NOS PROCESSAMENTOS NO CENÁRIO IDEALIZADO.....	56
APÊNDICE 7 – MODELAGEM DO SISTEMA ESTUDADO NO SOFTWARE ARENA.	57

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1: Símbolos do gráfico do fluxo de processo.
- Figura 2: Analogia do processo de produção com uma seqüência de tubulações.
- Figura 3: Representação esquemática de um modelo de sistema.
- Figura 4: Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação.
- Figura 5: Módulos de Fluxo do ARENA.
- Figura 6: Módulos de Dados do ARENA.
- Figura 7: Tela principal da ferramenta ARENA 12.0.
- Figura 8: Fluxograma do processo produtivo do produto estudado.
- Figura 9: *Create* utilizado na linha da Chapa de Aço.
- Figura 10: *Assign* utilizado na linha da Chapa de Aço.
- Figura 11: *Batch* utilizado na linha da Chapa de Aço.
- Figura 12: *Process* utilizado na linha da Chapa de Aço para simular um setup.
- Figura 13: *Process* utilizado na linha da Chapa de Aço para simular um processamento.
- Figura 14: *Record* utilizado na linha da Chapa de Aço.
- Figura 15: Sistema de Inspeção de Qualidade.
- Figura 16: Bloco *Process* simulando a Inspeção de Qualidade.
- Figura 17: Bloco *Decide* simulando a porcentagem de peças boas.
- Figura 18: Bloco *Process* simulando o processo de escariagem.
- Figura 19: Sistema de montagem intermediária.
- Figura 20: Bloco *Hold* simulando a espera da Chapa.
- Figura 21: Bloco *Hold* simulando a espera do Cubo.
- Figura 22: Bloco *Batch* simulando o agrupamento do Chapa/Cubo.
- Figura 23: Bloco *Batch* simulando o agrupamento de todos Chapa/Cubos.
- Figura 24: Bloco *Separate* simulando a separação do lote de Chapa/Cubos.
- Figura 25: Bloco *Process* simulando a montagem de cada Chapa/Cubo.
- Figura 26: Sistema de Zincagem.
- Figura 27: Bloco *Hold* simulando a produção de 70kg de componentes.
- Figura 28: Bloco *Batch* simulando a união das peças a serem zincadas.
- Figura 29: Bloco *Process* simulando o tempo de zincagem dos componentes.
- Figura 30: Bloco *Separate* simulando a separação dos componentes.
- Figura 31: Bloco *Decide* simulando a separação dos componentes por entidade.
- Figura 32: Sistema de Montagem Final.

Figura 33: Bloco *Hold* simulando a espera do CA.

Figura 34: Bloco *Hold* simulando a espera do PC.

Figura 35: Bloco *Hold* simulando a espera da CP.

Figura 36: Bloco *Hold* simulando a espera do CH/CB.

Figura 37: Bloco *Batch* simulando a união dos kits de componentes.

Figura 38: Bloco *Batch* simulando o agrupamento de 50 kits de componentes.

Figura 39: Bloco *Process* simulando o tempo de montagem dos kits.

Figura 40: Bloco *Separate* responsável por diluir os lotes de 50 unidades.

Figura 41: Bloco *Dispose* responsável por terminar a simulação.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Composição do produto estudado.

Quadro 2: Relação das distribuições geradas pelo Input Analyzer

Quadro 3: Comparação entre os cenários simulados.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tempos cronometrados dos diversos processos de fabricação.

Tabela 2: Tempos apontados em relatórios.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP	Capa de aço
CH	Chapa de aço
CH_CB	Chapa/Cubo
CA	Corpo de Alumínio
CB	Cubo de aço
PC	Pino Central

1. INTRODUÇÃO

No mundo globalizado atual em que vivemos, cada dia o mercado exige mais e mais das empresas: preço, qualidade e prazo. Aquelas que conseguirem níveis médios de excelência nesses quesitos conseguirão sobreviver, porém, o objetivo de toda empresa não é sobreviver ao mercado, e sim manter sua fatia do mercado e crescer para poder enfrentar a concorrência que hoje é mundial. Dai vem a questão: como melhorar a produtividade para concorrer com todas as outras empresas? Uma solução cabível é conhecer profundamente o seu processo produtivo e eliminar (ou reduzir) os processos que não agreguem valor ao seu produto ou serviço diminuindo os custos. Para isto não há ferramenta melhor do que a simulação, pois esta possibilita avaliar vários pontos do processo produtivo em um curto período de tempo, sem a necessidade de mudanças físicas (que muitas vezes são trabalhosas ou dispendiosas) e fornecendo relatórios detalhados que são de grande auxílio para se propor melhorias.

Este estudo procura demonstrar a utilização da simulação como ferramenta na busca de soluções para as restrições produtivas (recursos gargalos) em uma indústria metal-mecânica, buscando o aumento da produtividade da linha de produção da mesma.

1.1 Justificativa

O motivo principal pela escolha do problema a ser estudado foi, ao meu ver, a grande demanda das empresas brasileiras em adequar corretamente seus recursos empresariais como máquinas, ferramentas, operários, etc, a uma realidade onde o balanceamento da linha de produção é eficaz.

A indústria escolhida para a realização do estudo tem interesse em coletar dados sobre quais são seus recursos limitantes e quais as melhores soluções para saná-los, aumentando assim a produtividade e conseqüentemente melhorando o custo unitário de produção, dois dos fatores tripés (qualidade, produtividade e custos) que regem o concorrido mercado mundial.

Para isso é necessário realizar mudanças na linha de produção que podem ser determinadas de três maneiras diferentes:

- Por meio de opinião, onde as análises são embasadas em crenças e idéias próprias de um indivíduo, sendo de difícil quantificação e nem sempre corretas;
- Por meio de modelos matemáticos estatísticos, que são muito complicados e não consideram as características dinâmicas do sistema; e
- Por meio de modelos de simulação computacional dinâmico, onde a relação das variáveis entre si e as aleatoriedades do sistema são levadas em conta. Aumentando assim o poder de previsão do comportamento real

Este trabalho utiliza da simulação computacional, pois é a técnica mais atual e eficaz para se descobrir aonde realizar mudanças na linha de produção. Como ela é inteiramente computacional e não exige mudanças físicas do sistema, a chance de se errar ou gastar grandes quantias em algo impossível de se realizar, é muito baixo. Tornando assim esta técnica uma das mais utilizadas ultimamente pelas empresas líderes no mercado mundial.

1.2 Definição e Delimitação do Problema

Este estudo foi aplicado na linha de produção de uma indústria metal-mecânica situada em Maringá-PR. O maior problema encontrado por esta empresa é obter informações sobre o sistema produtivo, para assim poder reduzir os processos que não agregam valor e planejar melhor a produção. Sempre buscando um aumento na produtividade e diretamente um aumento de competitividade.

Pelo fato da empresa ter um rol de produtos muito vasta, delimitou-se em analisar qual ou quais produtos são mais produzidos a fim de se encontrar as verdadeiras restrições da empresa, pois pelo fato de alguns produtos não passarem por determinados processos e também pelo fato do tempo de processamento em cada setor depender da peça produzida, caso a escolha do produto analisado não seja representativa, o estudo estaria apenas encontrando as limitações na produção de uma peça e não as limitações produtivas em geral.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Identificar e propor uma solução viável para sanar os gargalos produtivos em uma linha de produção de uma indústria metal-mecânica.

1.3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos do trabalhos podemos citar:

- Estudar o fluxograma do processo produtivo escolhido;
- Coletar dados essenciais a modelagem do sistema produtivo (como tempo padrão de cada processo, índices de refugo de cada processo, frequência de entrada de matéria-prima na linha de produção, etc.);
- Por meio do Software ARENA, modelar o sistema produtivo estudado;
- Simular o processo e encontrar os verdadeiros gargalos produtivos; e
- Analisar os dados obtidos.

1.4 Seqüência lógica do trabalho

Capítulo 2: Fundamentação teórica breve do objeto de investigação;

Capítulo 3: Metodologia utilizada na construção do trabalho;

Capítulo 4: Informações relevantes sobre a empresa e produto;

Capítulo 5: Apresentação e tratamento dos dados coletados;

Capítulo 6: Explicação dos principais módulos da simulação;

Capítulo 7: Principais resultados obtidos dos relatórios do software;

Capítulo 8: Conclusões tiradas com base nos resultados;

Capítulo 9: Lista dos autores estudados durante a fundamentação teórica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Considerações Iniciais

Esta revisão bibliográfica aborda os principais conceitos relacionados à modelagem e simulação de sistemas, necessários para o desenvolvimento deste trabalho de graduação.

2.2 Tempo Padrão

É importante saber os detalhes sobre tempo padrão, pois a utilização do primeiro tempo cronometrado ou uma média deles não nos fornece uma informação válida útil.

De acordo com Barnes (1986), o estudo de tempos é o início para se determinar uma série de estudos tais como a eficiência, capacidade de máquinas, balanceamento de linhas, planejamento da produção e cálculo da mão de obra. O resultado deste estudo é o Tempo Padrão. Este é calculado por uma série de observações realizadas no chão de fábrica. A metodologia tradicional é expressa pela Fórmula 1.

$$tp = t_1 f_1 [1 + (a_1 + a_2) f_2 + a_3 + a_4 + a_5] \quad (1)$$

Onde:

tp - tempo padrão

t₁ - tempo cronometrado

f₁ - ritmo de trabalho

a₁ - fadiga mental

a₂ - fadiga física

f₂ - fator de recuperação de fadiga

a₃ - abono por monotonia

a₄ - tolerâncias pessoais

a₅ - ajustes e trocas de ferramentas e interferências diversas

Os conceitos dos componentes da Fórmula 1 são descritos a seguir:

Tempo Cronometrado (t₁): Valor médio dos tempos encontrados na coleta de dados de uma determinada operação, segundo um método de trabalho pré-estabelecido.

Ritmo de Trabalho (f_1): É referente com a habilidade e esforço do operador em executar uma tarefa, este fator procura o chamado tempo normal que é o tempo necessário para execução do trabalho em um ritmo normal.

Fadiga Mental (a_1): Tem relação com a complexidade da operação, pois quanto mais complexo a tarefa o ritmo tende a cair com o passar do tempo.

Fadiga física (a_2): Tem relação com o esforço físico empregado na realização da tarefa.

Fator de Recuperação de Fadiga (f_2): Responsável por corrigir as tolerâncias atribuídas à fadiga física e à fadiga mental quando existem ciclos automatizados durante os quais o operador pode descansar.

Abono por Monotonia (a_3): Tem relação com a repetição de tarefas executadas pelo operador no seu posto de trabalho, ou seja, esta relacionada com o tempo de ciclo desta tarefa.

Tolerâncias Pessoais (a_4): Tem relação com às necessidades fisiológicas do operador, para Barnes (1986) esta tolerância varia entre 2 e 5% durante uma jornada de trabalho de 8h ou poderá ser maior se o trabalho for pesado e/ou executado em condições precárias.

Ajustes e Trocas de Ferramentas e Interferências Diversas (a_5): É estabelecido em função dos ajustes e trocas de ferramentas e pequenas interferências como ajustes e reparos simples na máquina, realizados pelo próprio operador.

Porém, segundo Martins e Laugeni (2005), usualmente é utilizada uma abordagem mais simplista e direta aonde encontramos o tempo normal e com ele o tempo padrão. Este método é calculado pelas seguintes equações:

$$TN = TC \times V \quad (2)$$

$$TP = TN \times FT \quad (3)$$

Onde:

TN – Tempo Normal

TP – Tempo Padrão

TC – Tempo Cronometrado

FT – Fator de Tolerância

V – Velocidade (ou Ritmo)

A velocidade V (também denominada de RITMO) do operador é determinada subjetivamente por parte do cronometrista. Porém geralmente se trabalha com ritmos entre 100% e 120% ou com o valor médio 110%.

O fator FT (Fator de Tolerância) é geralmente dado por:

$$FT = 1/(1 - p) \quad (4)$$

Onde p é a relação entre o total de tempo parado devido às permissões e a jornada de trabalho.

As paradas em geral podem ser devido a:

- Necessidades Pessoais: de 10 a 25 min por turno de 8 horas;
- Fadiga: depende basicamente das condições do trabalho, geralmente variando de 10% (trabalho leve e um bom ambiente) a 50% (trabalho pesado em condições inadequadas) da jornada de trabalho; e
- Espera: interrupções em geral.

Tais conceitos serão utilizados posteriormente no tratamento dos tempos produtivos cronometrados dentro da linha de produção da empresa estudada.

2.3 Fluxograma de Processos

Barnes (1986) nos diz que o fluxograma de processos é uma técnica para registrar o processo de uma maneira simples e de fácil visualização. Normalmente inicia-se com a entrada da matéria prima na fábrica e segue o caminho de fabricação, passando pelas operações de transformação, transporte em geral e inspeção diversas até a sua saída como produto final. No ano de 1947 a *American Society of Mechanical Engineer* (ASME) criou cinco símbolos referentes a realização do fluxograma de processos (Figura 1).

2.4 Balanceamento de Linhas

Segundo Almeida (2002), o balanceamento de linhas de produção é de grande importância para a empresa não perder produtividade, eficiência e oportunidades de vendas. Surgiu como campo de estudo 41 anos após a construção da linha do Ford T e o termo balanceamento está relacionado ao projeto de linha. Já os estudos efetuados após o projeto e implementação são rebalanceamentos de linha.

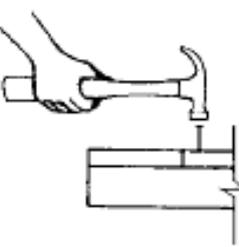
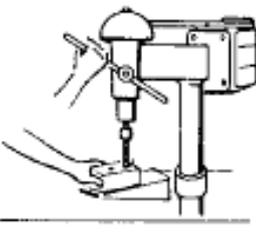
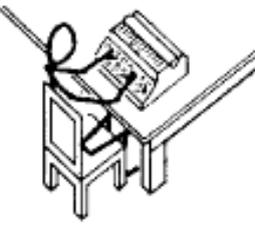
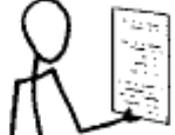
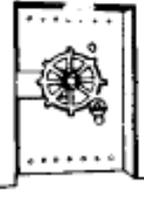
<p>OPERAÇÃO</p>  <p>Um círculo maior indica uma operação como →</p>	 <p>Pregar</p>	 <p>Furar</p>	 <p>Datilografar</p>
<p>TRANSPORTE</p>  <p>uma flecha indica um transporte como →</p>	 <p>Mover material com carrinho de mão</p>	 <p>Mover material com guindaste ou elevador</p>	 <p>Mover material carregando (Mensageiro)</p>
<p>INSPEÇÃO</p>  <p>Um quadrado indica uma inspeção como →</p>	 <p>Examinar material quanto à qualidade ou quantidade</p>	 <p>Ler manômetro do vapor da caldeira</p>	 <p>Examinar um fofoeto para obter informações</p>
<p>ESPERA</p>  <p>A letra D indica uma espera como →</p>	 <p>Material no carrinho ou no chão, ao lado da bancada, aguardando processamento</p>	 <p>Operário aguardando elevador</p>	 <p>Papéis aguardando arquivamento</p>
<p>ARMAZENAMENTO</p>  <p>Um triângulo indica um armazenamento como →</p>	 <p>Armazenamento a granel de matéria-prima</p>	 <p>Produto acabado no armazém</p>	 <p>Documentos e registros guardados no cofre</p>

Figura 1: Símbolos do gráfico do fluxo de processo.
Fonte: BARNES (1986)

Almeida (2002) também nos diz que nos anos 80 surgiu um novo sistema de gerenciamento industrial chamado *Optimized Production Tecnology* também conhecido por Produção Sincronizada virando mais tarde *Theory of Constraints*, procurando atender o objetivo principal da empresa que é o lucro. O problema consiste em harmonizar todas as tarefas ligadas ao processo de produção, visando o processo de uma forma macro (desde a entrada da matéria prima até a saída de produto final) ou de uma forma micro (um setor específico) de modo que o tempo de processamento de cada posto de trabalho seja o mesmo, assim a produção flui em um só ritmo entre os setores, sem haver estoques intermediários.

Slack *et al.* (1997) faz uma comparação do processo produtivo com uma tubulação de diferentes diâmetros, por onde flui um líquido. Para ilustrar os estrangulamentos do processo produtivo, eles chamam o ponto crítico do escoamento (neste caso, a capacidade de armazenagem) de gargalo do processo (Figura 2).

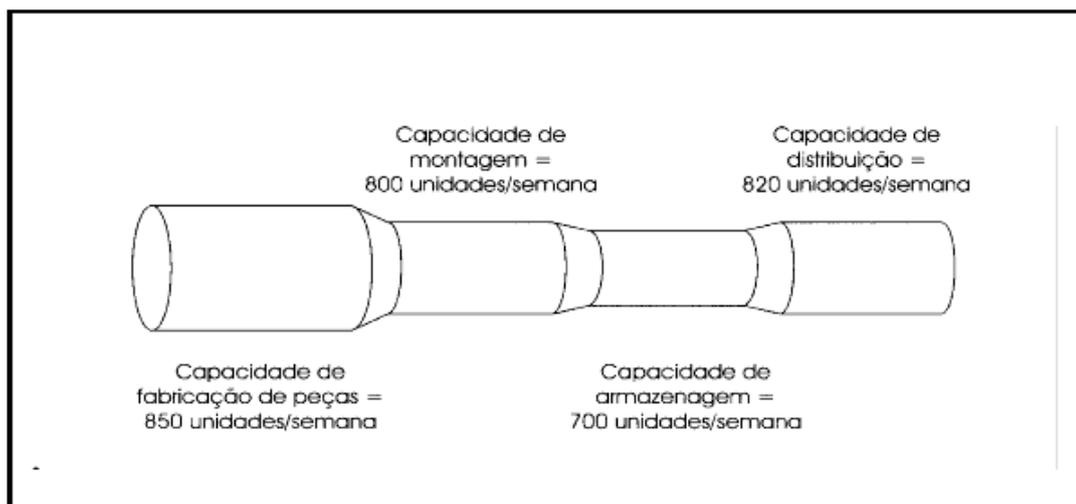


Figura 2: Analogia do processo de produção com uma seqüência de tubulações.
Fonte: Slack *et al.* (1997)

Segundo Toledo Jr (1989), para o balanceamento é preciso levantar informações relativas ao processo, sendo: o roteiro de fabricação (fluxograma de processos), o tempo padrão de cada operação, o programa de produção e a jornada de trabalho diária. Com estas informações é possível realizar um projeto de balanceamento de linha. A identificação e a correção do recurso gargalo no processo produtivo é de grande importância para o escoamento contínuo da produção.

2.5 Teoria das Restrições

De acordo com a Teoria das Restrições, toda organização tem, em um certo momento no tempo, pelo menos uma restrição que limita a performance do sistema (a empresa em questão) em relação à seus objetivos organizacionais. Assumindo como pressuposto que em todo sistema existe pelo menos uma restrição, a teoria propõe cinco passos para criar um processo de otimização contínua: 1) Identificar a restrição; 2) Explorar a Restrição; 3) Subordinar os demais recursos à restrição; 4) Elevar a restrição; 5) Retornar ao passo um. (COX III e SPENCER, 2002).

2.5.1 Definições

De acordo com Santos *et al.* (2005) existem dois tipos de restrição, uma física, ou seja, restrição de recurso, que engloba mercado, fornecedor, máquinas, materiais, pedido, projeto e pessoas. Logo, gargalo seria aquela restrição cuja capacidade é inferior à demanda colocada nele. O recurso não-gargalo é aquele cuja capacidade é maior que a demanda colocada nele, assim não delimita o sistema. Existe, ainda, a restrição política, que é formada por procedimentos, normas e práticas usuais do passado.

Para Cox III e Spencer (2002):

O Gerenciamento de restrições é uma nova abordagem que planeja e controla a produção e venda de produtos e serviços. Esta abordagem reconhece o poderoso papel que a restrição (o recurso limitante) desempenha na determinação da saída do sistema de produção como um todo. Através do conhecimento e da compreensão dos aspectos envolvidos com o gerenciamento das restrições, os gerentes podem perceber melhorias imediatas no resultado de suas organizações e, através de uma abordagem focalizada de aprimoramento contínuo, podem planejar para suprir também as necessidades futuras.

Aguiar *et al.* (2004) acreditam que “o principal diferencial da Teoria das Restrições em relação às demais teorias existentes está no fato de que as ações de gestão devem ser concentradas no gerenciamento do recurso de menor capacidade, na restrição do sistema”.

2.5.2 Princípios para implementação da teoria das restrições em processos produtivos

Segundo Tubino (2000), existem 10 princípios básicos que auxiliam na implementação da Teoria das Restrições em processos produtivos. São eles:

Princípio I: “A taxa de utilização de um recurso não-gargalo não é determinada por sua capacidade de produção, mas sim por alguma outra restrição do sistema.”

Princípio II: “Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos”.

Princípio III: “Uma hora perdida em um recurso gargalo é uma hora perdida em todo o sistema”.

Princípio IV: “Uma hora ganha num recurso não-gargalo não representa nada”.

Princípio V: “Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos”.

Princípio VI: “Os lotes de processamento e de transferência não necessitam ser iguais”.

Princípio VII: “Os gargalos governam tanto o fluxo como os estoques do sistema”.

Princípio VIII: “A capacidade do sistema e a programação das ordens devem ser consideradas simultaneamente, e não seqüencialmente”.

Princípios IX: “Balancei o fluxo e não a capacidade”.

Princípio X: “A soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo global”.

2.6 Modelagem e Simulação de Sistemas

De acordo com Prado (2004), quando realizamos certos tipos de estudos de planejamento, é normal aparecerem certos problemas de dimensionamento de fluxo cuja solução é complexa. O estudo pode ser realizado em uma fábrica, no trânsito de uma cidade, um escritório, um porto, uma mineração, etc. Geralmente se está interessado em saber:

- Qual a quantidade certa de recursos (humanos, financeiros, físicos, tecnológicos, etc.)
- Qual o melhor layout e o melhor roteiro de fluxo dentro de um sistema.

Ou seja, para Prado (2004), “desejamos que nosso sistema tenha um funcionamento eficiente ou otimizado. Por **otimizado** queremos dizer que teremos um **custo adequado** e que teremos **usuários satisfeitos** com o ambiente ou com o serviço oferecido. Dizemos também que um sistema ou processo adequadamente dimensionado está **balanceado**. Chamamos tais estudos de **modelagem de sistemas**.”

Segundo Prado (2004):

Com o surgimento do computador na década de 50 a modelagem de filas pôde ser analisada pelo ângulo da simulação, em que não mais se usam fórmulas matemáticas, mas apenas tenta-se imitar o funcionamento do sistema real. As linguagens de simulação apareceram na década de 60 e hoje, graças aos microcomputadores, podem ser facilmente usadas. A técnica de **simulação visual**, cujo uso se iniciou na década de 80, em virtude de sua maior capacidade de comunicação teve uma aceitação surpreendente. Além disso, por ter um menor nível de complexidade, seu uso também cresceu enormemente. O ensino desta técnica ainda se concentra em escolas de graduação, mas já tem havido iniciativas em ensino do segundo grau (cursos técnicos). Algumas linguagens são mundialmente conhecidas, como GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SIMAN, ARENA, PROMODEL, AUTOMOD, TAYLOR, etc.

2.6.1 Por que simular?

Para Freitas (2001), a simulação é importante pois permite realizar estudos sobre os sistemas para responder questões como “O que aconteceria se?”. O foco principal desta ferramenta é que tais questões possam ser respondidas sem que haja nenhuma mudança nos sistemas estudados, pois os realizamos no computador. “A simulação computacional permite que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada.”

2.6.2 Sistemas

De acordo com Freitas (2001), “Simulação é um dos muitos métodos existentes para estudar e analisar sistemas. No caso da simulação computacional, utiliza-se de modelos computacionais para este propósito. Mas afinal, o que são sistemas e quais são aqueles passíveis de modelagem e análise via simulação?”

Sistemas podem ser definidos como “um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, que atuam e interagem com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico” (FREITAS, 2001 *apud* TAYLOR, 1970)

Inúmeros são os sistemas aptos à modelagem e simulação. Eis alguns exemplos:

- Sistemas de produção;
- Sistemas de transporte e estocagem;
- Sistemas computacionais;
- Sistemas administrativos; e
- Sistemas de prestação de serviços direto ao público.

2.6.3 Modelos

Segundo Freitas (2001), “a modelagem pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta numa série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do sistema real. Usualmente, esta descrição toma a forma de relações matemáticas ou lógicas que, no seu conjunto, constituem o que se denomina de *modelos*”

Freitas (2001) nos diz que “no processo experimental, o modelo é utilizado como um veículo para a experimentação, muitas vezes em procedimentos tipo tentativa e erro, procurando mostrar os efeitos das várias políticas operacionais e de gerenciamento”. A Figura 3 mostra a idéia de modelo e do processo experimental.

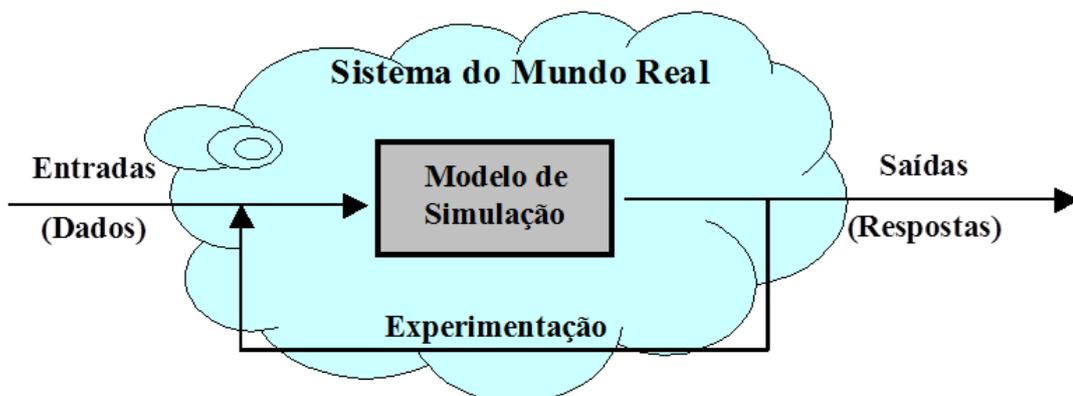


Figura 3: Representação esquemática de um modelo de sistema.
Fonte: Freitas (2001).

2.6.4 Vantagens da simulação

Segundo Oliveira (2008) “O estudo de processos através da simulação computacional apresenta como principais vantagens:”

- Simulação de um sistema que ainda está em fase de projeto, antes de sua construção, para observação do comportamento operacional;
- Suporte à análise econômico-financeira de investimentos em projetos envolvendo novos equipamentos e processos;
- Teste de novas políticas e procedimentos operacionais sem interrupção do sistema real;
- Teste de condições de segurança associadas às mudanças a serem implementadas;
- Determinação e estudos de gargalos existentes no sistema;
- Determinação de como o sistema realmente opera ao invés de como as pessoas pensam que ele opera;
- Em consequência dos pontos acima tratados, tem-se um menor custo da simulação se comparado com o custo de experimentações diretas, que envolvem grandes somas de dinheiro e de pessoas, nem sempre alcançando os resultados desejados.

2.6.5 Desvantagens da simulação

Freitas (2001) nos diz que apesar das várias vantagens do processo de simulação, existem algumas dificuldades:

- A construção de modelos requer treinamento especial. Envolve arte e, portanto, o aprendizado se dá ao longo do tempo, com a aquisição de experiência. Dois modelos de um sistema construídos por dois indivíduos competentes terão similaridades, mas dificilmente serão iguais;
- Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação. Uma vez que os modelos tentam capturar a variabilidade do sistema, é comum que existam dificuldades em determinar quando uma observação realizada durante uma execução se deve a alguma relação significativa no sistema ou a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo;
- A modelagem e a experimentação associadas a modelos de simulação consomem muitos recursos, principalmente tempo. A tentativa de simplificação na modelagem ou nos experimentos objetivando economia de recursos costuma levar a resultados insatisfatórios. Em muitos casos, a aplicação de métodos analíticos (como a *Teoria das Filas*, por exemplo) pode trazer resultados menos ricos e mais econômicos.

2.6.6 Passos na formulação de um estudo envolvendo modelagem e simulação

A formulação mais clássica e largamente usada em quase todos os trabalhos da área sobre como solucionar problemas usando simulação é apresentada na Figura 4.

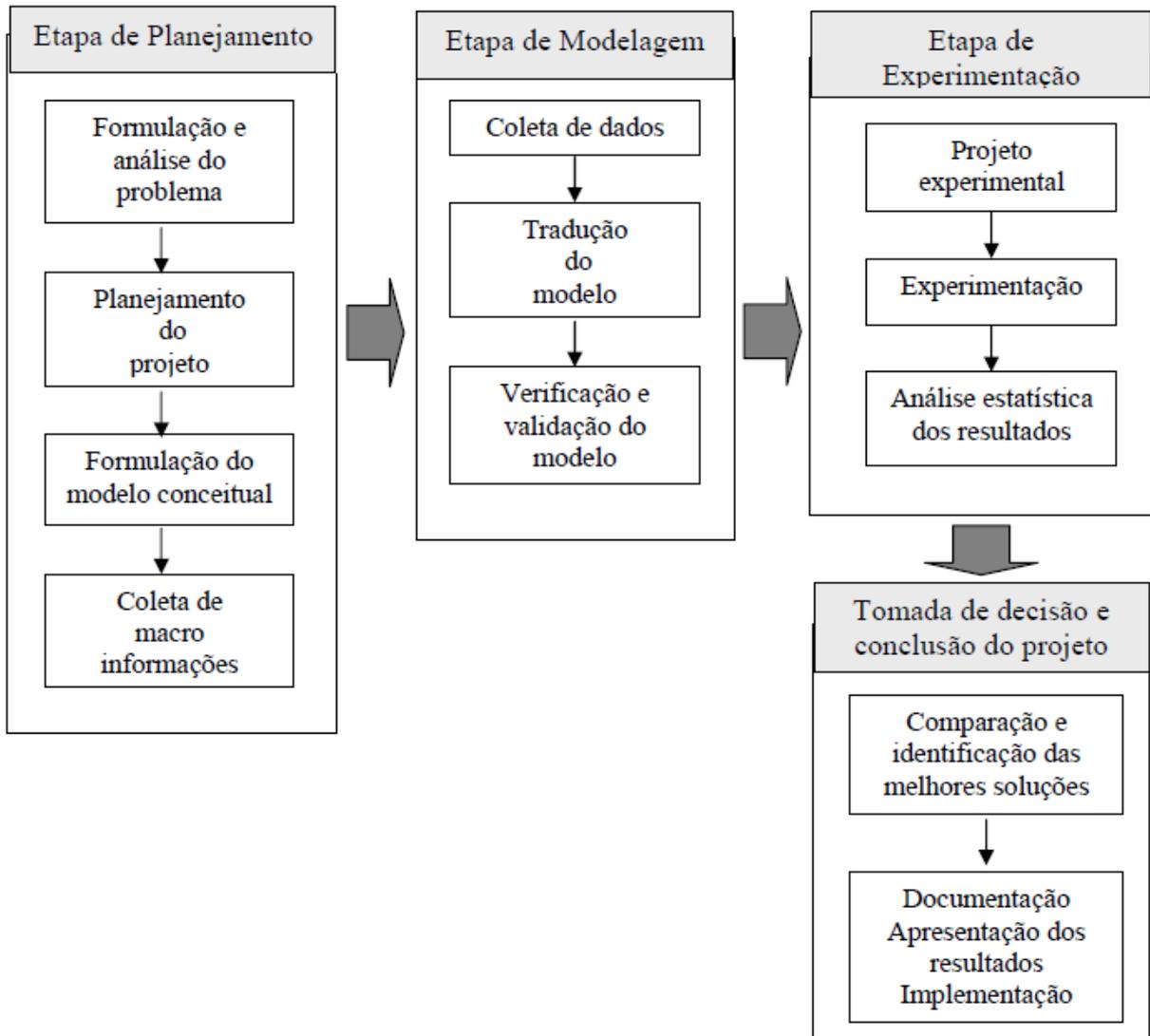


Figura 4: Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação.
 Fonte: Freitas (2001)

Freitas (2001) descreve cada um destes pontos a seguir:

1. *Formulação e Análise do Problema:* Os propósitos e objetivos do estudo devem ser claramente definidos.

2. *Planejamento do Projeto*: Deve-se ter a certeza de que todos recursos necessários para a realização do estudo estejam disponíveis. Também deve incluir uma descrição dos vários cenários que serão investigados e um cronograma.
3. *Formulação do Modelo Conceitual*: Deve-se fazer um esboço do sistema, de forma gráfica (fluxograma) definindo componentes, descrevendo variáveis e interações do sistema.
4. *Coleta de Macro-Informações e Dados*: Macro-informações são fatos, informações e estatísticas que vieram de observações e dados históricos. Servem para conduzir a coleta de dados voltados ao sistema modelado.
5. *Tradução do Modelo*: Codificar o modelo numa linguagem de simulação apropriada. Neste estudo em questão, o software ARENA.
6. *Verificação e Validação*: Confirmar que o modelo opera de acordo com o esperado e que os resultados fornecidos possuam crédito e sejam representativos dos resultados do modelo real.
7. *Projeto Experimental Final*: Projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deve ser realizado. Com isso se obtêm mais informações com um número menor de experimentações.
8. *Experimentação*: Executar as simulações para assim gerar dados desejados e para se realizar análises de sensibilidade.
9. *Interpretação e Análise Estatística dos Resultados*: Analisar os resultados encontrados pela simulação e verificar se ha necessidade de um número maior de replicações do modelo para que se possa ter uma precisão estatística.
10. *Comparação de Sistemas e Identificação das melhores soluções*: Comparar um sistema existente com propostas alternativas visando identificar a melhor solução entre elas.

11. *Documentação*: Serve como guia para que outras pessoas possam usufruir do modelo criado. Também serve para caso forem necessárias futuras atualizações no modelo, facilitando os novos trabalhos.
12. *Apresentação dos Resultados e Implementação*: Mostrar o que de fato foi estudado (objetivos do projeto), quais problemas foram resolvidos e quais benefícios foram alcançados.

2.7 O Software ARENA

De acordo com o próprio fabricante (PARAGON, 2010), “O ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho & animação, análise estatística e análise de resultados. Não é necessário escrever nenhuma linha de código, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual, e de maneira integrada.”

Segundo Feijó (2009) o ARENA é um simulador genérico, lançado pela empresa Systems Modeling no ano de 1993, que proporciona simulação discreta estocástica orientada a eventos, possibilitando a criação de modelos de simulação animados representando virtualmente qualquer tipo de sistema.

Feijó (2009) também nos fala que a tecnologia que está por trás da ferramenta é a linguagem SIMAN. Essa linguagem vê o sistema como uma sequência de eventos aleatórios causando mudanças no estado do modelo simulado. Para implementar esses modelos, o ARENA usa mão do Método Congruente Linear Multiplicativo (MCLM), que é um Gerador de Números Aleatórios (GNA) responsável pela variabilidade necessária para a geração de dados. O ARENA é formado por “*templates*” que são os campos que reúnem os módulos usados na construção do modelo. Existem dois tipos distintos de módulos:

- **Módulos de Fluxo**: Usados para estabelecer interconexões e criar o fluxo do processo (Figura 5).
- **Módulos de Dados**: São usados para editar, inserir e excluir as especificações de cada elemento do fluxo (Figura 6).



Figura 5: Módulos de Fluxo do ARENA.
Fonte: Feijó (2009).



Figura 6: Módulos de Dados do ARENA.
Fonte: Feijó (2009).

O autor também comenta que o ARENA possui softwares adicionais de extrema importância para projetos de simulação. Esses softwares adicionais são os analisadores de entrada e saída de dados, chamados de *input analyzer* e *output analyzer* respectivamente.

Segundo Feijó (2009) “o *input analyzer* é responsável para determinar uma distribuição apropriada para um conjunto de dados. Ele realiza o tratamento estatístico dos dados de entrada, adequando-os às seguintes distribuições de probabilidades: *Beta*, *Empírica Contínua*, *Empírica Discreta*, *Erlang*, *Exponential*, *Gamma*, *Johnson*, *Lognormal*, *Normal*, *Poisson*, *Triangular*, *Uniforme* e *Weibull*.”

Feijó (2009) também nos diz que “o *output analyzer* é usado para exibir e analisar os dados depois da execução da simulação. Ele provê análises estatísticas, como intervalos de confiança, análise de variância, testes de aderência e comparações de múltiplos sistemas”. Como neste trabalho os valores pontuais não foram analisados, a ferramenta *output analyzer* não foi utilizada. Conseqüentemente foram utilizados os relatórios estatísticos do ARENA.

A interface do ambiente ARENA (em sua versão 12.0) pode ser visualizada na Figura 7.

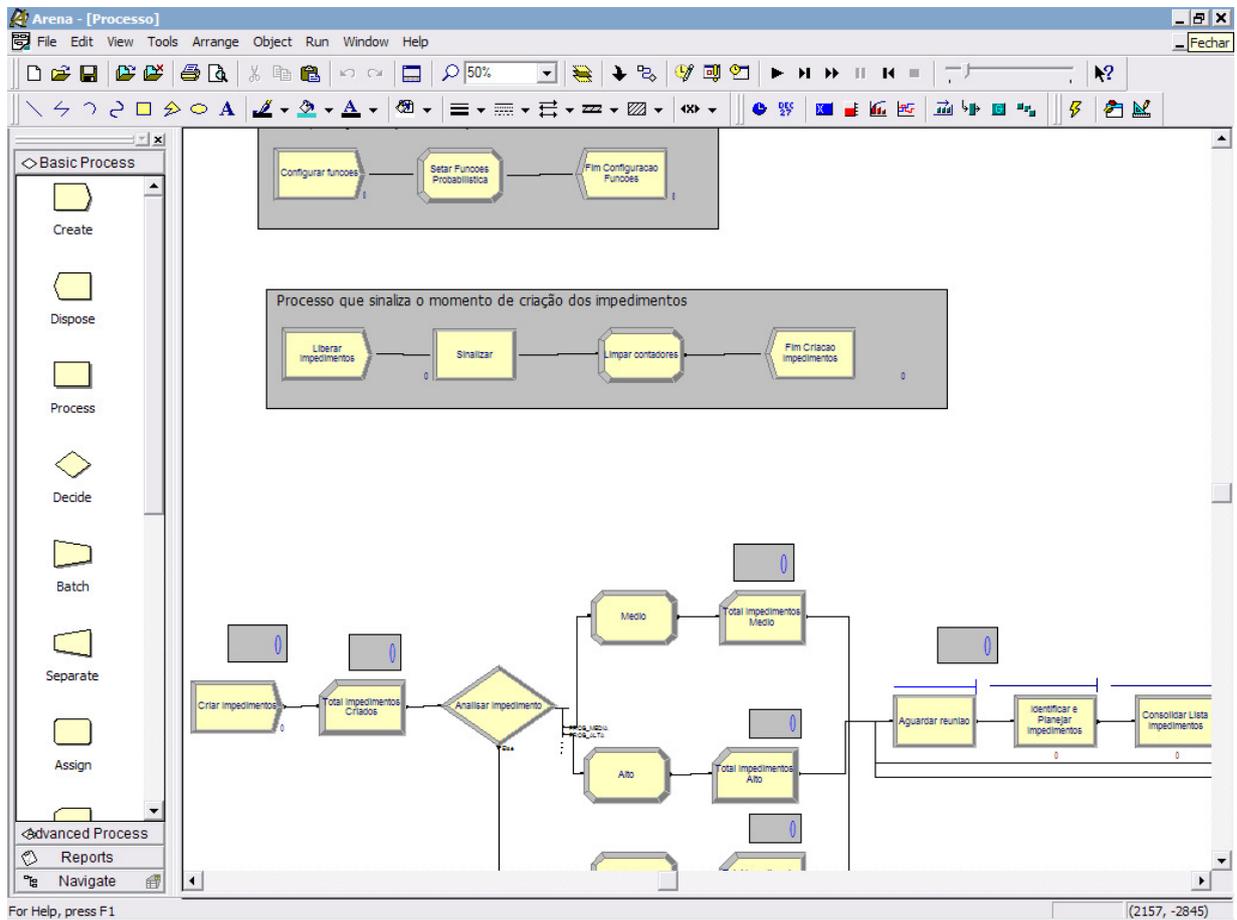


Figura 7: Tela principal da ferramenta ARENA 12.0.
Fonte: Feijó (2009)

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresentará a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho de aplicação da simulação no chão de fábrica de uma indústria de autopeças. Este trabalho pode ser classificado sobre três aspectos diferentes, quanto ao seu objetivo, quanto ao seu método de pesquisa e quanto ao tipo de pesquisa realizado.

Quanto ao seu objetivo podemos classificá-lo como pesquisa explicativa. As pesquisas explicativas tem a finalidade de identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, pois explica a razão dos fatos.

Quanto ao seu método de pesquisa podemos classificá-lo como pesquisa quantitativa. Método que se apropria da análise estatística para o tratamento dos dados. Deve ser aplicado nas seguintes situações: quando é exigido um estudo exploratório para um conhecimento mais profundo do problema ou objeto de pesquisa

Quanto ao tipo de pesquisa podemos classificá-lo como estudo de caso. Tem o objetivo de aprofundar a descrição de determinada realidade, o que possibilita que os objetivos atingidos permitam a formulação de hipóteses para o encaminhamento de outras pesquisas. Nesse tipo de estudo os resultados são válidos só para o caso estudado.

O modelo seguido foi o proposto por Freitas (2001) na Figura 4, onde quatro etapas globais são seguidas (Planejamento, Modelagem, Experimentação e Tomada de Decisão). Este modelo foi seguido a risca na elaboração do estudo de caso, deixando de lado apenas a implementação das soluções propostas por conta de falta de tempo hábil.

O fluxograma produtivo foi desenvolvido por observação analítica, os dados essenciais à modelagem, como os tempos de processamento, foram cronometrados utilizando as técnicas padrões de cronoanálise, a modelagem do sistema e a simulação do mesmo utilizaram o software ARENA como ferramenta e a análise dos relatórios foi realizada com base nos dados apresentados.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Contextualização da empresa

A empresa foi fundada em 2002 e está localizada em Maringá-PR. Nela trabalham 8 colaboradores administrativos, 2 estagiários e por volta de 30 colaboradores no chão de fábrica (incluindo produção, montagem e expedição). Toda a produção é voltada para tensores, correias e polias de motores automotivos totalizando mais de 300 produtos diferentes devido a grande variação de marcas e modelos. A empresa possui a seguinte missão: “Oferecer ao mercado de reposição automotivo alternativas para peças originais, atendendo as expectativas dos nossos clientes através de produtos confiáveis buscando a satisfação de parceiros e colaboradores.”

4.2 Descrição do processo

A parte fabril é composta pelos seguintes postos de trabalho: corte, usinagem, estamparia, furação, montagem, embalagem, almoxarifado, serviços gerais.

No corte é onde se inicia o processo de quase todos os componentes que formarão o produto final. Existem duas máquinas chamadas de: serra-fita e guilhotina. A serra-fita corta os tubos redondos, barras de aço redondas e as barras de aço trefiladas, que originarão respectivamente os componentes chamados de capa, cubo e anel de ferro.

A usinagem é o setor de maior importância, pois todos os componentes fabricados passam por ele. Este setor se subdivide em dois: usinagem geral e usinagem CNC. Existem três tornos CNC, o ROMI G240, ROMI E280 e o NARDINE e dois tornos convencionais.

Na estamparia se dará o formato (como dobras, furos, remanches entre outros) e também se colocará o nome da empresa no produto, ao componente chapa, principalmente, e a arruela de ferro.

A furação é o processo seguinte ao de usinagem, onde são feitos furos de acordo com as especificações da peça. O processo é simples, porém exige extremo cuidado, uma vez que o operário deve acertar a posição e a medida com exatidão.

A montagem é realizada de duas maneiras: manualmente e por meio de máquinas (prensas). Na manual as ferramentas de apoio são o martelo e alicate e existe uma bancada para essa operação.

Na embalagem são realizados os seguintes processos: embalar com plástico o produto acabado, colocar em uma caixa de papelão e etiquetar estas caixas.

No almoxarifado o estoque de produtos acabados é organizado em prateleiras com etiquetas dos nomes para o armazenamento dos mesmos.

Os serviços gerais estão relacionados aos componentes que tem parte de seus processos terceirizados, como é o caso da zincagem e da injeção plástica. A zincagem é realizada nas peças de aço para evitar que as mesmas oxidem, já a injeção plástica é a junção de um rolamento com uma capa plástica pré-determinada.

4.3 Descrição do produto

O produto escolhido para o estudo foi o Tensor da correia dentada que é responsável pela distribuição dentro de motores GM, dos modelos Astra, Vectra e Zafira 8 válvulas.

O Quadro 1 apresenta a composição deste produto.

Componente	Abreviatura	Confeccionado
Arruela Superior	-	Terceirizado
Bucha Central	-	Terceirizado
Bucha Plástica	-	Terceirizado
Capa de aço	CP	Na empresa
Chapa de aço	CH	Na empresa
Chapa Pingo D'água	-	Terceirizado
Corpo de Alumínio	CA	Na empresa
Cubo de Aço	CB	Na empresa
Mola	-	Terceirizado
Pino Central	PC	Na empresa
Rolamento	-	Terceirizado

Quadro 1: Composição do produto estudado.

Fonte: do Autor.

4.4 Fluxograma de processos

A árvore de processos do produto estudado está esquematizada na Figura 8, onde todos os passos desde a chegada da matéria-prima dos cinco componentes até a sua montagem final estão apresentados graficamente de acordo com as normas apresentadas por BARNES (1986) na Figura 1.

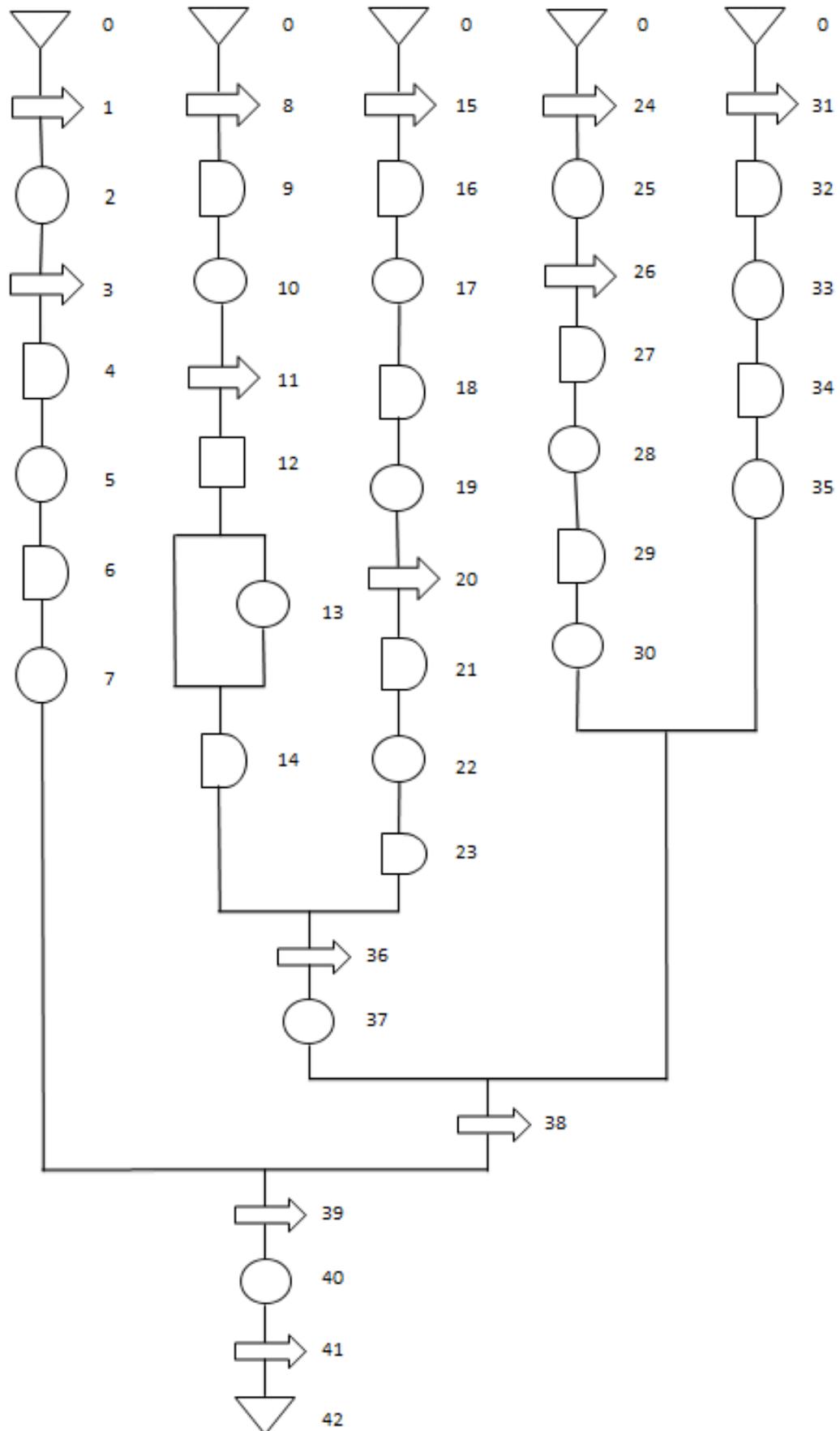


Figura 8: Fluxograma do processo produtivo do produto estudado.
Fonte: do Autor.

Legenda:

- 0 Depósito de Matéria-Prima
- 1 Transporte do Lote de Corpo de Alumínio ao Esmeril
- 2 Esmerilhar (um a um) Todo o Lote de Corpo de Alumínio
- 3 Transporte do Corpo de Alumínio até Torno NARDINE
- 4 Setup do Torno NARDINE para Usinar Lado A do Corpo de Alumínio
- 5 Usinar (um a um) Lado A do Lote de Corpo de Alumínio no Torno NARDINE
- 6 Setup do Torno NARDINE para Usinar Lado B do Corpo de Alumínio
- 7 Usinar (um a um) Lado B do Lote de Corpo de Alumínio no Torno NARDINE
- 8 Transporte da Barra de Aço no Torno E280
- 9 Setup do Torno E280 para Usinar Cubo
- 10 Usinar (31 cubos/barra) Lote no Torno E280
- 11 Transporte do Cubo até Setor de Furação
- 12 Inspeção da Qualidade do Cubo pelo Operador das Furadeiras
- 13 Escariar (um a um) Parte do Lote (Normalmente 42%) do Cubo
- 14 Esperar Lote de Chapa
- 15 Transporte da Folha de Aço na Prensa Hidráulica
- 16 Setup da Prensa Hidráulica (Estampar Corte)
- 17 Estampar Corte (10 chapas/folha) no Lote de Chapa
- 18 Setup Prensa Hidráulica (Estampar Formato)
- 19 Estampar Formato (uma a uma) no Lote de Chapa
- 20 Transporte da Chapa até Prensa Excêntrica
- 21 Setup da Prensa Excêntrica (Por nome)
- 22 Por Nome (uma a uma) no Lote de Chapa
- 23 Esperar Lote de Cubo
- 24 Transporte da Barra de Aço na Serra Fita
- 25 Cortar (4 capas/corte na barra) o Lote na Serra Fita
- 26 Transporte da Capa até o Torno G240
- 27 Setup do Torno G240 para Usinar Lado A da Capa
- 28 Usinar (uma a uma) Lado A do Lote de Capa
- 29 Setup do Torno G240 para Usinar Lado B da Capa
- 30 Usinar (uma a uma) Lado B do Lote de Capa
- 31 Transporte da Folha de Aço a Prensa Excêntrica
- 32 Setup da Prensa Excêntrica para Estampar Corte no Pino Central
- 33 Estampar Corte (30 pinos/folha) no Lote de Pino Central
- 34 Setup da Prensa Excêntrica para Estampar Formato no Pino Central
- 35 Estampar Formato (um a um) no lote de Pino Central
- 36 Transporte do Lote de Cubo + Lote de chapa até a Montagem
- 37 Montagem (um a um, com auxílio de prensa manual) do Chapa/Cubo
- 38 Transporte (de 70kg de componentes) para Zincagem
- 39 Transporte de Todos os Componentes até o Setor de Montagem
- 40 Montagem Final (50 produtos/vez) por um dos 4 Operadores
- 41 Transporte até o Setor de Estoque
- 42 Estoque

5. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

5.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de observação e cronoanálise. Apenas os tempos de setup e preparação da máquina já vinham sendo apontados na ordem de produção pelos próprios operadores. A Tabela 1 mostra os tempos cronometrados em cada processamento e a quantidade de ciclos observados, sendo este fator variável de acordo com o tempo de processamento de uma peça, o modo de processamento do componente, a disponibilidade de peças para análise entre outros motivos.

Tabela 1: Tempos cronometrados dos diversos processos de fabricação.

Processo	Máquina Ou Operador	Nº Ciclos	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Esmirilhar	Esmeril	3	02:08.84	02:05.70	02:14.77	02:03.94	02:17.25
Usinar CA Lado-A	Torno NRDE.	3	01:35.33	01:23.43	01:33.20	01:25.48	01:33.84
Usinar CA Lado-B	Torno NRDE.	3	01:14.29	01:21.14	01:11.92	01:20.96	01:18.59
Usinar CB	Torno E280	31	12:51.36	12:39.78	12:44.41	12:53.81	12:42.58
Inspeção do CB	Operador	10	00:18.49	00:19.06	00:17.83	00:21.60	00:20.29
Escariar	Furadeira	9	00:46.14	00:42.35	00:43.68	00:43.38	00:45.48
Corte da CH	Prensa Hidr.	10	01:33.95	01:40.11	01:43.53	01:37.24	01:44.67
Formato da CH	Prensa Hid.	5	00:55.05	00:53.20	00:39.69	00:45.30	00:40.45
Por Nome na CH	Prensa Exc.	5	00:19.03	00:20.76	00:20.05	00:20.94	00:18.33
Cortar Barras	Serra-Fita	4	06:40.02	06:35.60	06:33.82	06:32.12	06:41.16
Usinar CP Lado-A	Torno G240	3	01:23.38	01:27.35	01:28.76	01:25.94	01:30.84
Usinar CP Lado-B	Torno G240	3	01:32.25	01:24.51	01:30.21	01:27.98	01:31.13
Corte do PC	Prensa Exc.	30	01:57.22	01:48.19	01:47.96	01:53.46	01:58.25
Formato do PC	Prensa Exc.	22	01:19.89	01:19.64	01:21.27	01:22.91	01:19.43
Montar CH/CB	Montadores	3	00:10.82	00:11.34	00:11.19	00:12.03	00:10.77
Montagem Final	Montadores	50	01:11:34.88	01:15:51.62		01:18:18.35	

Fonte: do Autor.

A Tabela 2 apresenta os tempos de setup apontados nas ordens de produção e o tempo dos serviços terceirizados, no caso a zincagem.

Tabela 2: Tempos apontados em relatórios.

Processo	1^a	2^a	3^a	4^a	5^a
Setup Usinar CA Lado-A	25 min	30 min	35 min	30 min	25 min
Setup Usinar CA Lado-B	20 min	20 min	30 min	25 min	30 min
Setup Usinar CB	45 min	40 min	40 min	50 min	40 min
Setup Usinar CP Lado-A	30 min	40 min	30 min	25 min	25 min
Setup Usinar CP Lado-B	30 min	30 min	40 min	30 min	25 min
Setup Prensa Hidráulica	40 min	45 min	45 min	50 min	45 min
Setup Prensa Excêntrica	25 min	30 min	30 min	35 min	30 min
Zincagem*	1440 min				

Fonte: do Autor.

A Zincagem* é terceirizada e acontece da seguinte maneira: determinada hora do dia (normalmente às 17:30) os componentes são enviados até a empresa que se localiza também em Maringá e no outro dia no mesmo horário elas são entregues pela empresa terceirizada.

5.2 Tratamento dos dados

O tempo padrão de operação pode ser encontrado tratando os tempos cronometrados com fórmulas específicas já citadas anteriormente, como em alguns processos (como no caso de tornear os cubos) o tempo de máquina é muito superior ao tempo do operador, nestes foi considerado o tempo cronometrado. Já nos processos onde o tempo do operador prevalece estes foram considerados os tempos padrões de operação que foram calculados como segue o exemplo:

$$TC = 02:08.84$$

$$TC = 2,1473 \text{ minutos}$$

$$TC \text{ para uma peça} = \frac{2,1473}{3} = 0,7157 \text{ minutos}$$

De (2) chegamos que:

$$TN = 0,7157 \times 1,10$$

$$TN = 0,78727 \text{ minutos}$$

Para o Fator de Tolerância foi considerado 20 minutos para todos os funcionários no quesito necessidades pessoais (acarretando em uma perda de 3,9 % dos 510 minutos de tempo produtivo), de 10 a 20% para a Fadiga dependendo do esforço da tarefa (como neste exemplo o processo é uma tarefa bem leve, foi considerado 10 %) e 30 minutos de paradas em gerais

para todos funcionários (acarretando em uma perda de 5,9 % dos 510 minutos de tempo produtivo), logo partindo de (3) podemos chegar em:

$$TP = 0,78727 \times (1 + 0,039 + 0,10 + 0,059)$$

$$TP = 0,94315 \text{ minutos/peça}$$

Estes cálculos foram realizados com todos os tempos cronometrados onde o tempo do operador era mais representativo do que o da máquina, nos outros foi utilizado o tempo cronometrado para a segunda parte do tratamento dos dados que vem a seguir.

5.2.1 Input Analyzer

Todos os dados (tempos padrões e tempos cronometrados) foram tratados com o *Input Analyzer* (citado anteriormente no item 2.7) antes de serem usados na modelagem. Os resultados podem ser encontrados no quadro a seguir.

Processo	Função Apresentada pelo Input Analyzer	Erro Quadrado
Esmirilhar	UNIF(0.89, 1.02)	0.000000
Usinar CA Lado A	$0.65 + 0.12 * \text{BETA}(1.12, 0.99)$	0.078480
Usinar CA Lado B	$0.56 + 0.1 * \text{BETA}(0.716, 0.615)$	0.032369
Usinar CB	$12.6 + \text{LOGN}(0.149, 0.131)$	0.071922
Inspeção do CB	$0.03 + \text{LOGN}(0.0127, 0.00294)$	0.092783
Escariar	NORM(0.117, 0.0037)	0.016416
Corte da CH	$2.21 + 0.31 * \text{BETA}(0.62, 0.529)$	0.036163
Formato da CH	$0.18 + 0.09 * \text{BETA}(0.36, 0.403)$	0.048826
Por Nome na CH	$0.08 + 0.03 * \text{BETA}(3.29, 3.59)$	0.081289
Cortar Barras	$1.63 + \text{LOGN}(0.0239, 0.0255)$	0.077557
Usinar CP Lado A	UNIF(0.65, 0.73)	0.000000
Usinar CP Lado B	TRIA(0.66, 0.723, 0.74)	0.050556
Corte do PC	$2.54 + 0.3 * \text{BETA}(0.343, 0.346)$	0.064006
Formato do PC	$0.08 + \text{LOGN}(0.00721, 0.00135)$	0.006217
Montar CH/CB	$0.08 + \text{GAMM}(0.00132, 6.9)$	0.005487
Montagem Final	$94 + 10 * \text{BETA}(0.584, 0.636)$	0.088845
Setup Usinar CA Lado A	$24.5 + 11 * \text{BETA}(0.275, 0.397)$	0.154028
Setup Usinar CA Lado B	$19.5 + 11 * \text{BETA}(0.128, 0.0946)$	0.029257
Setup Usinar CB	$39.5 + 11 * \text{BETA}(0.0994, 0.213)$	0.042182
Setup Usinar CP Lado A	$24.5 + 16 * \text{BETA}(0.186, 0.354)$	0.159729
Setup Usinar CP Lado B	POIS(31)	0.353998
Setup Prensa Hidráulica	$39.5 + 11 * \text{BETA}(0.71, 0.71)$	0.336450
Setup Prensa Excêntrica	POIS(30)	0.335759
Zincagem	UNIF(1440)	0.000000

Quadro 2: Relação das distribuições geradas pelo Input Analyzer.

Fonte: do Autor.

A distribuição proposta pelo input analyzer é a fórmula matemática que apresentou um menor erro quadrado (diferença entre a estimativa e o valor real elevada ao quadrado) na hora de representar os valores de tempo de processamento avaliados. A utilização desta fórmula no lugar do tempo médio aproxima o cenário da realidade, tornando o modelo mais válido.

6. SIMULAÇÃO

Na criação do modelo de simulação foram utilizados todos os processos que envolviam a produção do produto estudado, os setups dos maquinários necessários e o prazo da empresa terceirizada. Estes estão listados no Quadro 2 apresentado anteriormente. A modelagem do sistema estudado foi realizada no software ARENA seguindo o modelo proposto anteriormente no fluxograma de processos (Figura 8), o modelo completo pode ser visualizada no Apêndice 7.

A primeira etapa do modelo consiste na produção individual de cada um dos seguintes componentes: Corpo de Alumínio (CA), Cubo de aço (CB), Chapa de aço (CH), Capa de aço (CP) e o Pino Central (PC) e os principais módulos utilizados foram o *Create*, *Assign*, *Batch*, *Process* e *Record* que serão melhores analisados em seguida.

6.1 Create

É o ponto de partida de todo modelo, foram utilizados cinco *Creates* neste trabalho, um para cada componente. A Figura 9 mostra em detalhes um destes módulos utilizados.

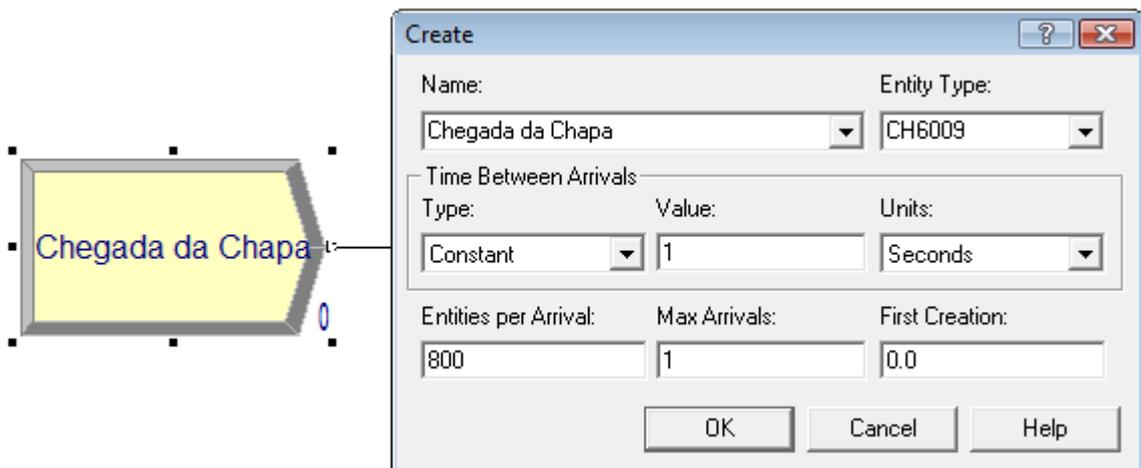


Figura 9: *Create* utilizado na linha da Chapa de Aço.
Fonte: do Autor.

6.2 Assign

É utilizado para “carimbar” uma entidade com determinado atributo, neste trabalho foi utilizado para se obter o *TNOW* do componente e posteriormente calcular o *lead time*. A Figura 10 exemplifica um dos cinco *Assigns* utilizados no modelo.

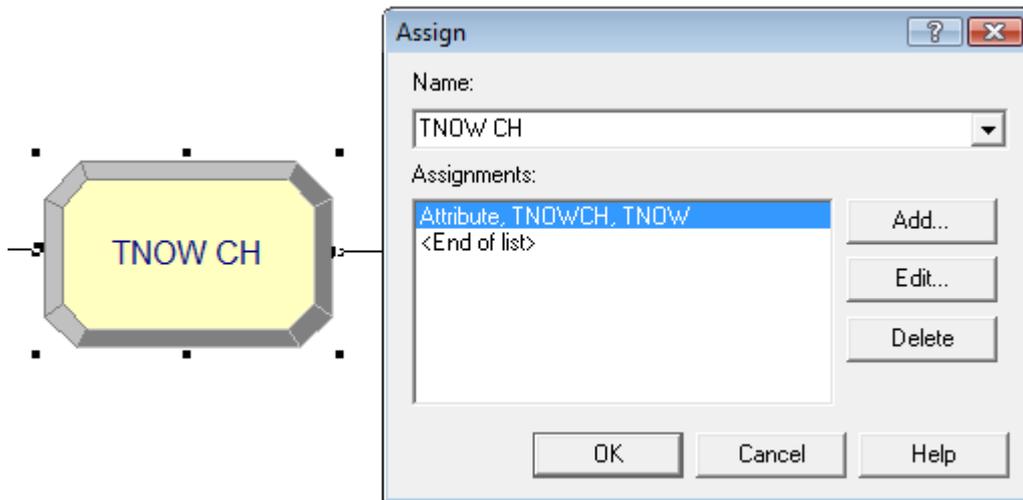


Figura 10: *Assign* utilizado na linha da Chapa de Aço.
Fonte: do Autor.

6.3 Batch

Serve como um agrupador de entidades, foi utilizado anteriormente aos módulos de *Setup* já que este processo é realizado para todo o lote, necessitando o agrupamento das 800 peças em apenas um lote. A Figura 11 apresenta um dos diversos módulos utilizados para esta função.

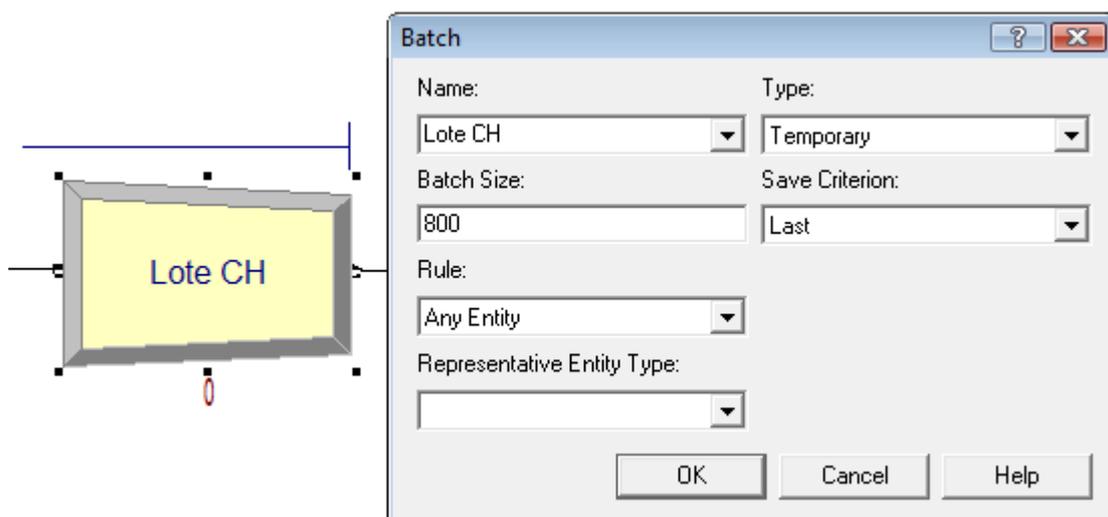


Figura 11: *Batch* utilizado na linha da Chapa de Aço.
Fonte: do Autor.

6.4 Process

Este módulo é utilizado quando uma entidade necessita passar por certa ação que exija certo tempo. No modelo utilizado estes blocos foram utilizados para se simular os tempos de *setups* e processamento apresentador anteriormente no Quadro 2.

6.4.1 Setups

A Figura 12 nos mostra um exemplo de bloco *Process* utilizado para se simular uma ação de *setup* dentro da linha de produção da Chapa de Aço (CH).

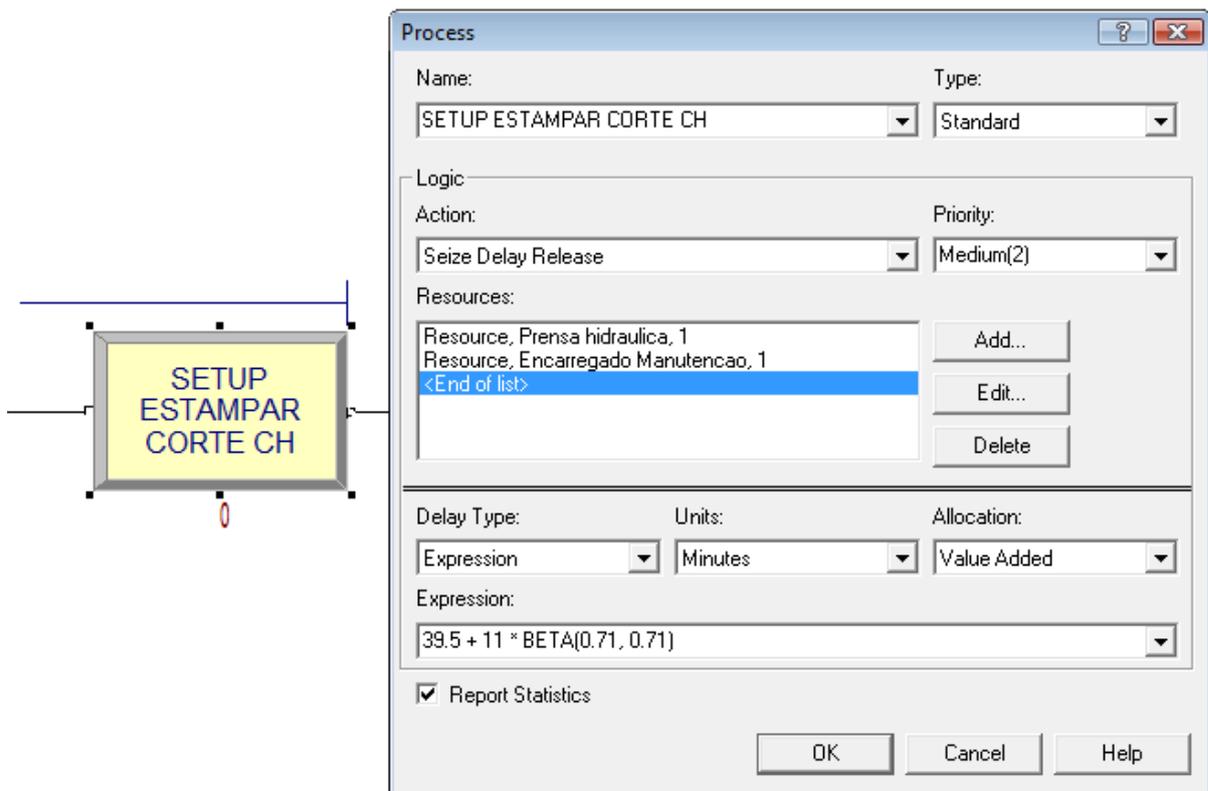


Figura 12: *Process* utilizado na linha da Chapa de Aço para simular um *setup*.
Fonte: do Autor.

6.4.2 Processamentos

A Figura 13 nos mostra um exemplo de bloco *Process* utilizado para se simular uma ação de processamento dentro da linha de produção da Chapa de Aço (CH).

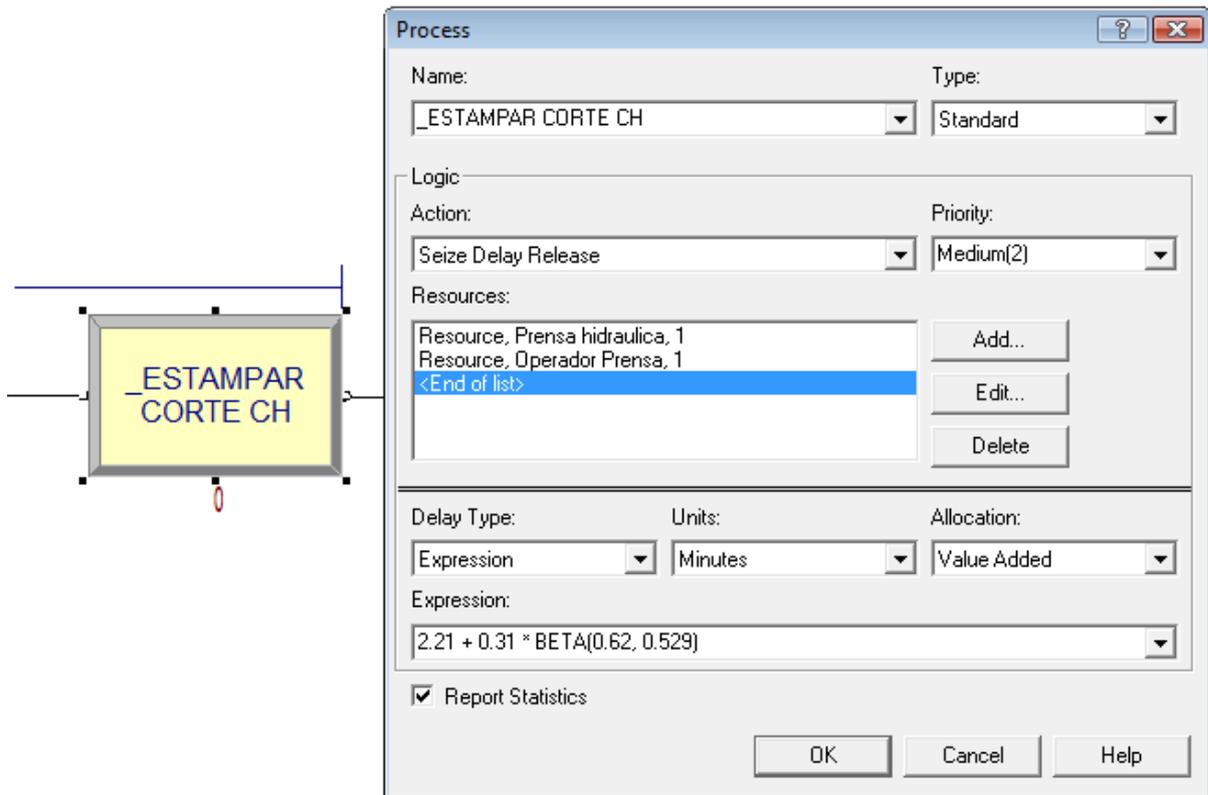


Figura 13: *Process* utilizado na linha da Chapa de Aço para simular um processamento.
Fonte: do Autor.

6.5 Record

Este bloco é utilizado normalmente para se obter informações que não aparecem nos relatórios finais a simulação. Neste trabalho foi utilizado para se calcular o intervalo de tempo entre o *TNOW* gravado no bloco *Assign* e o exato momento que esta passa pelo bloco *Record*. A Figura 14 mostra um dos cinco blocos utilizados no trabalho.

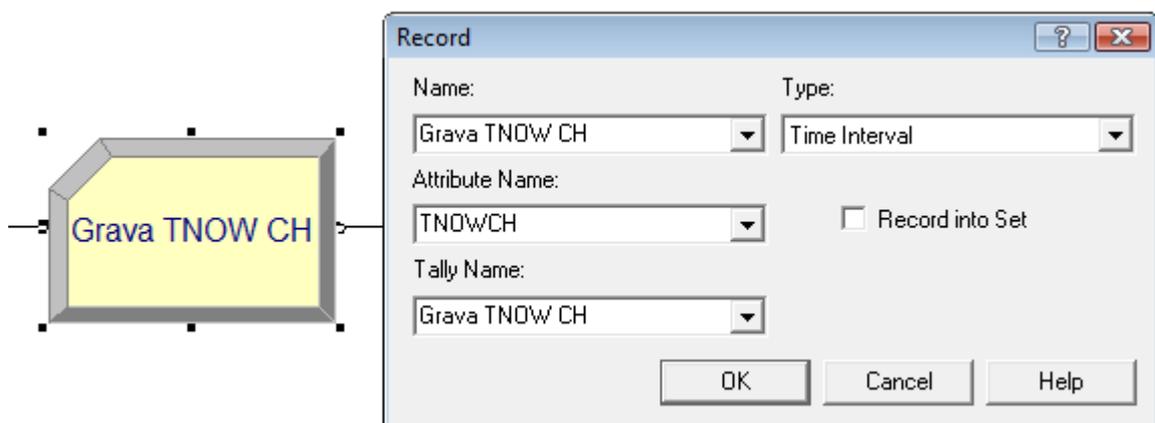


Figura 14: *Record* utilizado na linha da Chapa de Aço.
Fonte: do Autor.

6.6 Sistemas individuais

Após a produção individual dos componentes, quatro sistemas diferentes foram adicionados na simulação. Um sistema de inspeção de qualidade, um de montagem intermediária, um de zincagem e um sistema de montagem final. Tais sistemas serão melhores analisados em seguida.

6.6.1 Sistema de Inspeção de Qualidade

Este sistema foi adicionado logo em seguida ao último processamento de fabricação do componente Cubo de Aço (CB) e pode ser visualizado na Figura 15.

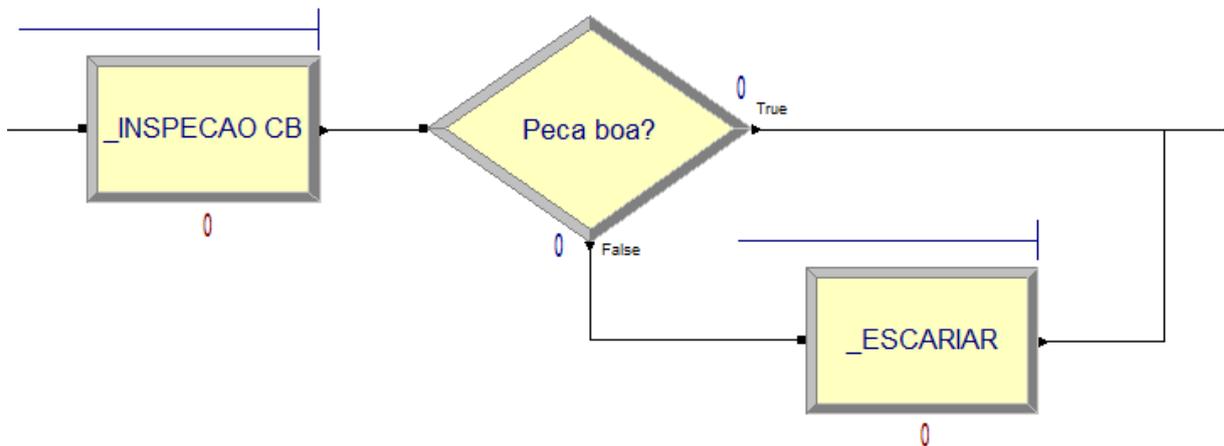


Figura 15: Sistema de Inspeção de Qualidade.
Fonte: do Autor.

O bloco “_INSPECAO CB” é um bloco *Process* que simulou o tempo para se inspecionar os cubos produzidos e pode ser melhor visualizado na Figura 16.

Já o bloco “Peca boa?” é um bloco *Decide* que simulou qual porcentagem de cubos precisariam passar pelo processo de escariagem (normalmente 42 %) e qual porcentagem estaria boa para seguir na linha. A Figura 17 apresenta em detalhes este módulo.

No bloco “_ESCARIAR” temos outro *Process* que neste caso simulou a ação de escariagem que visa tirar rebarbas que podem aparecer após a usinagem do cubo. A Figura 18 apresenta melhor as informações contidas neste bloco.

Process

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

Figura 16: Bloco *Process* simulando a Inspeção de Qualidade.
Fonte: do Autor.

Decide

Name: Type:

Percent True (0-100): %

Figura 17: Bloco *Decide* simulando a porcentagem de peças boas.
Fonte: do Autor.

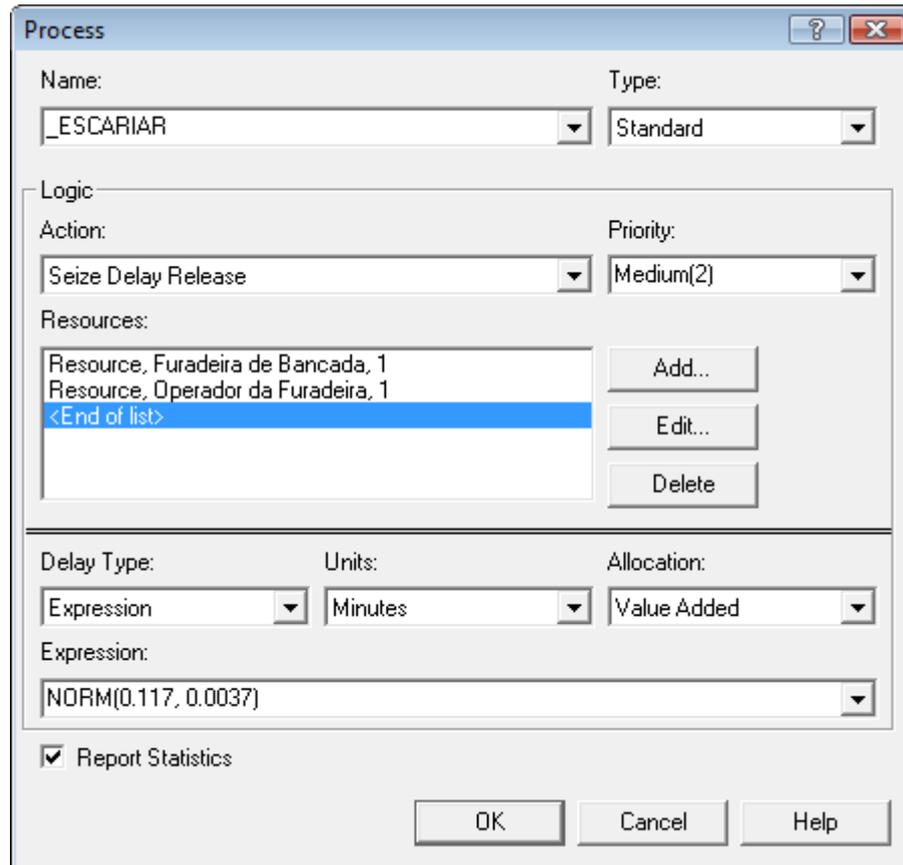


Figura 18: Bloco *Process* simulando o processo de escariagem.
Fonte: do Autor.

6.6.2 Sistema de montagem intermediária

Este sistema foi adicionado logo após a produção dos componentes Chapa de Aço (CH) e Cubo de Aço (CB) que juntos formam o componente Chapa/Cubo. Tal sistema pode ser melhor visualizado na Figura 19.

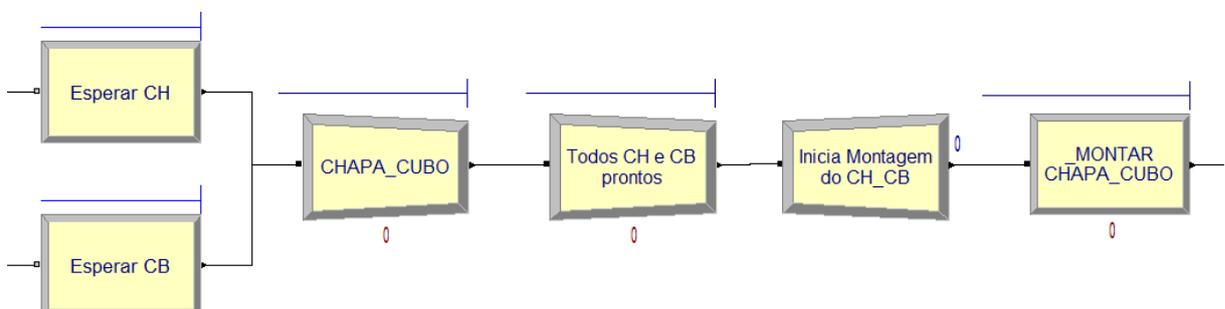


Figura 19: Sistema de montagem intermediária.
Fonte: do Autor.

Ambos os dois primeiros blocos, “Esperar CH” e “Esperar CB”, são *Hold*s que podem ser melhor visualizados nas Figuras 20 e 21 e apresentam a função de esperar por um determinado sinal para então liberar a passagem das entidades.

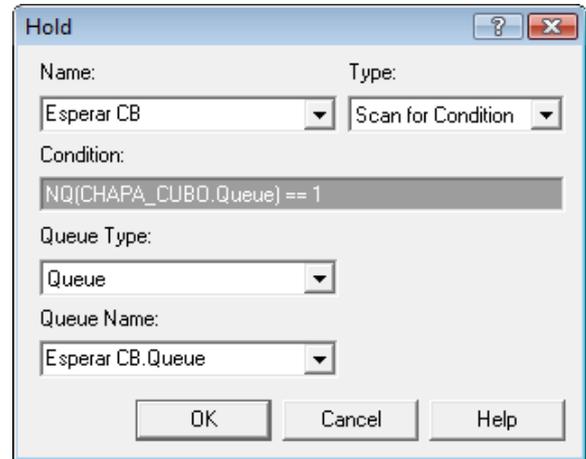
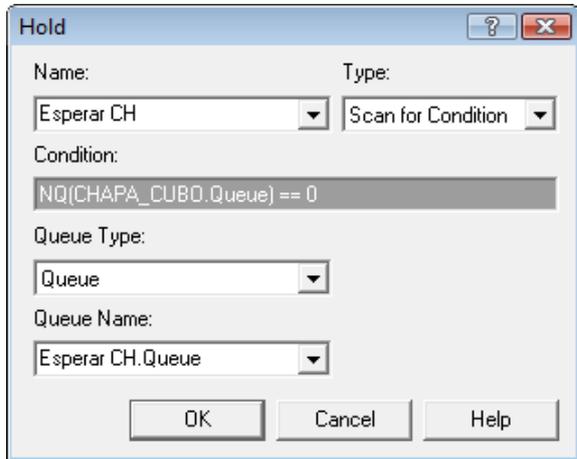


Figura 20: Bloco *Hold* simulando a espera da Chapa.
Fonte: do Autor.

Figura 21: Bloco *Hold* simulando a espera do Cubo
Fonte: do Autor.

No caso estes blocos são responsáveis por liberar apenas um cubo quando já existe uma chapa no seguinte bloco, assim o próximo bloco que é um *Batch*, chamado “CHAPA_CUBO”, reuniria um de cada componente para posteriormente montar o componente intermediário Chapa/Cubo. A Figura 22 mostra em detalhes este módulo.

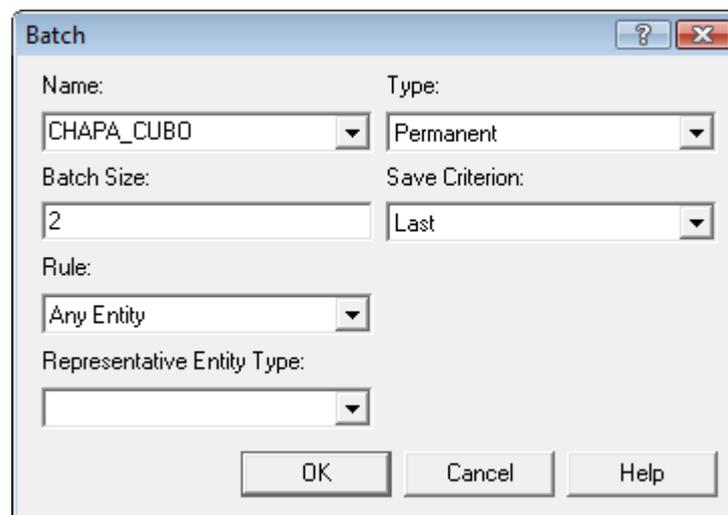


Figura 22: Bloco *Batch* simulando o agrupamento do Chapa/Cubo.
Fonte: do Autor.

O seguinte bloco é outro *Batch* responsável por agrupar todos os Chapa/Cubos agrupados pelo *Batch* anterior. A Figura 23 apresenta as informações contidas neste bloco.

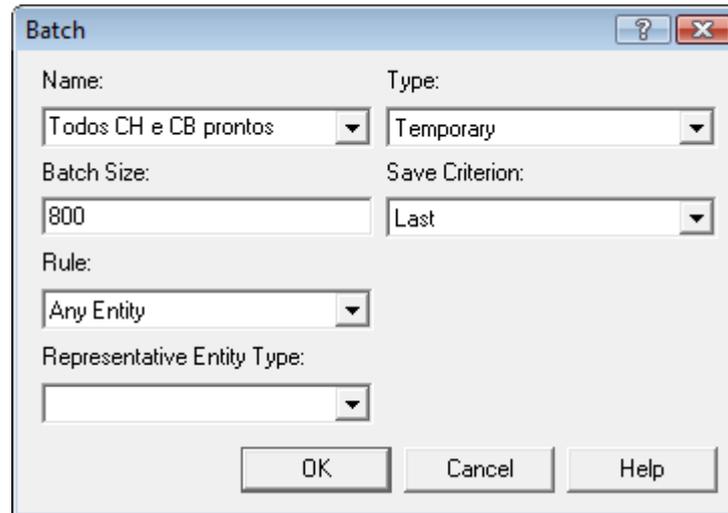


Figura 23: Bloco *Batch* simulando o agrupamento de todos Chapa/Cubos.
Fonte: do Autor.

Em seguida vem o bloco chamado “Inicia Montagem do CH_CB”, este bloco é um *Separate* que envia todas as chapas e cubos para então serem montados. A Figura 24 mostra este bloco com maiores detalhes.

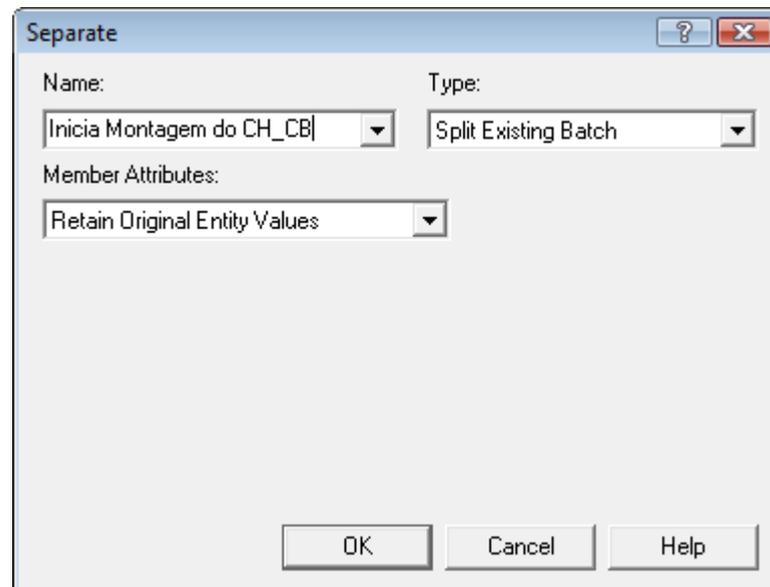


Figura 24: Bloco *Separate* simulando a separação do lote de Chapa/Cubos.
Fonte: do Autor.

E por último vem o bloco “_MONTAR CHAPA CUBO”, um *Process* que simula a ação de montagem do componente intermediário chamado Chapa/Cubo que pode ser melhor visualizado na Figura 25 que vem a seguir.

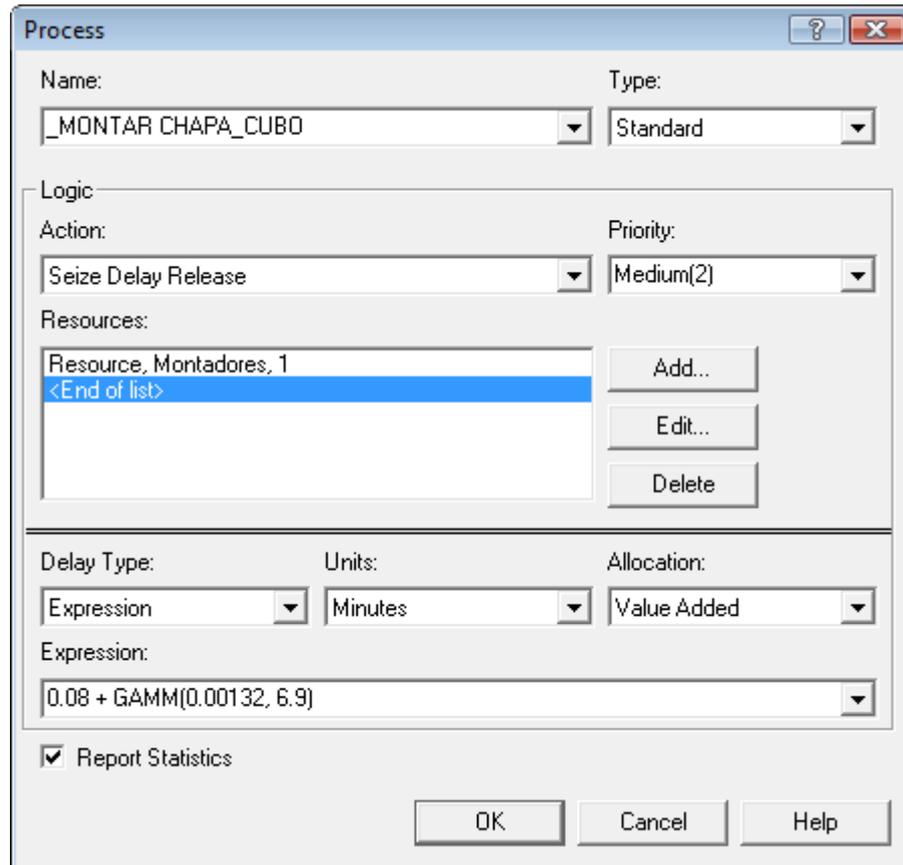


Figura 25: Bloco *Process* simulando a montagem de cada Chapa/Cubo.
Fonte: do Autor.

6.6.3 Sistema de Zincagem

Este sistema é responsável por simular o processo de zincagem que é realizado com os componentes Chapa/Cubo (CH_CB), Pino Central (PC) e Capa de Aço (CP). A Figura 26 mostra de forma geral este sistema.

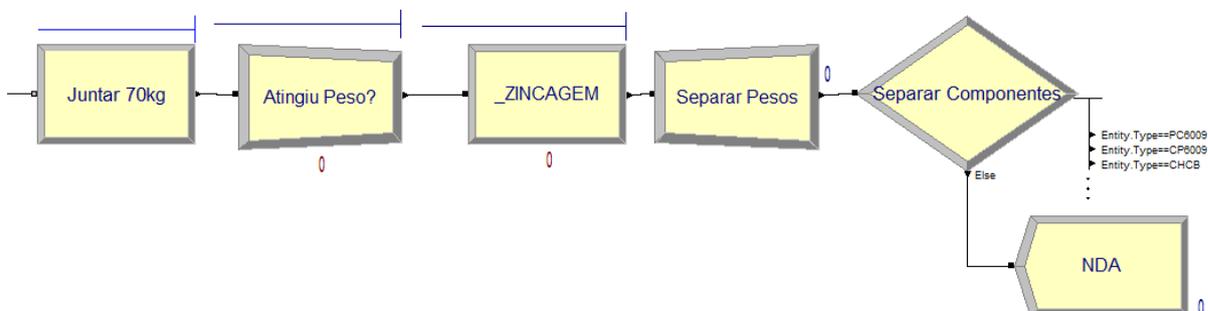


Figura 26: Sistema de Zincagem.
Fonte: do Autor.

O primeiro bloco chamado de “Juntar 70kg” é um bloco do tipo *Hold* responsável por esperar que fosse produzido 70 quilogramas de componentes que necessitam de zincagem. A fórmula utilizada foi a seguinte: “ $((0.071 * _MONTAR_CHAPA_CUBO.NumberOut + 0.065 * _USINAR_CP_LADO_B.NumberOut + 0.012 * _ESTAMPAR_FORMATO_PC.NumberOut) \geq 70) \&\& (_ZINCAGEM.WIP == 0)$ ”. Este bloco pode ser visualizado na Figura 27.

Figura 27: Bloco *Hold* simulando a produção de 70kg de componentes.
Fonte: do Autor.

O bloco seguinte é um *Batch* responsável por agrupar 70 quilogramas de componentes em um lote de zincagem. A fórmula utilizada foi: “ $2400 - (_MONTAR_CHAPA_CUBO.WIP + _USINAR_CP_LADO_B.WIP + _ESTAMPAR_FORMATO_PC.WIP + Separar_Pesos.NumberOut\ Orig)$ ”. A Figura 28 mostra as informações contidas neste bloco.

Figura 28: Bloco *Batch* simulando a união das peças a serem zincadas.
Fonte: do Autor.

O bloco chamado “_ZINCAGEM” é um *Process* responsável por simular o tempo total de zincagem dos 70 quilogramas de componentes (no caso, 1 dia completo). A Figura 29 mostra estas informações.

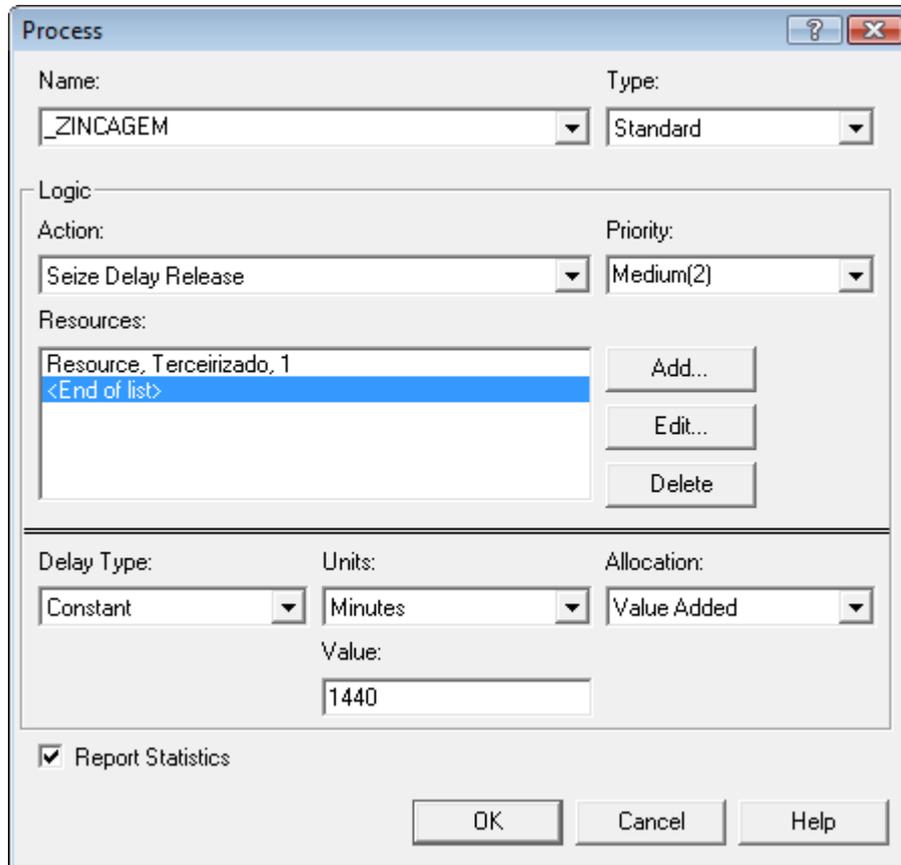


Figura 29: Bloco *Process* simulando o tempo de zincagem dos componentes.
Fonte: do Autor.

Em seguida vem um bloco chamado “Separar Pesos”, do tipo *Separate*, que irá separar as entidades anteriormente agrupadas para serem zincadas. A Figura 30 apresenta melhor este bloco.

Após isto vem um bloco do tipo *Decide* responsável por separar os componentes de acordo com o tipo de entidade que foi zincada. A Figura 31 mostra com detalhes esta informação. O bloco *Dispose* chamado de “NDA” não possui função alguma, estando ali apenas pois o software não aceita pontos sem conexão.

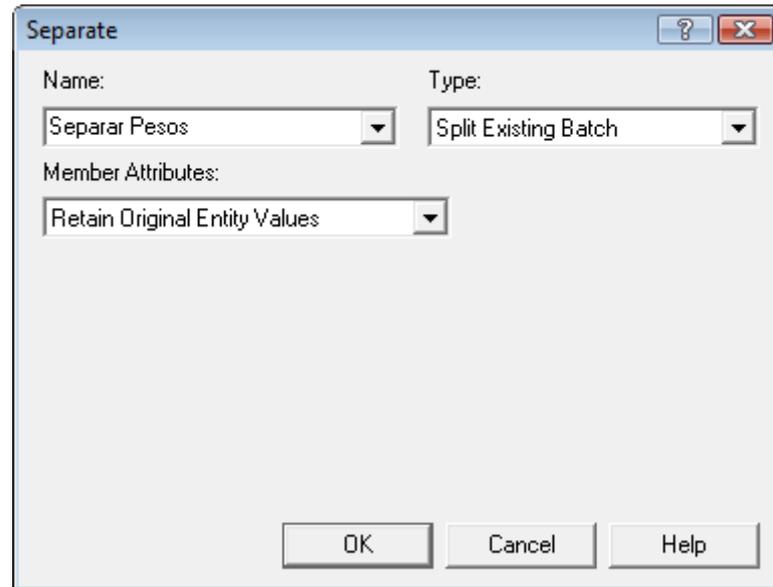


Figura 30: Bloco *Separate* simulando a separação dos componentes.

Fonte: do Autor.

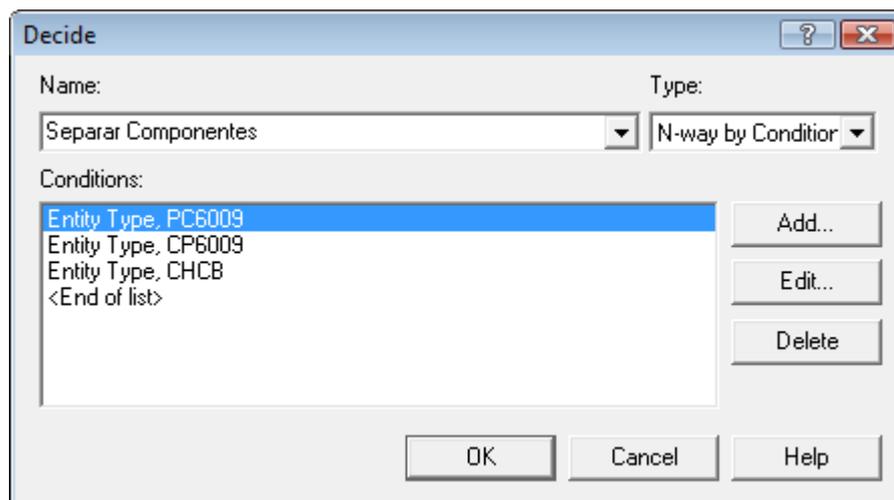


Figura 31: Bloco *Decide* simulando a separação dos componentes por entidade.

Fonte: do Autor.

6.6.4 Sistema de Montagem Final

Este sistema conecta todos os sistemas anteriores resultando finalmente ao produto acabado. A Figura 32 mostra de forma geral como esta simulado esta parte do processo produtivo da empresa estudada.

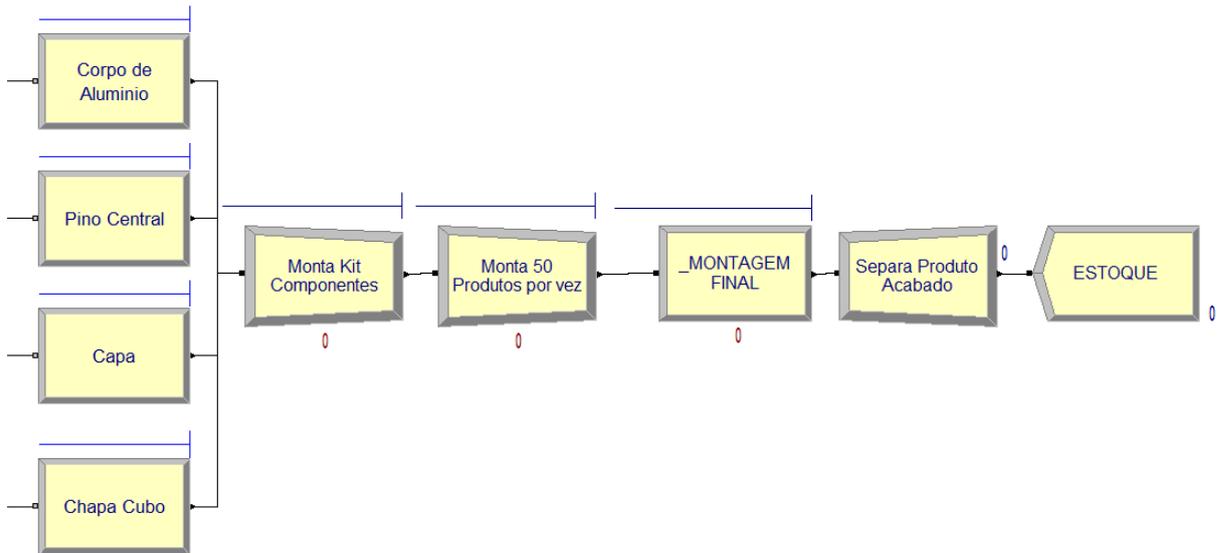


Figura 32: Sistema de Montagem Final.
Fonte: do Autor.

Os quatro primeiros blocos em paralelo exercem funções semelhantes aos dois primeiros blocos no sistema de montagem intermediária, também são do tipo *Hold* e servem para que seja montado kits de montagem contendo um de cada componente fabricado. As figuras a seguir mostram em detalhe a configuração destes blocos.

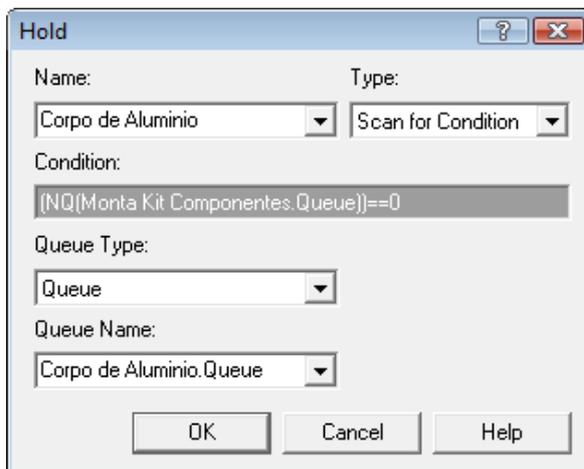


Figura 33: Bloco *Hold* simulando a espera do CA.
Fonte: do Autor.

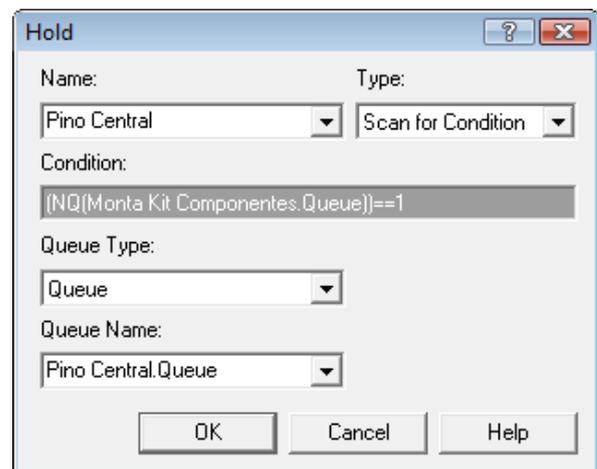


Figura 34: Bloco *Hold* simulando a espera do PC.
Fonte: do Autor.

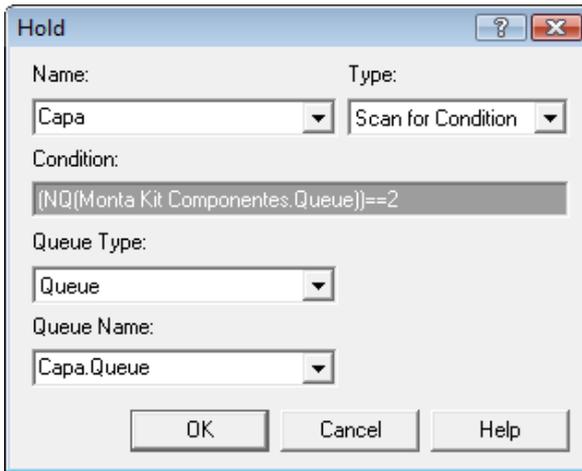


Figura 35: Bloco *Hold* simulando a espera da CP.
Fonte: do Autor.

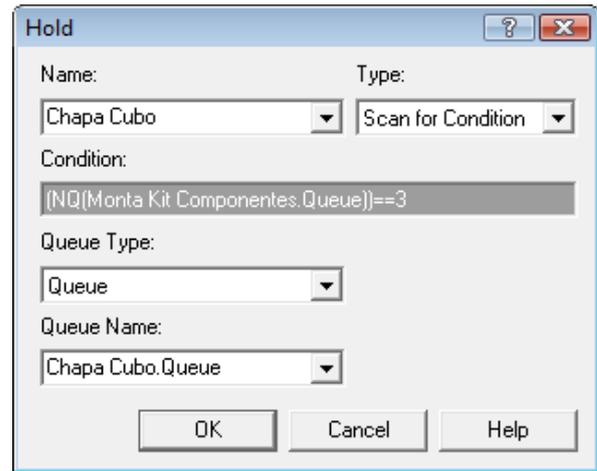


Figura 36: Bloco *Hold* simulando a espera do CH/CB.
Fonte: do Autor.

Logo em seguida existe um *Batch* que é o responsável por agrupar 4 entidades (uma de cada componente) e formar os kits de componentes. A Figura 37 mostra melhor esta função.

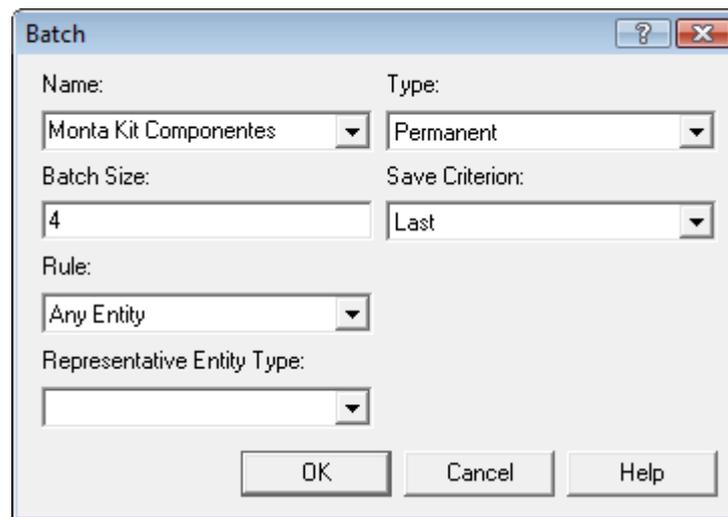


Figura 37: Bloco *Batch* simulando a união dos kits de componentes.
Fonte: do Autor.

E novamente existe outro bloco do tipo *Batch* responsável por agrupar 50 destes kits, pois os tempos utilizados no processo de montagem são para se montar 50 produtos acabados. A Figura 38 apresenta as informações deste novo *Batch*.

Após este bloco aparece um bloco chamado “_MONTAGEM FINAL” do tipo *Process* onde é simulado a ação de montagem de 50 kits de componentes que finalmente se tornaram produtos acabados. A Figura 39 mostra os dados deste bloco.

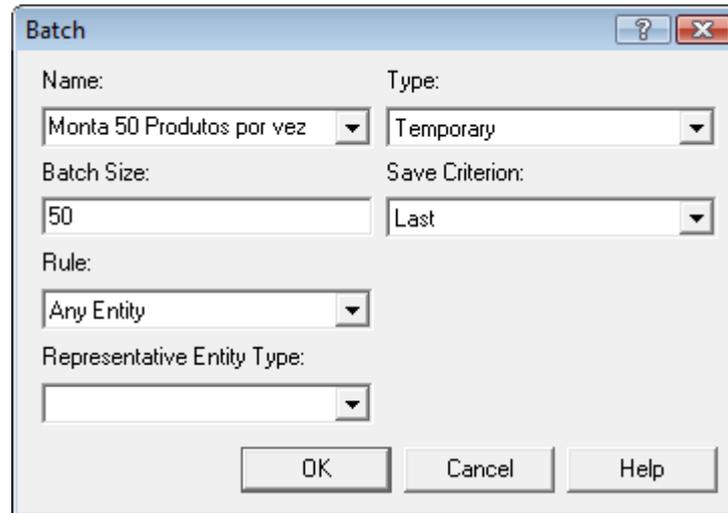


Figura 38: Bloco *Batch* simulando o agrupamento de 50 kits de componentes.
Fonte: do Autor.

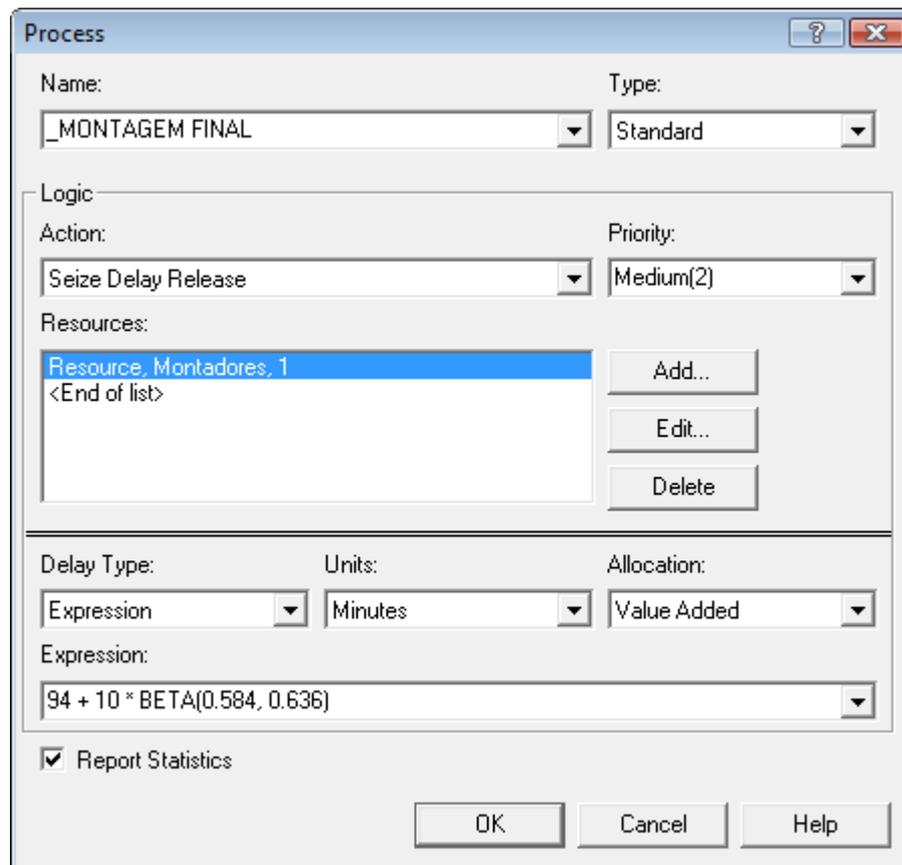


Figura 39: Bloco *Process* simulando o tempo de montagem dos kits.
Fonte: do Autor.

O próximo bloco é um do tipo *Separate* responsável por separar os produtos acabados anteriormente agrupados em lotes de 50 em um único lote de 800 unidades. A Figura 40 mostra este bloco analisado.

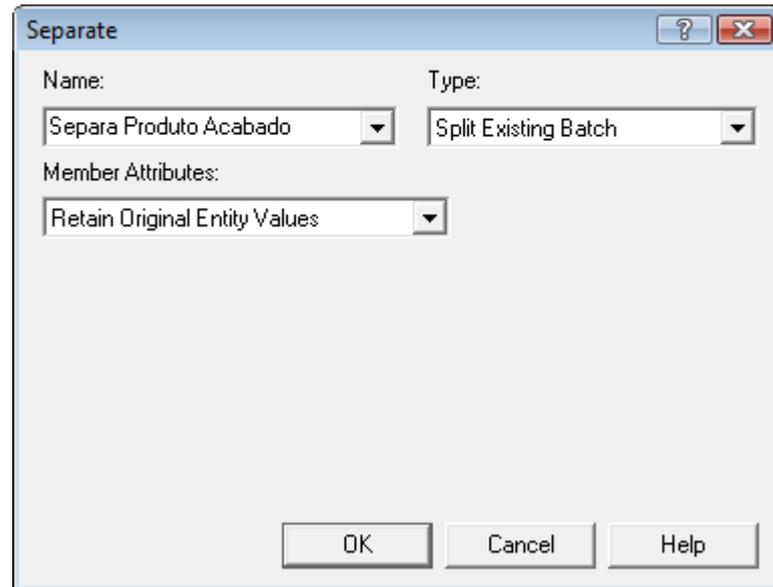


Figura 40: Bloco *Separate* responsável por diluir os lotes de 50 unidades.
Fonte: do Autor.

E finalmente o último bloco da simulação, chamado de “ESTOQUE” e do tipo *Dispose*, marca o final da simulação. É responsável por mostrar que todo o lote foi produzido (e estocado) e portanto a simulação teve fim. A Figura 41 mostra como se apresenta este bloco.

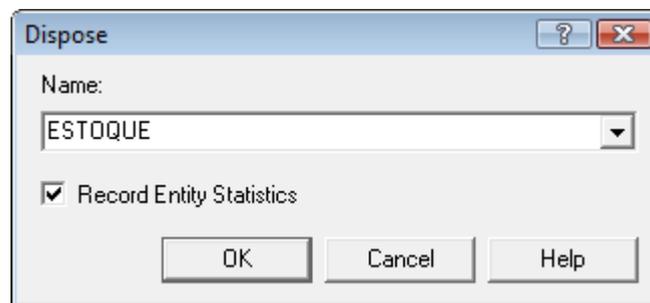


Figura 41: Bloco *Dispose* responsável por terminar a simulação.
Fonte: do Autor.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Cenário real

Este primeiro cenário leva em conta a realidade da unidade fabril, representando fielmente como ocorre a produção dos diferentes componentes: Corpo de Alumínio (CA), Cubo de aço (CB), Chapa de aço (CH), Capa de aço (CP) e o Pino Central (PC) e posteriormente sua montagem chegando ao produto final.

Os recursos (maquinários e operadores) também representam os valores reais e o tamanho do lote produzido foi escolhido com base no que a empresa produz normalmente quando há requisição deste produto, 800 peças.

Os tempos em cada módulo de processamento da simulação foram as distribuições propostas pelo Input Analyzer (Quadro 2), todos estes módulos são caixas de processo do tipo *Seize Delay Release*, pois em todos os processos simulados o componente chega na máquina (ou operador), ocupa este recurso e apenas quando acaba seu processamento libera-o para um próximo componente.

O tempo total da simulação foi de 5.256,3 minutos, ou seja, 10,3 dias (levando em consideração um dia produtivo de 510 minutos) para que os 800 produtos acabados desejados fossem produzidos, de acordo com a simulação realizada. Utilizando dos módulos *Assign* e *Record* foi possível calcular o *lead time* médio de produção de cada componente, chegando aos valores de: 1634,7 minutos para o Corpo de alumínio, 404,6 minutos para o Cubo de aço, 534,1 minutos para a Chapa de aço, 2217,9 minutos para a Capa de aço e 220,1 minutos para o Pino Central. Estes valores podem ser encontrados no Apêndice 1, onde temos os resultados apresentados pelo relatório do software ARENA.

A maior fila acontece na Serra Fita ao se cortar as barras que originaram as Capas de aço tendo um tempo médio de 660,8 minutos e um valor máximo de 1322,0 minutos e a segunda maior fila aconteceu no Esmeril ao se esmerilhar os Corpos de alumínio tendo um tempo médio de 382,1 minutos e um valor máximo de 763,4 minutos. Também podemos notar elevados valores nos tornos que usinam o Corpo de alumínio e a Capa de aço, 284,9 e 275,8 minutos nos seus valores médios respectivamente quando usinando o lado A da peça (ver Apêndice II).

As quantidades de entidades na fila, por conta dos lotes serem processados inteiramente antes de passarem para um próximo processo, possuem valores máximos das filas normalmente de 799 entidades, porém são os valores médios que nos interessam, pois eles demonstram, juntamente dos tempos em fila, que os principais gargalos são os processos de Corte das barras e Usinar em torno ROMI G240 (na produção da Capa de aço) que possuem valores médios de 100,6 e 42,0 respectivamente e podemos citar também como recursos gargalos Esmerilhar e Usinar em torno NARDINE (na produção do Corpo de alumínio), que possuem os valores médios de 58,2 e 43,4 respectivamente (ver Apêndice III).

Fica evidente então que estes quatro processos são responsáveis pelos elevados *lead times* dos respectivos componentes que produzem (Capa de aço e Corpo de Alumínio).

7.2 Cenário Idealizado

Este segundo cenário foca na redução do *lead time* dos componentes para assim diminuir o tempo total de produção do lote de produtos acabados. Todos os tempos produtivos apresentados no Quadro 2 e os processos produtivos mostrados na Figura 8 foram mantidos os mesmos, entretanto mudou-se a quantidade dos recursos disponíveis.

Neste cenário a capacidade da empresa terceirizada de zincagem que era de 70 kg, valor calculado com base nos relatórios de controle de entrada e saída diários de peças zincadas, passou a ser de 118,4 kilogramas, a fim de se poder zincar todos os componentes necessários na produção total do lote (800 peças) em apenas um dia. Para isto seria necessário um acordo com a empresa contratada, ou mudar para outra de maior expressão no mercado.

Como quando um recurso deixa de ser gargalo, outro aparece, são necessárias diversas simulações até que se encontre a melhor solução (neste caso específico aquela que gaste menos recursos com maiores rendimentos) para se reduzir significativamente o tempo de produção. Após mudar os recursos e simular diversas vezes, foi possível encontrar uma solução de baixo custo para o elevado *lead time* de produção (mais de 10 dias).

Foram adicionados na produção do Corpo de Alumínio um Esmeril e um operador para o mesmo e também um Torno NARDINE e um operador para este torno, baixando o lead time de 1634,7 minutos para 842,0 minutos (gerando uma redução de 49% no tempo de produção deste componente). Também foram adicionados para a produção da Capa de Aço duas Serra-Fitas e um Torno ROMI G240 e um operador para este torno, baixando o lead time de 2217,9

minutos para 915,2 minutos (gerando uma redução de 59% no tempo de produção deste componente) como é possível ver no Apêndice 4.

Os novos valores de tempo médio das filas foram de 219,8 minutos para o corte das barras, 190,5 minutos para esmerilhar, 142,4 minutos para usinar o lado A do Corpo de alumínio e 137,4 minutos para usinar o lado A da Capa de aço. Já o número médio de entidades em fila foi de 60,5 para o corte das barras, 52,5 para esmerilhar, 39,2 para usinar o lado A do Corpo de alumínio e 37,9 para usinar o lado A da Capa de aço, tais dados podem ser visualizados nos Apêndices 5 e 6 respectivamente.

Tais valores nos mostram que houve uma diminuição significativa nos valores de tempo e quantidade de entidades em fila, porém é possível perceber também que os processos de cortar barras e esmerilhar continuam sendo gargalos na produção, mas a aquisição de mais recurso nestes processos diminuiria o tempo em valores inexpressivos, portanto não sendo interessante a aquisição dos mesmos.

Tais mudanças nos recursos citadas anteriormente acarretaram na diminuição do tempo total de produção do lote de 5256,3 minutos para 2903,8 minutos (por volta de 5,7 dias), totalizando uma redução de quase 45% no tempo total de produção; ou no aumento da produção (se considerado os 5256,3 minutos) de 800 para 1448 peças, totalizando um acréscimo de 81% na produtividade.

7.3 Quadro comparativo

O quadro a seguir mostra em resumo a comparação do antes e depois da melhoria proposta:

Item analisado	Cen. REAL	Cen. IDEALIZADO	Varição
Cortar barras	660,8 minutos	219,8 minutos	- 66,74 %
	100,6 unidades	60,5 unidades	- 39,86 %
Usinar CP Lado-A	275,8 minutos	137,4 minutos	- 50,18 %
	42,0 unidades	37,9 unidades	- 9,76 %
Lead Time CP	2217,9 minutos	915,2 minutos	- 58,74 %
Esmerilhar	382,1 minutos	190,5 minutos	- 50,14 %
	58,2 unidades	52,5 unidades	- 9,79 %
Usinar CA Lado-A	284,9 minutos	142,1 minutos	- 50,12 %
	43,5 unidades	39,2 unidades	- 9,89 %
Lead Time CA	1634,7 minutos	842,0 minutos	- 48,49 %
Produção Total	800 peças	1448 peças	+ 81,00 %
Lead Time Total	5.256,3 minutos	2.903,8 minutos	- 44,76 %

Quadro 3: Comparação entre os cenários simulados.

Fonte: do Autor.

8. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou ser possível encontrar quais são os processos restritivos em uma linha de produção e como encontrar soluções de baixo custo sem a necessidade de testá-las na prática, mas sim com auxílio da modelagem e softwares de simulação especializados (no caso o ARENA), o que nos permite economizar dinheiro, pessoal e tempo.

O primeiro cenário foi modelado fielmente à realidade atual da empresa, após validado e simulado chegamos a resposta que é necessário 5256,3 minutos (10,3 dias de trabalho) para se produzir um lote de 800 peças do produto estudado.

O segundo cenário buscou encontrar uma solução de baixo custo que diminui-se consideravelmente o elevado tempo total de produção de um lote, este usou a mesma modelagem do primeiro, porém aqueles recursos que foram identificados como gargalos tiveram adição de máquinas ou operadores conforme necessidade. Após validado e simulado chegamos a resposta que para se produzir as mesmas 800 peças seriam necessário apenas 2903,8 minutos (5,7 dias de trabalho) totalizando uma redução de quase 45% no tempo total de produção.

Este novo cenário gerou conseqüentemente um aumento de 81% na produtividade. Uma mudança muito significativa se pensarmos que foi necessário apenas contratar três operadores e comprar dois tornos, um esmeril e duas serra-fitas (ou um modelo mais atual de maior capacidade).

Como trabalhos futuros, propõe-se o estudo de outros produtos de elevada importância comercial para a empresa e também o estudo por outra linha de abordagem como por exemplo a mudança do *layout* produtivo ou realocação de recursos subutilizados.

9. REFERÊNCIAS

- 1) AGUIAR, R. F., SILVA, L. T., CAULLIRAUX, H. M., PRADO, C. A. S. **A Teoria das Restrições em um processo produtivo de fabricação de chapas de gesso acartonado no Brasil.** ENEGEP, 2004.
- 2) ALMEIDA, D. A. **Gerencia da produção.** Apostila do curso de MBA-UNIFEI, 2002.
- 3) BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: Projeto e medida do trabalho.** Editora Edgard Blücher Ltda, 1986.
- 4) COX III, James F., SPENCER, Michael S. **Manual da Teoria das Restrições.** Porto Alegre: Bookman, 2002.
- 5) FEIJÓ, W. P. C., **Aplicação e Simulação de um Processo Ágil Utilizando Gestão de Riscos em Ambientes de Múltiplos Projetos.** Trabalho de Conclusão de Curso. Recife, 2009.
- 6) FREITAS, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas,** Visual Books, 2001.
- 7) MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero; **Administração da Produção.** São Paulo, Editora Saraiva, 2005.
- 8) OLIVEIRA, C. S. de. **Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta.** Itaúna (MG), Estudos Tecnológicos - Vol. 4, n° 3: 204-217, set 2008.
- 9) PARAGON, **Software de Simulação Arena.** Disponível em: <http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?software_de_simulacao_arena_content_ct_1685_2139_.aspx> Acessado em 30/03/2010.
- 10) PRADO. D. S. do, **Usando o Arena em Simulação.** Belo Horizonte (MG): INDG Tecnologia e Serviços LTDA, 2004. 305p.:Il. Vol. 3.
- 11) SANTOS, O. M., SILVA, P. D. A., FURTADO, K. G., COGAN, S. **A teoria das restrições no processo de refino de petróleo.** Disponível em: <<http://www.congressoeac.locaweb.com.br/artigos62006/216.pdf>>. Acessado em 28/03/2010.
- 12) SLACK, Nigel; et al. **Administração da produção.** Trad. Henrique Corrêa, Irineu Giansi. São Paulo: Atlas, 1997.
- 13) TOLEDO JR, Itys F. B. **Balanceamento de linhas.** São Paulo: ITYS-FIDES BUENO DE TOLEDO JR & CIA LTDA, 1989.
- 14) TUBINO, D. F., **Manual de Planejamento e Controle da Produção.** 2º Ed. São Paulo: Atlas S. A., 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Tabela apresentada pelo ARENA dos *lead times* dos componentes

APÊNDICE 2 – Tabela apresentada pelo ARENA dos tempos das filas nos processamentos

APÊNDICE 3 – Tabela apresentada pelo ARENA das entidades em fila nos processamentos

APÊNDICE 4 – Tabela apresentada pelo ARENA dos *lead times* dos componentes no cenário idealizado

APÊNDICE 5 – Tabela apresentada pelo ARENA dos tempos das filas nos processamentos no cenário idealizado

APÊNDICE 6 – Tabela apresentada pelo ARENA das entidades em fila nos processamentos no cenário idealizado

APÊNDICE 7 – Modelagem do sistema estudado no software ARENA.

APÊNDICE 1 – Tabela apresentada pelo ARENA dos *lead times* dos componentes

Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
→ Grava TNOW CA	1634.72	(Correlated)	1389.35	1879.40
Grava TNOW CB	404.57	(Correlated)	371.58	446.03
Grava TNOW CH	534.11	(Correlated)	496.29	571.85
→ Grava TNOW CP	2217.91	(Correlated)	1934.97	2500.45
Grava TNOW PC	220.08	(Correlated)	185.26	254.88

*Os valores apresentados à cima estão em minutos.

APÊNDICE 2 – Tabela apresentada pelo ARENA dos tempos das filas nos processamentos

Time

Waiting Time		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
→	_CORTAR BARRAS.Queue	660.82	(Correlated)	0.00	1322.01
	_ESCARIAR.Queue	36.8846	(Correlated)	34.0746	40.2957
→	_ESMIRILHAR.Queue	382.10	(Correlated)	0.00	763.44
	_ESTAMPAR CORTE CH.Queue	93.7647	(Insufficient)	0.00	187.53
	_ESTAMPAR CORTE PC.Queue	34.6415	(Insufficient)	0.00	69.5504
	_ESTAMPAR FORMATO CH.Queue	89.0769	(Correlated)	0.00	178.64
	_ESTAMPAR FORMATO PC.Queue	34.8180	(Correlated)	0.00	69.6215
	_INSPECAO CB.Queue	17.0742	(Correlated)	0.00	34.1557
	_MONTAGEM FINAL.Queue	129.16	(Insufficient)	0.00	298.19
	_MONTAR CHAPA_CUBO.Queue	8.8618	(Correlated)	0.00	17.7786
	_POR NOME CH.Queue	37.8063	(Correlated)	0.00	75.5489
→	_USINAR CA LADO A.Queue	284.86	(Correlated)	0.00	569.90
	_USINAR CA LADO B.Queue	245.35	(Correlated)	0.00	490.03
	_USINAR CB.Queue	159.05	(Insufficient)	0.00	318.08
→	_USINAR CP LADO A.Queue	275.83	(Correlated)	0.00	551.42
	_USINAR CP LADO B.Queue	282.94	(Correlated)	0.00	565.48
	_ZINCAGEM.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

*Os valores apresentados à cima estão em minutos.

APÊNDICE 3 – Tabela apresentada pelo ARENA das entidades em fila nos processamentos

Other

Number Waiting		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
→	_CORTAR BARRAS.Queue	100.58	(Correlated)	0.00	799.00
	_ESCARIAR.Queue	2.4139	5,18684	0.00	344.00
→	_ESMIRILHAR.Queue	58.1549	(Correlated)	0.00	799.00
	_ESTAMPAR CORTE CH.Queue	1.4271	(Insufficient)	0.00	79.0000
	_ESTAMPAR CORTE PC.Queue	0.1779	(Insufficient)	0.00	26.0000
	_ESTAMPAR FORMATO CH.Queue	13.5574	29,13091	0.00	799.00
	_ESTAMPAR FORMATO PC.Queue	5.2993	(Correlated)	0.00	799.00
	_INSPECAO CB.Queue	2.5987	5,58378	0.00	799.00
	_MONTAGEM FINAL.Queue	0.3932	(Insufficient)	0.00	11.0000
	_MONTAR CHAPA_CUBO.Queue	1.3488	2,89809	0.00	796.00
	_POR NOME CH.Queue	5.7541	8,80536	0.00	799.00
→	_USINAR CA LADO A.Queue	43.3552	65,46349	0.00	799.00
	_USINAR CA LADO B.Queue	37.3414	(Correlated)	0.00	799.00
	_USINAR CB.Queue	0.7867	(Insufficient)	0.00	25.0000
→	_USINAR CP LADO A.Queue	41.9815	(Correlated)	0.00	799.00
	_USINAR CP LADO B.Queue	43.0637	(Correlated)	0.00	799.00
	_ZINCAGEM.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

*Os valores apresentados à cima estão em unidades.

APÊNDICE 4 – Tabela apresentada pelo ARENA dos *lead times* dos componentes no cenário idealizado

Tally

Interval	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
→ Grava TNOW CA	842.02	(Correlated)	719.76	964.27
Grava TNOW CB	406.69	(Correlated)	372.10	448.92
Grava TNOW CH	525.97	(Correlated)	488.36	563.73
→ Grava TNOW CP	915.16	(Correlated)	773.82	1056.43
Grava TNOW PC	210.09	(Correlated)	175.29	244.91

*Os valores apresentados à cima estão em minutos.

APÊNDICE 5 – Tabela apresentada pelo ARENA dos tempos das filas nos processamentos no cenário idealizado

Time

Waiting Time		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
→	_CORTAR BARRAS.Queue	219.75	(Correlated)	0.00	439.54
	_ESCARIAR.Queue	38.4845	(Correlated)	33.8747	43.1759
→	_ESMIRILHAR.Queue	190.52	(Correlated)	0.00	381.66
	_ESTAMPAR CORTE CH.Queue	94.1230	(Insufficient)	0.00	188.17
	_ESTAMPAR CORTE PC.Queue	35.1119	(Insufficient)	0.00	70.5429
	_ESTAMPAR FORMATO CH.Queue	89.0017	(Correlated)	0.00	177.24
	_ESTAMPAR FORMATO PC.Queue	34.7999	(Correlated)	0.00	69.6181
	_INSPECAO CB.Queue	16.9724	(Correlated)	0.00	33.9838
	_MONTAGEM FINAL.Queue	148.98	(Insufficient)	0.00	303.61
	_MONTAR CHAPA_CUBO.Queue	8.8755	(Correlated)	0.00	17.7691
	_POR NOME CH.Queue	37.6185	(Correlated)	0.00	75.3792
→	_USINAR CA LADO A.Queue	142.41	(Correlated)	0.00	284.53
	_USINAR CA LADO B.Queue	122.23	(Correlated)	0.00	244.43
	_USINAR CB.Queue	159.56	(Insufficient)	0.00	319.03
→	_USINAR CP LADO A.Queue	137.43	(Correlated)	0.00	275.53
	_USINAR CP LADO B.Queue	141.33	(Correlated)	0.00	282.64
	_ZINCAGEM.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

*Os valores apresentados à cima estão em minutos.

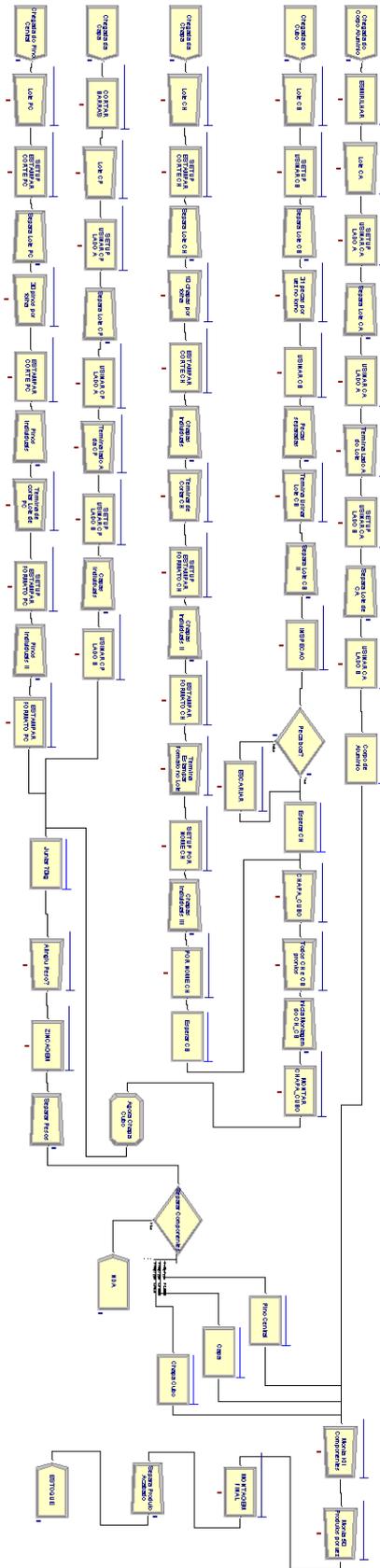
APÊNDICE 6 – Tabela apresentada pelo ARENA das entidades em fila nos processamentos no cenário idealizado

Other

Number Waiting		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
→	_CORTAR BARRAS.Queue	60.5414	(Correlated)	0.00	797.00
	_ESCARIAR.Queue	4.8507	9,83157	0.00	366.00
→	_ESMIRILHAR.Queue	52.4880	(Correlated)	0.00	798.00
	_ESTAMPAR CORTE CH.Queue	2.5931	(Insufficient)	0.00	79.0000
	_ESTAMPAR CORTE PC.Queue	0.3265	(Insufficient)	0.00	26.0000
	_ESTAMPAR FORMATO CH.Queue	24.5203	44,08688	0.00	799.00
	_ESTAMPAR FORMATO PC.Queue	9.5875	20,56360	0.00	799.00
	_INSPECAO CB.Queue	4.6760	(Correlated)	0.00	799.00
	_MONTAGEM FINAL.Queue	0.8209	(Insufficient)	0.00	12.0000
	_MONTAR CHAPA_CUBO.Queue	2.4452	5,24463	0.00	796.00
	_POR NOME CH.Queue	10.3641	(Correlated)	0.00	799.00
→	_USINAR CA LADO A.Queue	39.2332	(Correlated)	0.00	798.00
	_USINAR CA LADO B.Queue	33.6743	(Correlated)	0.00	798.00
	_USINAR CB.Queue	1.4287	(Insufficient)	0.00	25.0000
→	_USINAR CP LADO A.Queue	37.8617	(Correlated)	0.00	798.00
	_USINAR CP LADO B.Queue	38.9359	61,12837	0.00	798.00
	_ZINCAGEM.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

*Os valores apresentados à cima estão em unidades.

APÊNDICE 7 – Modelagem do sistema estudado no software ARENA.



Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR CEP 87020-900
Tel: (044) 3011-4196/3011-5833 Fax: (044) 3011-4196