

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

**Simulação Dinâmica de um Processo Produtivo para a
Identificação de Restrições: Estudo de Caso em uma
Empresa do Setor Metal Mecânico**

Giórgia Cristina Leão

TCC-EP-39-2012

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

**Simulação Dinâmica de um Processo Produtivo para a
Identificação de Gargalos: Estudo de Caso em uma Empresa
do Setor Metal Mecânico**

Giórgia Cristina Leão

TCC-EP-39-2012

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito de avaliação no curso de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Maringá – UEM.

Orientadora: Prof.^a: MSc. Gislaine Camila Lapasini Leal

**Maringá - Paraná
2012**

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha família, por estar sempre ao meu lado, sem medir esforços para a concretização do meu sonho de ser Engenheira. Minha família é minha estrutura, base de tudo o que sou e o que pretendo ser.

Em especial aos meus tios, Paulo e Cezira, pelo apoio na minha vinda a Maringá e pelas condições proporcionadas para a realização desse trabalho na empresa.

Agradeço aos todos meus colegas de classe que, com certeza, posso chamar de amigos, por estarem sempre presentes nas noites em claro de estudo. Em ressalva a Fernanda Pogi, que esteve sempre ao meu lado no nosso mundo a parte.

À Bruna Becker, compreensiva com minha ausência e ao Rodolfo Samadello que disponibilizou suas horas vagas para compartilhar seus conhecimentos comigo.

Agradeço também à minha professora orientadora por ter tido muita paciência comigo e não desistir de mim mesmo nesse momento tão único que está passando. Agradeço também, por estar sempre disponível.

Ao professor Gilberto por aceitar fazer parte da banca avaliadora.

Agradeço acima de tudo a Deus.

RESUMO

Com o aumento da competitividade no mundo do comércio cada possibilidade de investimento e/ou ganho dentro do processo produtivo na indústria é muito relevante e deve ser analisada com atenção. Para que essas análises sejam efetivas, é ideal que demorem o menor tempo possível e causem o menor transtorno ao fluxo existente na organização enquanto são realizadas. Assim, a simulação dinâmica dos processos tem se tornado grande aliada dos gerentes industriais. Essa ferramenta computacional permite a eles realizarem experimentos no processo sem mexer com qualquer pessoa envolvida e/ou equipamento físico até que se tenha certeza dos resultados que tais mudanças trarão. Neste trabalho é simulado o processo produtivo de um produto com alto volume em uma empresa do setor metal-mecânico utilizando o software Arena. As equações de distribuição foram obtidas colocando os dados colhidos do processo existente através de observação, entrevistas e cronoanálise em uma ferramenta auxiliar do software usado chamada *Input Analyser*. Após concluir a lógica do sistema, foram analisados os números que o processo existente resulta e feita alteração em atividades consideradas gargalo. A proposta de melhoria foi feita a partir do melhor resultado simulado encontrado e levado até a empresa estudada.

Palavras-chave: Simulação dinâmica, Modelagem, Processos, Software Arena.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1 JUSTIFICATIVA.....	9
1.2 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	10
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	11
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	11
1.4 METODOLOGIA	11
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 SIMULAÇÃO DINÂMICA	14
2.1.1 <i>Vantagens da simulação</i>	16
2.1.2 <i>Desvantagens da simulação</i>	16
2.1.3 <i>O Arena</i>	17
2.1.4 <i>Input Analyser</i>	18
2.1.5 <i>Passos para o desenvolvimento de um trabalho de simulação de processos</i>	18
2.2 MAPEAMENTO DE PROCESSO	21
2.3 ESTUDO DE TEMPOS	21
2.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES	22
3. DESENVOLVIMENTO	24
3.1 A EMPRESA	24
3.2 O PRODUTO	24
3.3 O PROCESSO	25
3.4 DADOS DO PROCESSO	29
3.5 MODELAGEM.....	31
3.5.1 <i>Tratamento dos dados</i>	32
3.6 SIMULAÇÃO.....	35
3.7 RESULTADOS E ANÁLISES	41
3.7.1 <i>Simulação do modelo existente</i>	42
3.7.2 <i>Cenários Analisados</i>	42
3.7.3 <i>Cenário Proposto</i>	43
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
4.1 CONTRIBUIÇÕES	45
4.2 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES	45
4.3 RESULTADOS ENCONTRADOS.....	46
4.4 TRABALHOS FUTUROS	46
5. REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICES	50

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: PASSOS PARA A REALIZAÇÃO DE TRABALHOS ENVOLVENDO MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS	19
FIGURA 2: PRODUTO ESTUDADO	25
FIGURA 3: FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DO CORPO ESTUDADO	26
FIGURA 4: MÁQUINA SOPRO	27
FIGURA 5: MÁQUINA CONQUILHADEIRA	27
FIGURA 6: MÁQUINA BATEDEIRA	28
FIGURA 7: PROCESSO DA CROMAÇÃO	29
FIGURA 8: PRIMEIRA PARTE DA LÓGICA DE SIMULAÇÃO QUE REPRESENTA O CENÁRIO ESTUDADO	36
FIGURA 9: SEGUNDA PARTE DA LÓGICA DE SIMULAÇÃO QUE REPRESENTA O CENÁRIO ESTUDADO	37
FIGURA 10: EXEMPLO DE UM <i>CREATE</i> USADO PARA NA CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DO SISTEMA SIMULADO	38
FIGURA 11: EXEMPLO DE UM <i>MATCH</i> USADO NA CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DO SISTEMA SIMULADO	38
FIGURA 12: EXEMPLO DE UM <i>BATCH</i> USADO NA CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DO SISTEMA SIMULADO	39
FIGURA 13: EXEMPLO DE UM <i>PROCESS</i> USADO NA CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DO SISTEMA SIMULADO	39
FIGURA 14: EXEMPLO DE UM <i>SEPARATE</i> USADO NA CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DO SISTEMA SIMULADO	40
FIGURA 15: EXEMPLO DE UM <i>DECIDE</i> USADO NA CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DO SISTEMA SIMULADO	40
FIGURA 16: EXEMPLO DE UM <i>DISPOSE</i> USADO NA CONSTRUÇÃO DA LÓGICA DO SISTEMA SIMULADO	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TEMPOS DE SET UP FORNECIDOS PELA EMPRESA.....	29
TABELA 2: TEMPOS CRONOMETRADOS DAS ETAPAS DE FABRICAÇÃO	30
TABELA 3: TEMPOS CRONOMETRADOS EM SEGUNDO.....	32
TABELA 4: TRATAMENTO DOS DADOS CRONOMETRADOS EM SEGUNDOS	34
TABELA 5: EXPRESSÕES E ERRO QUADRADO PARA CADA ATIVIDADE	35
TABELA 6: COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS ANALISADOS	43
TABELA 7: TABELA COMPARATIVA DOS VALORES ENCONTRADOS	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCLM Método Congruente Linear Multiplicativo

GNA Gerador de Números Aleatórios

1. INTRODUÇÃO

Toda empresa atuante no mercado tem como objetivo garantir o atendimento ao cliente e gerar lucro. Sendo assim, o pensamento de sobreviver ao mercado tão competitivo de hoje não é suficiente, é preciso também garantir o seu espaço. A melhor forma de garantir este espaço é tratando com cuidado os três quesitos essenciais para o bom andamento de uma organização: preço, prazo e qualidade.

O quesito preço está diretamente ligado ao volume produzido. Segundo Tubino (2000), para obter liderança no mercado focando no preço final dos produtos a empresa deve buscar produzir no menor custo possível, pois dessa forma garantirá que seus produtos terão os menores preços do mercado.

A simulação dinâmica de processos fabris é uma ferramenta de grande utilidade quando se trata de identificar falhas no sistema produtivo em um curto período de tempo, o que facilita a identificação e redução dos desperdícios e, conseqüentemente, dos custos de produção. Ela possibilita ter uma visão sistêmica e pontual dos processos em andamento ao mesmo tempo. Assim, é possível avaliar os procedimentos para identificação tanto das atividades que não agregam valor como gargalos da produção, bem como testar novas alternativas para se produzir sem necessidades de mudanças físicas em busca do aumento a produtividade.

O presente trabalho tratará justamente da simulação computacional dinâmica de um processo produtivo em uma empresa de pequeno porte comprovando que a ferramenta é fácil e de grande auxílio gerencial em qualquer situação.

1.1 Justificativa

O tema escolhido é considerado de grande importância para as empresas que querem se destacar no mercado atual onde cada ganho é muito significativo. A indústria estudada tem o interesse em aprimorar seus processos principalmente no que se refere a estoque em processo e taxa de utilização dos recursos disponíveis, contudo a fabricação dos produtos comercializados envolve um número alto de pessoas, máquinas e atividades tornando inviável a mudança dos processos sem informações precisas.

O método de simular uma situação permite aos gestores aumentar a velocidade na otimização dos processos sem que haja qualquer tipo de desgaste desnecessário entre os colaboradores da empresa. Dessa forma, a simulação em softwares ajuda a montar o plano de produção direcionando os recursos de maneira mais precisa reduzindo os desperdícios e as atividades que não agregam valor ao produto.

Para uma simulação efetiva do processo produtivo escolhido foram estudados seis setores diferentes sendo eles: Macharia, onde são feitos os moldes que têm com base a areia; Fundição: etapa em que o metais derretido é inserido e solidificado; Batedeira: o molde e o metal fundido são separados; Usinagem: são feitas as roscas essenciais para a montagem com a torneira; Afinação e polimento: a superfície das peças é alisada para retirar todo excesso ou impurezas e Cromação: onde obtém-se a coloração prateada típica.

1.2 Definição e delimitação do problema

A indústria na qual o trabalho foi realizado é uma metal-mecânica situada na cidade de Loanda, PR. O produto escolhido para o trabalho foi um corpo de torneira comum. Essa peça permite comercialização em diferentes etapas do processo produtivo e não apenas juntamente com as torneiras que o mesmo compõe, por essa razão é o produto que apresenta maior volume na empresa.

O presente trabalho se propõe a identificar e analisar restrições no processo produtivo do corpo da torneira com o intuito de reduzir o estoque em processo e o tempo de entrega dos pedidos, também deve ser otimizada a utilização dos recursos disponíveis a fim de disponibiliza-los aos outros produtos. A intenção é tornar a empresa mais organizada, rápida e competitiva.

Os setores envolvidos na fabricação deste produto estão localizados em barracões diferentes devido às necessidades especiais que apresentam, por exemplo, o forno precisa ficar separado dos demais, pois além de causarem grande transtorno ao esquentar ambiente, também deixa fuligem de metal no ar que pode prejudicar a saúde dos que respiram. Contudo, do ponto de vista produção, gera alta movimentação interna das peças fabricadas. A união dos fatores,

volume produzido e alta movimentação, fez esse produto ser chave na hora da decisão por um chão de fábrica mais limpo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem o objetivo de identificar e analisar restrições no processo produtivo de um produto de metal por meio da simulação dinâmica do mesmo.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Revisão de literatura dos temas: Mapeamento de processos, teoria das restrições, estudo de tempos e simulação computacional dinâmico;
- Escolha do produto a ser estudado;
- Mapeamento do processo produtivo;
- Coleta dos dados necessários para uma modelagem consistente;
- Modelagem do sistema produtivo no software Arena;
- Simulação do sistema no software Arena;
- Análise dos resultados;
- Proposta de melhorias.

1.4 Metodologia

A pesquisa apresentada nesse trabalho de graduação pode ser classificada por diferentes aspectos. Quanto à natureza é considerada aplicada com abordagem tanto quantitativa, expressa em números, quanto qualitativa, expressa em níveis de qualidade do processo. É um

estudo de caso, explicativo no que se refere ao objetivo já que tem por finalidade identificar e analisar a situação existente no momento.

Os passos pra a realização deste trabalho foram:

- Estudo dos temas: mapeamento de processos, teoria das restrições, estudo de tempos e simulação computacional dinâmica. Foi imprescindível o estudo aprofundado dos assuntos citados para o bom andamento do trabalho.
- Escolha do produto a ser estudado. Foi feita uma avaliação dos produtos ofertados para que fosse possível identificar qual traria mais resultados à empresa como um todo dentro do tempo hábil do projeto.
Levou-se em conta na avaliação a quantidade vendida, lucro gerado, tempo de produção e o nível de detalhamento de processo produtivo.
- Mapeamento do processo produtivo. Identificou-se a linha produtiva. A partir daí, um fluxograma foi montado com a finalidade de mostrar o caminho percorrido pelas peças.
- Coleta dos dados necessários para uma modelagem consistente. Os tempos de cada atividade necessária para o produto em questão foi cronometrado diversas vezes para garantir a credibilidade do estudo. Os mesmos foram tratados a fim de conseguir os tempos médios individuais.
A amostra escolhida para medição foi não-propabilística intencional, pois foram escolhidos horários variados estrategicamente para o melhor julgamento. Os dados foram coletados através de observações e cronômetro.
- Modelagem e simulação do sistema produtivo no software Arena. A modelagem foi obtida através do *Input Analyser* que é uma ferramenta disponibilizada pelo software Arena e as simulações do sistema foram feitas no próprio software Arena como etapa subsequente.

- Análise dos resultados: verificou-se de forma geral o processo escolhido e também a visão específica das atividades possibilitando a análise de onde estavam situados os gargalos e suas possíveis soluções.
- Proposta de melhorias: a partir de comparações feitas entre os relatórios, as propostas de melhoria puderam ser sugeridas.

1.5 Estrutura do trabalho

Capítulo 1: Apresenta uma introdução do assunto que será tratado no trabalho, justificativa, problema, os objetivos da pesquisa e a metodologia usada na realização do mesmo.

Capítulo 2: Contem a revisão de literatura pertinente ao assunto estudado assim como as vantagens e desvantagens do uso da simulação dinâmica de processos com foco gerencial.

Capítulo 3: É composto pela apresentação da empresa e do produto. Os dados do processo produtivo, a modelagem e a lógica da simulação utilizada também estão apresentados nesse capítulo juntamente com a análise dos resultados obtidos sobre os cenários propostos.

Capítulo 4: Nesse capítulo estão as considerações finais sobre as contribuições do trabalho para a empresa, as dificuldades e limitações para desenvolvê-lo, análise sobre o resultado obtido e propostas para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura aborda os temas imprescindíveis para o entendimento de que se trata a simulação dinâmica de sistemas produtivos separados em tópicos.

2.1 Simulação Dinâmica

O mundo dos negócios se torna mais complexo e competitivo a cada ano que passa. Esse fato tão notório faz mudar também a forma de gerenciar uma organização, não cabendo mais a gestão tradicional baseada em funções, acreditando que pode existir departamentos ou área não inter-relacionados e que se cada um cumprir seus objetivos a organização também terá cumprido o seu. Hoje, deve-se pensar no objetivo da organização como um todo, um objetivo maior com foco nas necessidades dos clientes, e conseqüentemente, voltado para os processos, seus fornecedores, clientes, entradas e saídas. A aplicação da visão sistêmica do processo vê as organizações das perspectivas de relações entre os envolvidos, isto nos permite entender as novas transformações no ambiente de bens e serviços (PAIM et al., 2009 *apud* VOLPATO 2010).

Segundo Taylor (1979 *apud* Freitas 2001) sistemas podem ser definidos como um conjunto de objetos que atuam e interagem com a intenção de alcançar um objetivo comum ou um propósito lógico.

Uma definição mais ampla para o mesmo autor diz que a simulação dinâmica busca descrever o comportamento do sistema, construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas e usar o modelo para prever o comportamento futuro.

De acordo com um dos desenvolvedores da primeira linguagem comercial de computadores voltada à simulação de sistemas, Schiber (1974 *apud* Freitas 2001), simular é a modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa seqüência de eventos que ocorrem ao longo do tempo.

Pegden (1990 *apud* Freitas 2001) define simulação como o processo de obter um modelo computacional que mais se aproxima de um sistema real a fim de entender o seu funcionamento com o propósito fazer experimentos e analisar estratégias de operação.

“Modelos são descrições do sistema de forma matemática ou lógica, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta uma série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do mesmo” (FREITAS, 2001).

Freitas (2001) classifica os modelos de acordo com o processo decisório envolvido. São eles modelos voltados à previsão – quando é usado com a finalidade de prever o sistema em um ponto futuro, à investigação – quando está voltado à busca de informações e desenvolvimento de hipóteses sobre o comportamento do sistema, e à comparação – quando diferentes “rodadas” de simulação usadas para avaliar o efeito das mudanças sobre as variáveis de controle.

De acordo com Barros (2001), um modelo é fundado em quatro elementos: atividades, desenvolvedores, artefatos e recursos. As atividades representam pacotes de trabalho que devem ser realizados para a conclusão processo em questão. Os desenvolvedores representam as pessoas que formam a equipe para execução do mesmo, ou seja, quem realiza as atividades. Os recursos representam elementos lógicos ou físicos que são utilizados ao longo de todo o trabalho. As atividades criam e evoluem artefatos de software, eventualmente consumindo outros artefatos como insumos.

Para Prado (2004), o sucesso do modelo para simulação ocorre quando temos um sistema computacional funcionando de forma eficiente e otimizada. Ele define essas palavras da seguinte forma: “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.

Prado (2004) diz que quando são realizados estudos envolvendo modelagem e simulação de sistemas o interesse mais comum é saber a quantidade certa de todos os recursos para o processo, o melhor *layout* e o melhor caminho do fluxo para o mesmo.

Freitas (2001) assegura que a modelagem do sistema dependerá, basicamente, do propósito e da complexidade do sistema sob investigação. Os tipos de modelos que podem ser empregados são: matemáticos, descritivos, estatísticos e do tipo entrada-saída.

“Para dimensionar adequadamente um sistema, devemos dedicar especial atenção aos gargalos, ou seja, pontos onde ocorrem filas.” (PRADO, 2004).

2.1.1 Vantagens da simulação

Segundo Freitas (2001) as maiores vantagens da simulação dinâmica computacional são que tendo um modelo, pode-se utilizá-lo muitas outras vezes para diferentes objetivos; é de aplicação mais fácil do que métodos analíticos; as hipóteses existentes sobre o processo podem ser esclarecidas de maneira inquestionável; o tempo para a visualização dos resultados pode ser controlado e os “gargalos” podem ser identificados visualmente.

Freitas (2001) constata ainda que estudos simulados possibilita aos analistas considerarem o nível de detalhamento que preferirem, permitindo que, mesmo pequenas, diferenças de comportamento sejam notadas e que o modelo simulado permite análise a quase todo instante, à medida que novas indagações sobre o comportamento de sistema modelado sejam levantadas.

Oliveira (2008 *apud* Silva, 2010) coloca como principais vantagens o fato de simular sistema ainda em fase de projeto a fim de conhecê-lo e aperfeiçoá-lo antes da construção; teste de novos procedimentos sem interrupções no sistema real e ter o menor custo e transtorno se comparado a testes reais.

2.1.2 Desvantagens da simulação

Já nas desvantagens Freitas (2001) aponta que a construção do modelo requer um treinamento especial e a frequente dificuldade para interpretar dados já que os modelam tentando mostrar as variabilidades do sistema. Por essas razões, resultados confiáveis requer tempo.

2.1.3 O Arena

O software escolhido para elaboração do presente trabalho é o Arena, o qual é definido pelo próprio fabricante (Paragon, 2000) da seguinte forma:

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.

De acordo com Feijó (2009 *apud* Silva 2010), o Arena usa uma linguagem que considera o sistema como uma sequência de eventos aleatórios e, para implementar esse modelo, o software usa um método chamado como Método Congruente Linear Multiplicativo (MCLM) que é um gerador de números aleatórios (GNA) responsável pela variabilidade para geração de dados.

Para Feijó (2009 *apud* Silva 2010) o Arena é um simulador genérico que fornece simulação discreta e estocástica orientada a acontecimentos de forma animada e pode representar qualquer tipo de sistema. É formado por *templates*, campos que reúne os elementos usados na construção do modelo. Esses elementos são chamados de módulos, podem ser usados quantas vezes forem necessários para a construção da lógica e são de dois tipos distintos: Módulo de fluxo e Módulo de dados.

Módulo de fluxo: usado para criar o fluxo do processo estabelecendo suas interações, por essa razão possuem pontos de entrada e saída. Um duplo clique nesse módulo abre uma janela que permite configurar as ações referentes a ele.

Modulo de dados: usado para editar as especificações de cada elemento do sistema. Apesar de aparecerem na janela de *template*, não são colocados na área de trabalho. Sua lista de dados é apresentada na área de planilha onde podem ser feitas as edições.

De acordo com o manual da Paragon (2000), a parte dinâmica, ou seja, a parte que se movimenta e percorre o fluxo é chamada de entidade; o fluxograma representa a estrutura estática do sistema; os recursos representam a estrutura como máquinas, postos de trabalho, entre outros; e o processo de modelagem é o meio de “explicar” ao software como o sistema funciona.

O mesmo autor ainda comenta que neste programa existem dois softwares analisadores de entrada e saída que são o *input analyser* e o *output analyser*. O primeiro determina uma distribuição apropriada ao conjunto de dados de entrada através do tratamento estatístico de interesse. O segundo, “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”.

2.1.4 *Input Analyser*

Existem dados q

ue são indeterminados, ou seja, que não apresentam um valor exato e sim variações em torno de um valor médio. Os dados que envolvem tempo são dessa forma. O valor médio geralmente é utilizado em simulações estáticas e controle de processo. Porém, em uma simulação dinâmica temos a possibilidade de inserir estas variações no modelo, através de distribuições estatísticas (Paragon, 2000).

A distribuição estatística é determinada através da coleta de dados do evento de interesse. Colocando esses dados no *Input Analyser*, eles são agrupados por classes em um histograma e a distribuição que melhor se adapta a ele pode ser escolhida.

O manual Paragon (2000) diz que o *Input Analyser* gera uma lista de distribuições possíveis em ordem de melhor ajuste. A expressão considerada mais adequada a realidade dos dados pode ser copiada e colada em qualquer parte da lógica do Arena.

2.1.5 *Passos para o desenvolvimento de um trabalho de simulação de processos*

Segundo Silva (2010) a Figura 1 ilustra o melhor modelo usado quando se trata de solucionar problemas que envolvem modelagem e simulação de processos por ser de fácil entendimento.

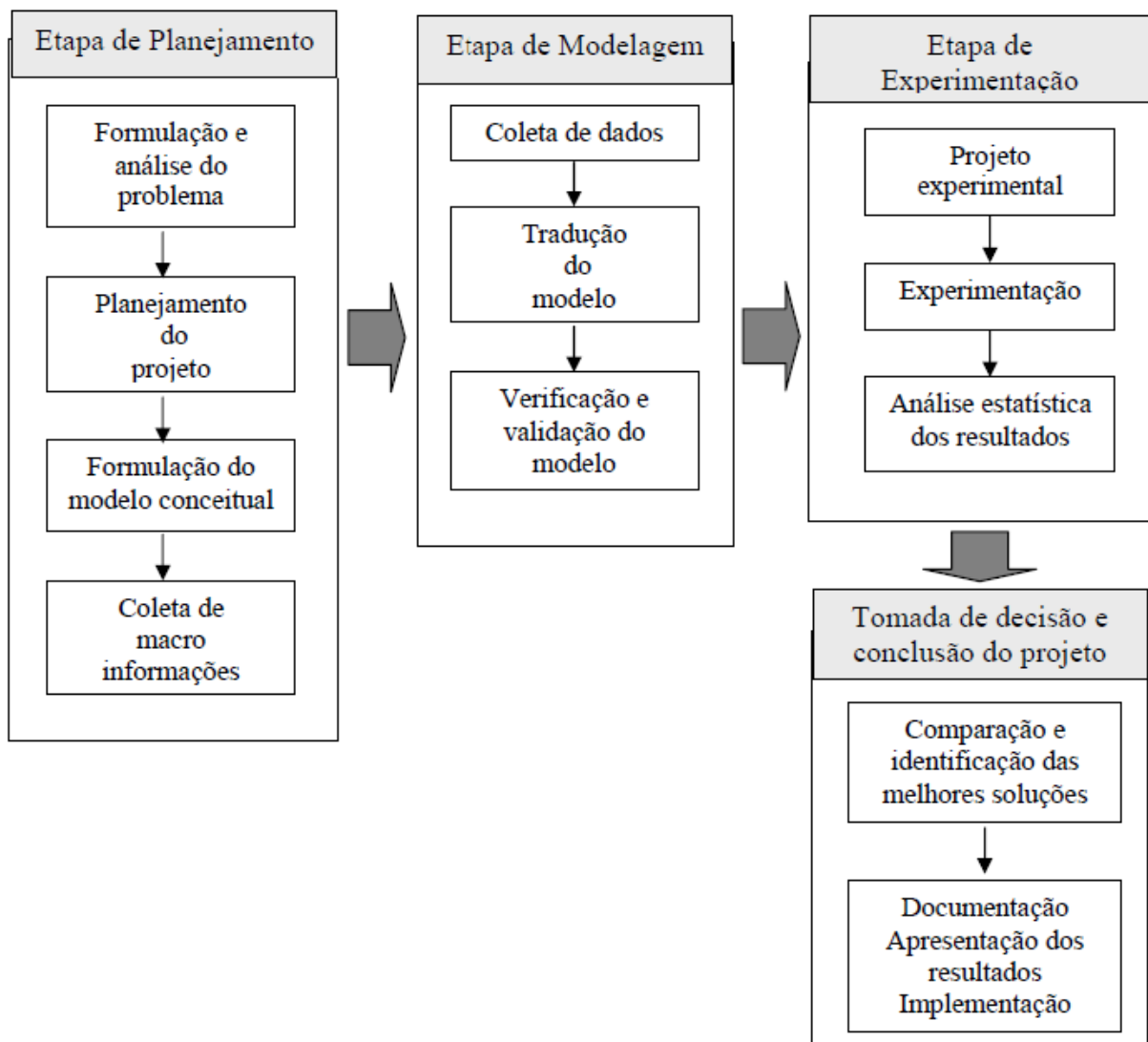


Figura 1: Passos para a realização de trabalhos envolvendo modelagem e simulação de processos (adaptado de Freitas, 2001)

Freitas (2001) descreve o significado de cada um desses passos da seguinte forma:

Formulação e Análise do Problema: os propósitos e objetivos do estudo devem ser definidos de forma clara e direta. Para isso, podem ser respondidas algumas questões do tipo por que fazer e o que se pretende alcançar.

Planejamento do Projeto: deve incluir a descrição do(s) cenário(s) em estudo e um cronograma das atividades necessárias para o sucesso do trabalho. Também é nessa etapa que deve ser verificado a disponibilidade dos recursos que o trabalho usará.

Formulação do Modelo Conceitual: um esboço gráfico do sistema deve existir seguido da descrição das variáveis e suas interações lógicas que pode ser feito a partir de um fluxograma já que é recomendado que se comece do forma simplificada e evolua com o tempo.

Coleta de Macro-Informações e Dados: nessa etapa devem ser coletadas todas as informações que podem conduzir os futuros esforços voltados à alimentação de dados com suas correlações no sistema modelado e derivam de observações, experiências ou histórico do processo.

Tradução do Modelo: significa codificar o modelo descrito em uma linguagem de simulação apropriada.

Verificação e Validação: confirmar que o modelo opera de acordo com o esperado e que o resultado possui crédito para ser considerado representativo do modelo real.

Projeto Experimental Final: o objetivo é que se obtenham mais informações com o menor número de experimentos. Com esse fim, deve-se determinar como cada teste será realizado.

Experimentação: colocar em prática o projeto feito.

Interpretação e Análise Estatística dos Resultados: analisar os resultados mostrados na simulação e verificar se os mesmo apresentam credibilidade estatística ou se são necessárias mais replicações.

Comparação de Sistemas e Identificação das Melhores Soluções: o objetivo é comparar um sistema existe ou considerado como padrão com propostas alternativas.

Documentação: é sempre necessária para que outras pessoas possam também utilizar o trabalho feito para novas análises ou mesmo fazer novas adaptações na forma já existente.

Apresentação dos Resultados e Implementação: mostrar os resultados dos estudos verificando se o objetivo foi alcançado e quais os benefícios foram conseguidos.

2.2 Mapeamento de processo

Segundo Harrington (*apud* Volpato, 2010), mapeamento de processo significa descrever graficamente um processo identificando cada evento da sequência de atividades. Para Barnes (*apud* Volpato, 2010), mapear processos é uma técnica que permite registrar um processo de uma maneira compacta, a fim de facilitar sua compreensão e eventual melhoria.

Leal, Pinho e Corrêa (2005 *apud* Volpato 2010) ressaltam que, o procedimento de mapear processos significa identificar, documentar, analisar e desenvolver um processo de melhoria. É a representação visual dos processos de trabalho mostrando como *inputs*, *outputs* e tarefas estão ligadas entre si, proporcionando um novo pensamento de como o trabalho é realizado, destacando os pontos cruciais das áreas onde uma mudança terá um impacto bastante significativo para a melhoria do processo atual.

Segundo o manual Paragon (2000) o fluxograma é a ferramenta mais usada para descrever o funcionamento de um sistema. Ele é feito de formas geométricas que representam os procedimentos, decisões a serem tomadas, início e término dos processos.

2.3 Estudo de Tempos

Martins e Laugeni (2005) consideram importante conhecer os tempos padrões de produção para auxiliar o planejamento da produção a fim de destinar os recursos certos no lugar certo. Medir o desempenho da produção e fornecer dados para determinar os custos padrões também é possível quando se tem essas informações segundo os mesmo autores.

Martins e Laugeni (2005) ainda mostram uma sequência para a determinação do melhor tempo padrão. É ela:

- Divisão da operação em elementos menores: com finalidade de obter a melhor medida e verificar o método de trabalho.
- Determinação do número de ciclos a serem cronometrados: sugerem de 10 a 20 medições.

- Avaliação da velocidade do operador (V): essa é determinada subjetivamente pelo cronometrista geralmente por porcentagem. Porém, o mais comum é trabalhar com valores entre 100% e 120%.
- Determinação de tolerâncias: prever interrupções no trabalho a fim de atender as necessidades pessoais como alívio da fadiga e necessidades biológicas.
- Determinação do tempo padrão: calcular as médias das n cronometragens obtendo o que chamaremos de tempo cronometrado (TC) é o método mais simples, mas também é possível calcular considerando cada TC como o tempo que foi marcado pelo cronometro. Em seguida, obter o tempo normal (TN):

$$TN = TC \times V$$

E finalmente conhecer o tempo padrão (TP):

$$TP = TN \times FT$$

Onde FT são os fatores de tolerância totais.

2.4 Teoria das Restrições

Tubino (2000) define gargalo de produção com sendo qualquer ponto no sistema produtivo que limite o fluxo de itens desse sistema.

A Teoria das Restrições afirma que toda organização tem, num certo tempo, pelo menos uma restrição que limita o desempenho do sistema em relação à seus objetivos organizacionais. Cox III e Spencer (2002) garantem ainda que todo sistema tem pelo menos uma restrição e reconhecem que o gerenciamento do recurso limitante tem alta representatividade quando se trata da linha de produção, pois por meio do seu entendimento o gerente pode fazer melhoras significativas no processo como um todo.

De acordo com Santos *et. al.* (2005 *apud* Silva, 2010) o fluxo do sistema pode ser limitado de duas formas: física e política. A primeira refere-se aos aspectos palpáveis como espaço, máquinas, fornecedores, colaboradores, entre outros e a segunda está ligada aos aspectos psicológicos como hábito e normas de procedimentos.

Segundo Tubino (2000 *apud* Silva, 2010) existem 10 princípios básicos que norteiam a implementação da Teoria das Restrições em processos produtivos. São eles:

- I. A taxa de utilização em um recurso não-gargalo não é determinada pela sua capacidade de produção, e sim por alguma outra restrição do sistema.
- II. A ativação e a utilização de um recurso não representam a mesma coisa.
- III. Uma hora perdida em um recurso gargalo é uma hora perdida em todo o sistema.
- IV. Uma hora ganha em um recurso não-gargalo não representa nada.
- V. Os lotes de processamento devem ser variados e não fixos.
- VI. Os lotes de processamento e de transferência não precisam ser iguais.
- VII. Os gargalos governam tanto o fluxo quanto o estoque do sistema.
- VIII. A capacidade do sistema e a programação das ordens devem ser consideradas simultaneamente.
- IX. Balanceie o fluxo e não a capacidade.
- X. A soma dos ótimos locais não é o ótimo global.

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentada a empresa na qual esse trabalho foi realizado, o produto e o sistema em que o mesmo está inserido, assim como o sistema produtivo simulado.

3.1 A Empresa

Especializada na fabricação de metais sanitários, a Metais Leão Sanitários foi fundada em abril de 1.999 na cidade de Loanda, noroeste do estado do Paraná, cidade considerada pólo nacional da torneira. Em um espaço de 22.500 metros quadrados está localizada toda sua estrutura composta por escritório, parte fabril, estacionamento, refeitório e campo para lazer.

Com mais de 300 colaboradores diretos, tem a missão de possuir excelência na fabricação de metais sanitários e garantir a satisfação do cliente. A empresa trabalha com uma gama de aproximadamente 204 produtos distribuídos em 26 grupos e atende todo o território nacional.

É considerada uma empresa de pequeno porte, familiar e apresenta valores baseados em atributos como confiança, ética, trabalho em equipe, comprometimento e transparência. Dessa forma, tornou-se uma organização sólida e competitiva com expectativa de crescimento de 30% ao ano.

3.2 O Produto

O produto em questão é o corpo para torneira que pode ser descrito como uma peça pequena com três entradas: duas roscas externas e uma interna. A última é a entrada do cabeçote, já as demais são para o cano modelo da torneira e a outra para conexão com a parede. Esse produto pode atender diferentes modelos de torneira de acordo com as especificações do cliente. Também pode ser comercializado separadamente.

A Figura 2 mostra uma imagem do produto estudado.



Figura 2: Produto estudado

3.3 O Processo

O processo para a obtenção do produto acabado é composto por 6 (seis) etapas já citadas anteriormente. São elas: macharia, fundição, bateadeira, usinagem, afinação, polimento e cromação, exatamente nessa ordem. Para melhor visualização, a Figura 2 ilustra o fluxograma do processo.

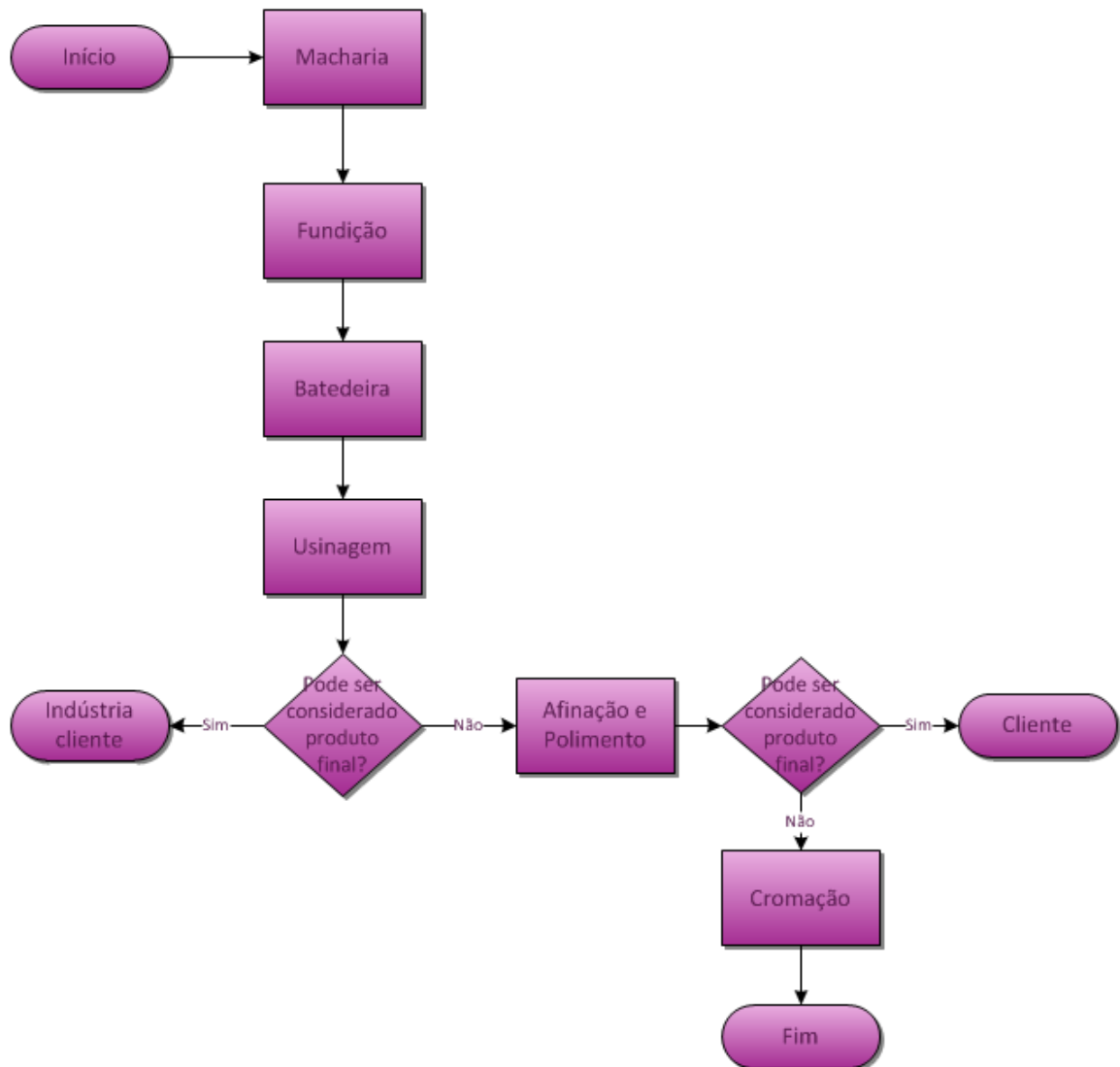


Figura 3: Fluxograma do processo produtivo do corpo estudado

O processo se inicia na macharia, onde o molde à base de areia é feito. Nesse setor uma máquina injetora de areia, chamada de máquina sopro que está ilustrada na Figura 4, modela o macho de acordo com o formato de interesse deixando-o maciço. Para a confecção desse produto, são necessários dois modelos de machos conhecidos como L e Cabo. Os produtos são lixados um a um manualmente e colocados em caixas formando pares.



Figura 4: Máquina sopro

Em seguida, esses moldes são levados para a fundição em uma máquina chamada conquilhadeira automática (Figura 5), onde é encaixado um macho L com um macho Cabo para a inserção do metal derretido. O metal é retirado diretamente do forno através de uma concha e inserido na conquilhadeira automática a aproximadamente 1050°C. Como resultado dessa etapa obtém-se quatro peças que são colocadas em um tambor de capacidade aproximada de 1.100 peças.



Figura 5: Máquina conquilhadeira

Da fundição a peça segue para a bateadeira, máquina responsável pela retirada da areia do interior do corpo e também da rebarba ilustrada na Figura 6. A capacidade desse equipamento é equivalente a um tambor e é carregado manualmente por um operador com o auxílio de uma pá. O tempo em processo que a atividade leva é cronometrado de 2h30min à 3h e precisa

passar por uma inspeção, manual e uma a uma, para assegurar a qualidade. A partir dessa etapa a peça, que pode ser chamada de peça crua, é mandada ao responsável pela usinagem.



Figura 6: Máquina batadeira

A usinagem é terceirizada por uma empresa que foi especialmente criada pela associação de alguns donos de metalúrgica para sanar um gargalo em comum em suas fábricas. Lá, são feitas as roscas necessárias na máquina conhecida como furadeira e a peça crua, feita pela Metais Leão, é direcionada a todas as empresas envolvidas na associação.

A próxima etapa, chamada de afinação e polimento, é necessária para alisar a superfície do metal. Para a afinação são usadas três lixas com espessuras diferentes da mais grossa para a mais fina. Em seguida, a peça é polida com rodas de Brin para que seja retirado qualquer resquício de impureza na superfície do corpo já que esta precisa estar perfeitamente lisa para que a última etapa do processo seja realizada com sucesso.

Finalmente, o produto chega ao setor da cromação. Aqui, as peças são colocadas em ganchos para serem submersas em tanques com os líquidos apropriados, como mostrado na Figura 7, para a reação química que tem como finalidade dar a coloração prateada típica de uma peça de metal. São mais de vinte tanques sequenciados com produtos como água, ácido sulfúrico, níquel e cromo.



Figura 7: Processo da cromação

O corpo da torneira pronto é estocado no pulmão para aguardar o processo de montagem ou ser vendido como produto final.

3.4 Dados do processo

Os dados foram coletados por meio de observação, cronoanálise e padrões já existentes na empresa. Os dados cronometrados foram obtidos em três dias alternados e horários diferentes, somando dez repetições de cada atividade por dia.

A Tabela 1 contém as informações de setup das máquinas envolvidas já estipulados pelos colaboradores da própria empresa.

Tabela 1: Tempos de set up fornecidos pela empresa

Setor/Máquina	Tempo de setup
Macharia	12 min
Fundição*	10 min
Usinagem	1 dia
Afinação e Polimento	1 dia
Batedeira	0
Cromação	10 min

Na fundição devem ser considerados 15 minutos a mais que correspondem ao tempo de parada mais cedo, todos os dias, no final do expediente para manutenção do forno.

Na Tabela 2 estão os tempos medidos por cronoanálise para cada atividade.

Tabela 2: Tempos cronometrados das etapas de fabricação

Medição	Macharia (segundos)		Fundição (segundos)	Batedeira (minutos)	Cromaço (minutos)
	Peça L	Peça cabo			
1	42.33	51.31	36.11	50:42.00	42:17.35
2	35.37	50.33	33.26	49:12.56	40:34.41
3	37.13	53.42	34.46	49:36.42	42:20.33
4	36.37	56.23	36.24	48:35.22	41:34.42
5	36.31	51,47	38.04	49:41.15	41:55.14
6	35.07	53.57	37.24	50:03.52	45:01.05
7	36.38	56.23	34.44	47:35.24	44: 25.10
8	43.02	52.23	36.34	48:51.10	40:58.45
9	36.42	55.44	1:14.03	47:54.32	44:04.42
10	37.41	53.34	32.00	49:45.55	43:53.12
11	42.33	51.31	36.11	49:16.41	42:13.21
12	35.37	50.33	33.26	50:18.13	42:17.35
13	37.13	53.42	34.46	48:26.43	40:34.41
14	36.37	56.23	36.24	48:49.62	42:20.33
15	36.31	51,47	38.04	50:42.00	41:34.42
16	35.07	53.57	37.24	49:12.56	41:55.14
17	36.38	56.23	34.44	49:36.42	45:01.05
18	43.02	52.23	36.34	48:35.22	44: 25.10
19	36.42	55.44	1:14.03	49:41.15	40:58.45
20	37.41	53.34	32.00	50:03.52	44:04.42
21	42.05	53.18	33.45	47:35.24	43:53.12
22	38.43	52.16	35.23	48:51.10	42:13.21
23	36.13	55.36	36.25	47:54.32	42:30.40
24	36.24	54.44	34.46	49:45.55	42:53.23
25	37.08	50.13	37.56	49:16.41	43:46.32
26	41.51	51.67	37.66	50:18.13	40:53.31
27	42.09	50.44	38.33	48:26.43	41:44.50
28	36.55	52.32	33.45	48:49.62	42:33.35
29	40.41	53.16	35.16	48:33.54	43:21.19
30	37.18	54.35	34.45	50:35.55	43:39.85

É importante ressaltar que para cada tempo cronometrado na atividade de macharia e fundição obtém-se quatro produtos. Nota-se também que na atividade de fundição há valores

discrepantes dos demais. Isso se deve a limpeza que é feita em intervalos de tempos pré-determinados.

Na máquina de sopro, usada para fazer os machos, são inseridos seis sacos de areia de 30 kg cada, por dia.

São fundidas aproximadamente 2.200 peças por dia, as quais são colocadas em 2 tambores. Na bateadeira cabe apenas 1 (um) tambor por vez, ou seja, aproximadamente 1.100 peças do corpo estudado e, geralmente, é carregada no final do dia. Como o equipamento é ligado pelo vigia da fábrica em período sem atividade, não foi considerado o tempo de aproximadamente três horas em processo e sim o tempo de carregá-la, descarregá-la e fazer a separação das peças em conformes ou não. Nessa etapa, há um refugo de aproximadamente 4% das peças.

A próxima etapa é mandar a peça para a usinagem. Em épocas de normalidade é enviado apenas 1 (um) tambor por dia e o tempo de espera é de 1 (um) dia para voltar aproximadamente 31% das peças à Leão. As demais peças foram vendidas para as outras empresas da cidade e região.

A afinação e polimento são feitos na mesma empresa terceirizada, localizada dentro do pátio da Metais Leão. Para a entrega de 650 peças é necessário 9 horas de trabalho. Essa é a quantidade média que é usinagem por dia.

Para base de averiguação do modelo matemático, serão consideradas as médias a partir de médias mensais de produção e venda desse produto. Através do histórico da empresa, obteve-se o número de 19.885 peças totais fundidas e 6170 peças acabadas por mês.

3.5 Modelagem

Considerou-se para a modelagem 20 dias de trabalho por mês e 8,8 (oito) horas por dia. Totalizando 240 dias e 2.112 horas por ano. A partir de uma média entre os pedidos mensais foi encontrado o número de peças que a Metais Leão deve fundir por mês para atender toda a demanda.

3.5.1 Tratamento dos dados

Para encontrar as expressões no *Input Analyser* os tempos foram convertidos em segundos e os milésimos foram considerados não representativos. Os valores dos setores da Macharia e Fundição foram divididos por quatro, pois saem quatro peças por vez em cada processo. Os dados encontrados estão para as expressões estão na Tabela 3.

Tabela 3: Tempos cronometrados em segundo

Medição	Macharia		Fundição	Batedeira	Cromaço
	Peça L	Peça Cabo			
1	10,50	12,75	9,00	3042,00	3822,00
2	8,75	12,50	8,25	2952,00	3719,00
3	9,25	13,25	8,50	2976,00	3825,00
4	9,00	14,00	9,00	2915,00	3779,00
5	9,00	12,75	9,50	2981,00	3800,00
6	8,75	13,25	9,25	3003,00	3986,00
7	9,00	14,00	8,50	2855,00	3950,00
8	10,75	13,00	9,00	2931,00	3743,00
9	9,00	13,75	18,50	2874,00	3929,00
10	9,25	13,25	8,00	2985,00	3918,00
11	10,50	12,75	9,00	2956,00	3818,00
12	8,75	12,50	8,25	3018,00	3822,00
13	9,25	13,25	8,50	2906,00	3719,00
14	9,00	14,00	9,00	2926,00	3825,00
15	9,00	12,75	9,50	3042,00	3779,00
16	8,75	13,25	9,25	2952,00	3800,00
17	9,00	14,00	8,50	2976,00	3986,00
18	10,75	13,00	9,00	2915,00	3950,00
19	9,00	13,75	8,50	2981,00	3743,00
20	9,25	13,25	8,00	3003,00	3929,00
21	10,50	13,25	8,25	2855,00	3918,00
22	9,50	13,00	8,75	2931,00	3835,00
23	9,00	13,75	9,00	2874,00	3858,00
24	9,00	13,50	8,50	2985,00	3911,00
25	9,25	12,50	9,25	2956,00	3738,00
26	10,25	12,75	9,25	3018,00	3789,00
27	10,50	12,50	9,50	2906,00	3838,00
28	9,00	13,00	8,25	2929,00	3886,00
29	10,00	13,25	8,75	2913,00	3904,00
30	9,25	13,50	18,50	3035,00	3818,00

Em todos os processos o tempo do operador prevalece em relação ao da máquina, por isso foram feitos os cálculos para encontrar o tempo padrão nas cinco atividades envolvidas.

Para o tratamento dos dados foram usados todos os tempos cronometrados separadamente e uma velocidade de 110% do operador, como explicado na revisão bibliográfica no item 2.3. Através desse tratamento é possível encontrar o tempo padrão, em segundos, de cada uma das operações e suas repetições.

Para o fator de tolerância (FT) foi considerado 20 minutos para todos os funcionários no quesito necessidades pessoais, acarretando em uma perda de 3,8 % dos 528 minutos de tempo produtivo. Para a fadiga considerou-se 20% nos processos de macharia e bateadeira, 30% para fundição e 10% para cromação devido aos esforços referentes a cada tarefa. As paradas gerais totalizaram 30 minutos para todos os funcionários, acarretando em uma perda de 5,7 % dos 528 minutos de tempo produtivo. Logo, foi encontrado o tempo padrão (TP) para cada tempo cronometrado. Os cálculos de um item seguem abaixo para exemplificar:

- Macho tipo L

$$TC = 10,50 \text{ segundos}$$

De TC, chegou-se ao valor TN.

$$TN = 11,55 \text{ segundos}$$

Agora, foi encontrado TP.

$$TP = TN * FT$$

$$TP = 11,55 * (1 + 0,038 + 0,20 + 0,057)$$

$$TP = 14,95725 \text{ segundos}$$

O mesmo raciocínio foi seguido para os demais processos e seus valores compõem a Tabela 4. Nessa tabela os tempos discrepantes da fundição foram distribuídos aos demais. É a partir desta, que o tratamento dos dados teve sequencia no *Input Analyser* (citado no Item 2.1).

Tabela 4: Tratamento dos dados cronometrados em segundos

Medição	Macharia		Fundição	Batedeira	Cromaço
	Peça L	Peça Cabo			
1	14,96	18,16	14,84	4333,33	5024,02
2	12,46	17,81	13,67	4205,12	4888,63
3	13,18	18,87	14,07	4239,31	5027,96
4	12,82	19,94	14,84	4152,42	4967,50
5	12,82	18,16	15,22	4246,43	4995,10
6	12,46	18,87	14,07	4277,77	5239,60
7	12,82	19,94	14,84	4066,95	5192,28
8	15,31	18,52	14,03	4175,21	4920,17
9	12,82	19,59	13,31	4094,01	5164,67
10	13,18	18,87	14,84	4252,13	5150,21
11	14,96	18,16	13,67	4210,82	5018,76
12	12,46	17,81	14,07	4299,14	5024,02
13	13,18	18,87	14,84	4139,60	4888,63
14	12,82	19,94	15,61	4168,09	5027,96
15	12,82	18,16	15,22	4333,33	4967,50
16	12,46	18,87	14,07	4205,12	4995,10
17	12,82	19,94	14,84	4239,31	5239,60
18	15,31	18,52	14,07	4152,42	5192,28
19	12,82	19,59	13,31	4246,43	4920,17
20	13,18	18,87	13,67	4277,77	5164,67
21	14,96	18,87	14,46	4066,95	5150,21
22	13,53	18,52	14,84	4175,21	5041,11
23	12,82	19,59	14,07	4094,01	5071,34
24	12,82	19,23	15,22	4252,13	5141,01
25	13,18	17,81	15,22	4210,82	4913,60
26	14,60	18,16	15,61	4299,14	4980,64
27	14,96	17,81	13,67	4139,60	5045,05
28	12,82	18,52	14,46	4172,36	5108,15
29	14,24	18,87	14,46	4149,57	5131,81
30	13,18	19,23	14,03	4323,36	5018,76

As expressões fornecidas pelo *Input Analyser* juntamente com seus erros estão na Tabela 5.

Tabela 5: Expressões e erro quadrado para cada atividade

Atividade	Expressão	Erro Quadrado
Confecção do macho L	$12.2 + \text{EXPO}(1.26)$	0.049828
Confecção do macho Cabo	$17.6 + \text{GAMM}(0.495, 2.45)$	0,30858
Fundição	$13.1 + 2.76 * \text{BETA}(1.7, 1.76)$	0.077648
Batedeira	$4.07\text{e}+003+268*\text{BETA}(1.08, 0.981)$	0,009231
Cromação	$4.89\text{e}+003+\text{WEIB}(175,1.29)$	0,0444422

3.6 Simulação

Para a criação da lógica de programação foram utilizados todos os processos existentes e seus respectivos tempos para a fabricação do produto. Também foram considerados os tempos de setup das máquinas/operadores e os prazos de entrega estabelecidos pelas empresas terceirizadas que estão na Tabela 1. O fluxograma representado pela Figura 2, foi a base para o fluxo criado no software Arena e as considerações feitas no item 3.4 continuaram relevantes.

Os módulos usados na simulação serão descritos na sequencia para facilitar o entendimento do método de construção do ambiente industrial ilustrado nas Figuras 3 e 4.

4 October, 2012

00:00:00

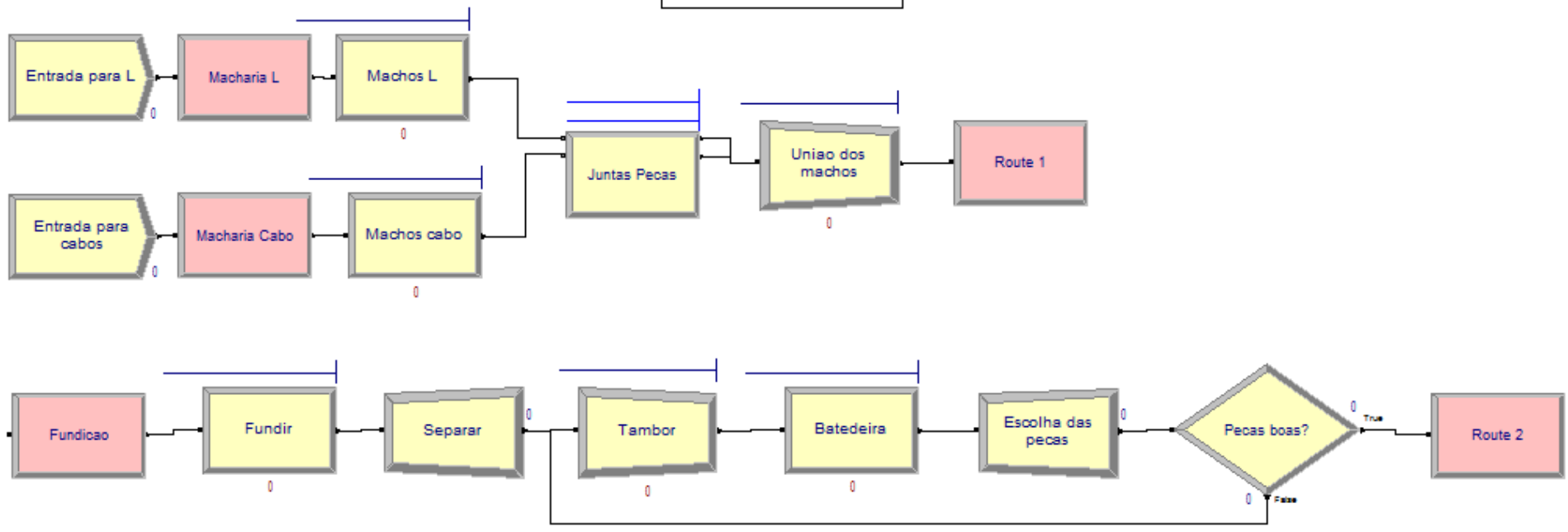


Figura 8: Primeira parte da lógica de simulação que representa o cenário estudado

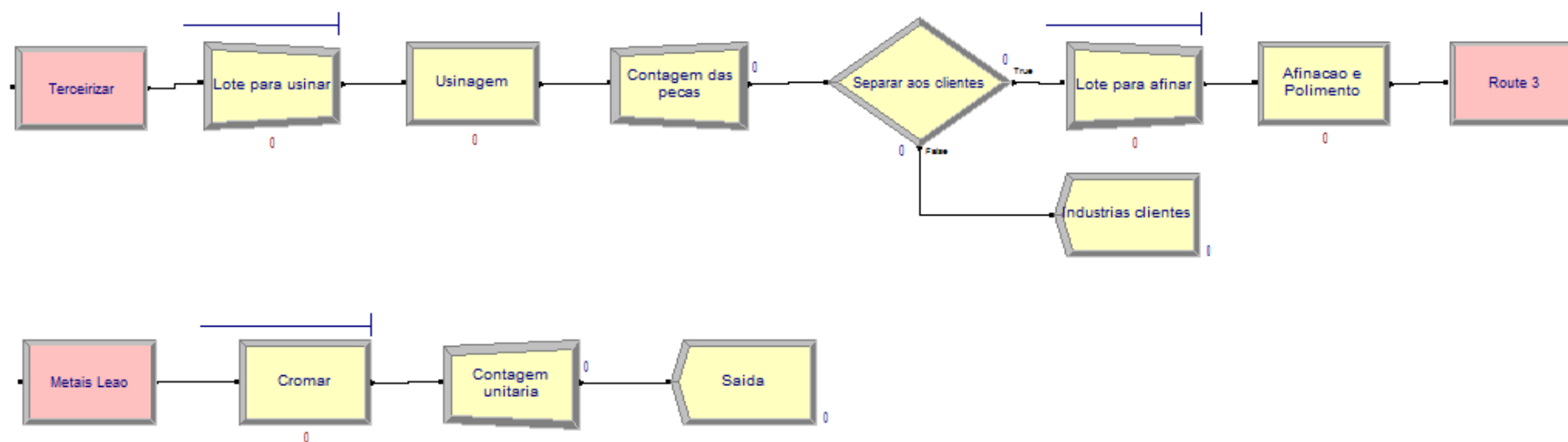


Figura 9: Segunda parte da lógica de simulação que representa o cenário estudado

Para dar início a criação da lógica, foram usados dois módulos *Create* os quais foram configurados de acordo com as entradas do processo. Cada entrada representa uma estrutura de areia maciça que unidas, uma de cada, através de um *Match* formam o molde da peça estudada. A Figura 4 e a Figura 5 mostram um exemplo dos módulos citados e suas configurações para o modelo.

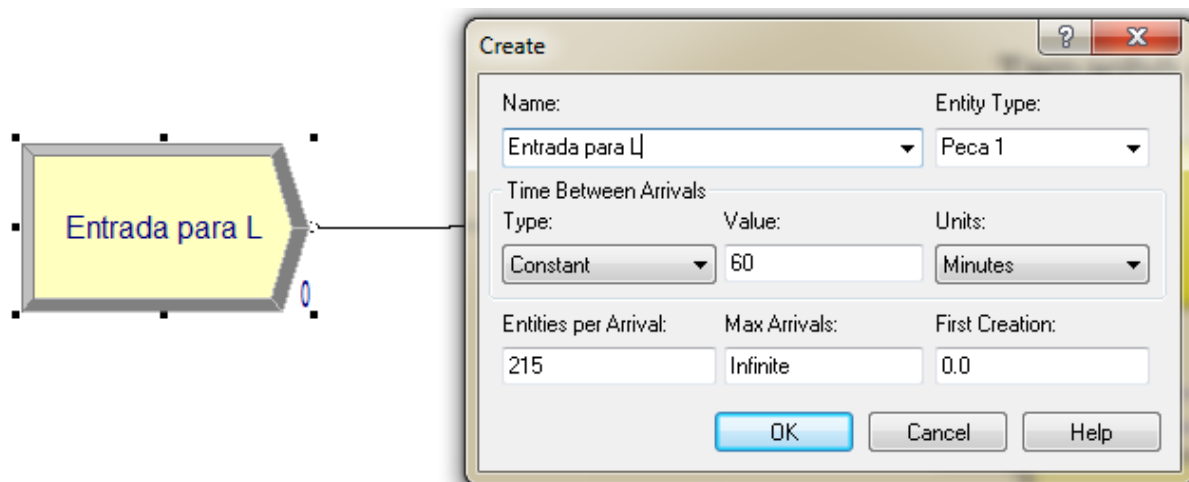


Figura 10: Exemplo de um *Create* usado para na construção da lógica do sistema simulado

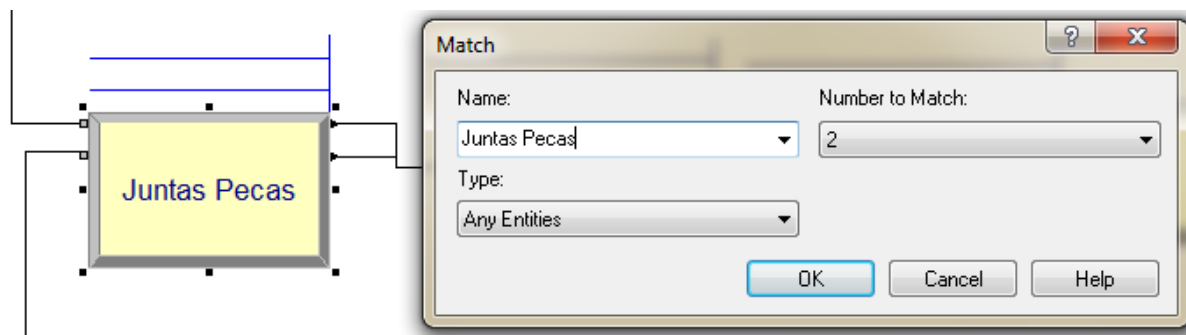


Figura 11: Exemplo de um *Match* usado na construção da lógica do sistema simulado

Para formar os lotes de produção foi usado o módulo *Batch*, pois as peças apenas seguem no processo após um determinado número de peças. Em seguida tem-se o *Process*, módulo específico para representar um processo. Nesse caso as atividades chaves para a fabricação do corpo puderam ser consideradas do tipo *Seize Delay Release*, quando a peça/lote chega, ocupa a máquina e só após terminar o processo os recursos do processo em questão foram liberados,

ou do tipo *Delay*, quando é apenas uma espera como no caso de terceirização. Imagens para os módulos citados nesse parágrafo estão nas Figuras 6 e 7.

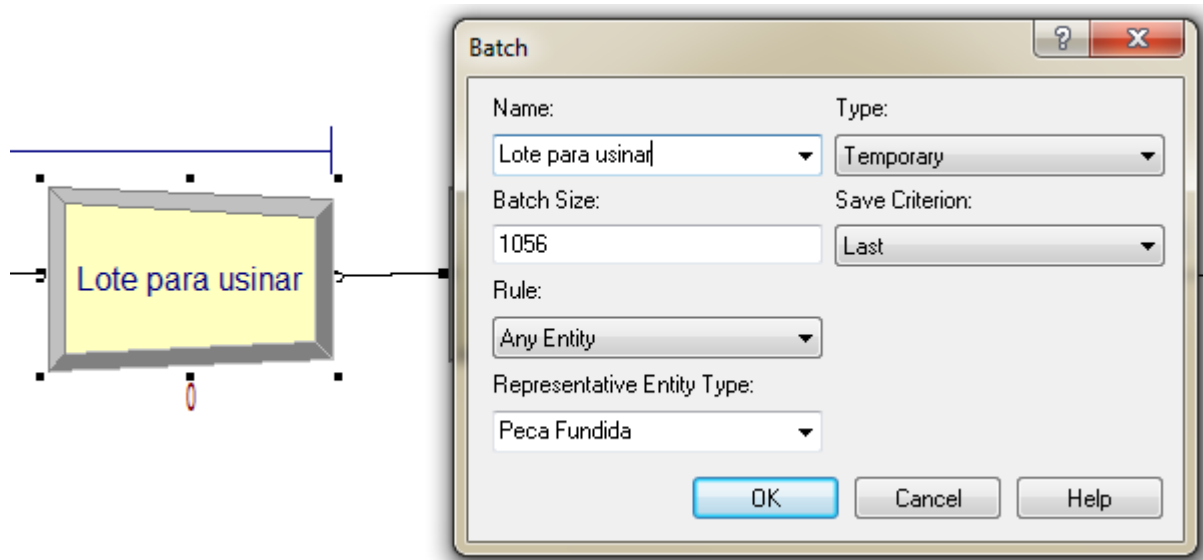


Figura 12: Exemplo de um *Batch* usado na construção da lógica do sistema simulado

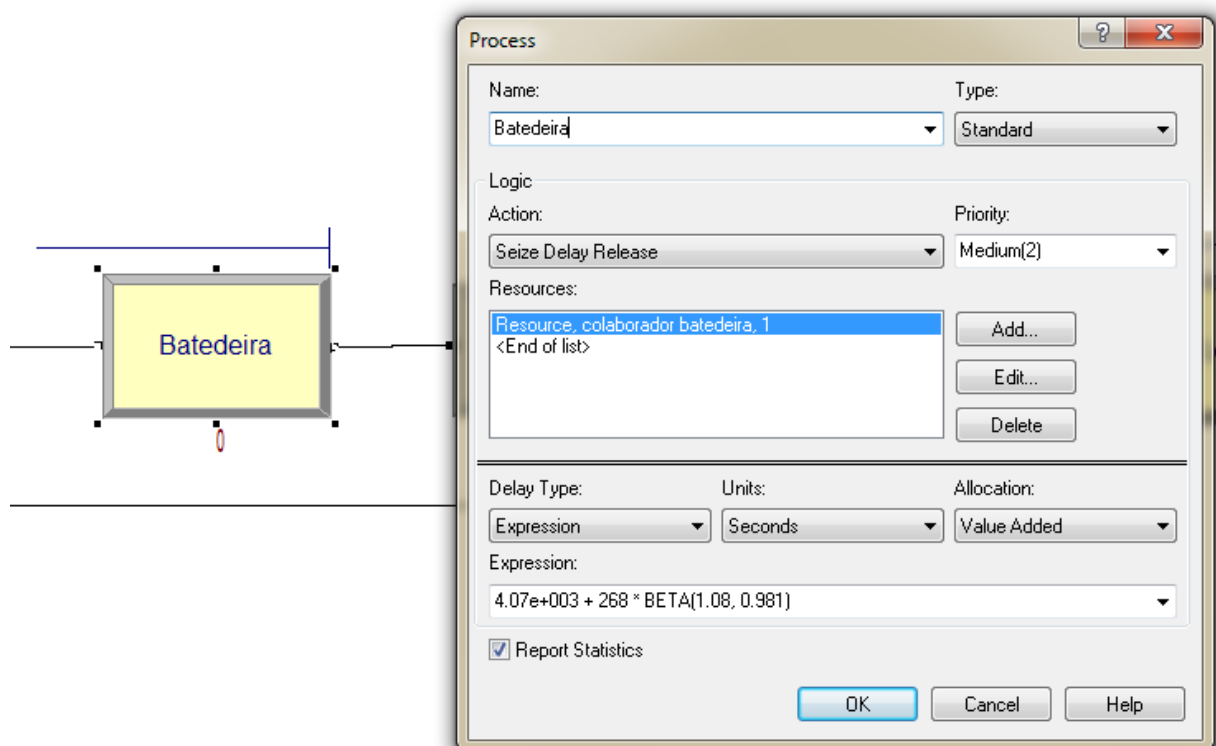


Figura 13: Exemplo de um *Process* usado na construção da lógica do sistema simulado

O módulo *Separate* foi usado nas vezes em que foi necessário separar os lotes para contar as peças uma a uma, pois os tamanhos de lotes não são constantes em todo o processo produtivo. Já o *Decide* apareceu em um momento de inspeção. Esse último módulo pode ser usado porque o tempo de avaliar a qualidade da peça está incluso na atividade bateadeira. As ilustrações dos módulos *Separate* e *Decide* estão nas Figuras 8 e 9 respectivamente.

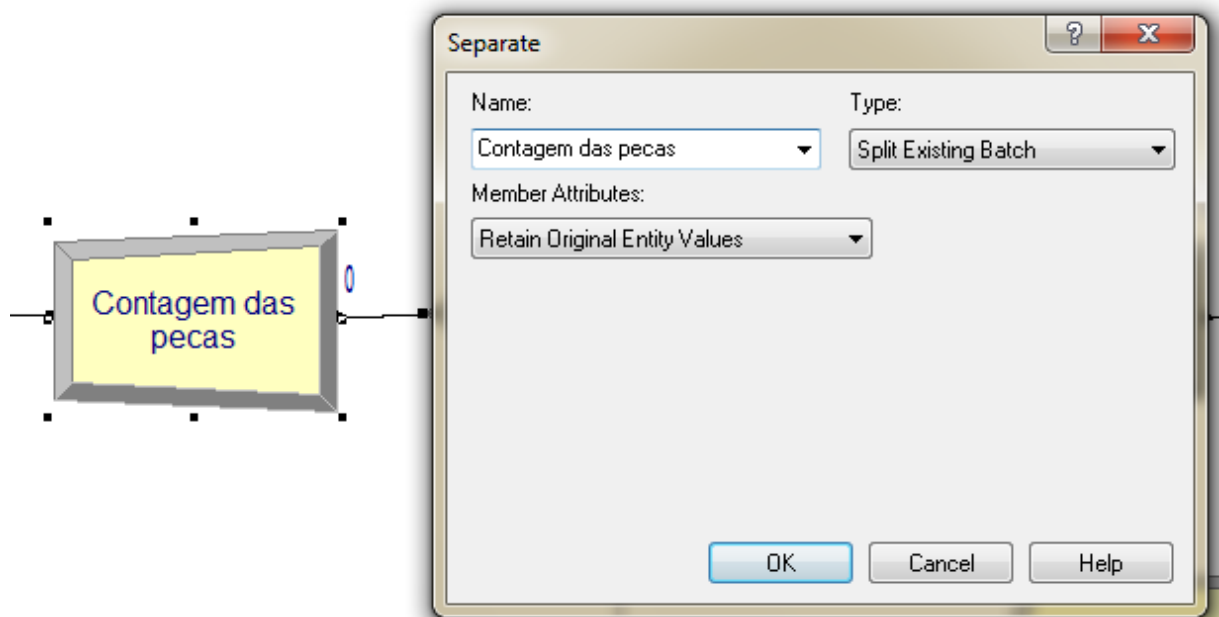


Figura 14: Exemplo de um *Separate* usado na construção da lógica do sistema simulado

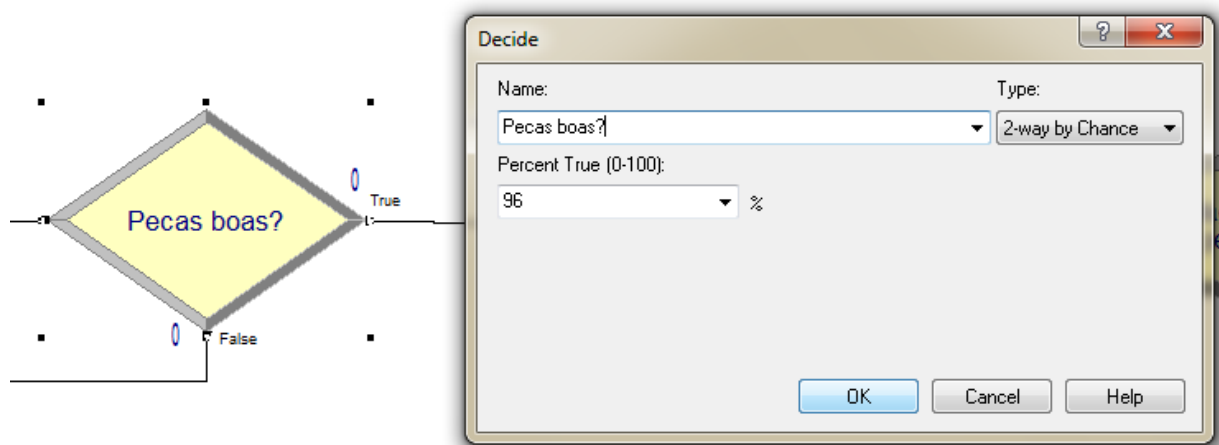


Figura 15: Exemplo de um *Decide* usado na construção da lógica do sistema simulado

Para finalizar a linha de produção, foram usados dois *Dispose* com a finalidade de representar os dois meios de saída do produto e suas respectivas quantidades. Um exemplo de como aparece na tela do Arena está ilustrado na Figura 10.

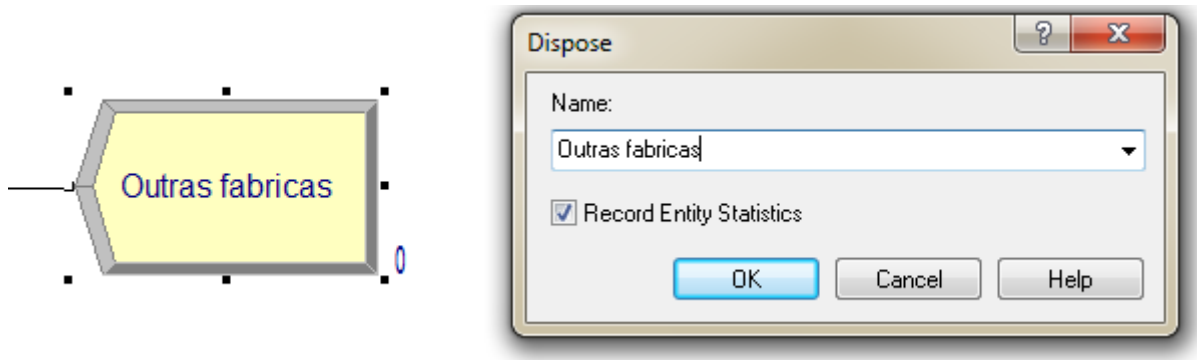


Figura 16: Exemplo de um *Dispose* usado na construção da lógica do sistema simulado

3.7 Resultados e análises

O produto analisado está entre os produtos mais comercializados em volume pela empresa com cerca de 20.000 peças ao mês. Esse fato se deve pelo componente estar entre os produtos inclusos na associação de algumas empresas de metal existentes na cidade, que consiste em fundir uma determinada peça em apenas uma empresa e distribuí-la, ainda crua, às demais para ganharem em volume. Logo, o produto em questão pode ser comercializado em diferentes etapas do processo produtivo como, por exemplo, fazendo parte da montagem de diferentes tipos de torneiras, comercializado separadamente para reposição e ainda como peça crua para outras fábricas associadas.

As expressões de tempo usadas em cada módulo de processamento na simulação foram as distribuições proposta pelo *Input Analyser*. Com o intuito de localizar os gargalos, otimizar a produção, reduzir o tempo e o estoque em processo a fim identificar a capacidade máxima da fábrica visando sua alta expectativa de crescimento a pequeno e médio prazo, foi simulado o tempo de produção para cumprir a demanda/mês.

O tempo simulado foi de 20 dias.

3.7.1 Simulação do modelo existente

Nesse primeiro cenário é exposta a realidade da unidade fabril na produção do corpo da torneira. Pelo software Arena pode-se notar que a maior fila em processo acontece no setor da macharia, principalmente na atividade de juntar as peças em pares. Tal atividade, com uma máquina e um funcionário para cada peça (L e Cabo), chegou a gerar uma fila de mais de 6.000 peças de L com um tamanho médio de 3.029 produtos, crescente a cada minuto com uma velocidade constante. O segundo maior tempo de espera está localizado na atividade de montar o lote para afinar com uma média de 136,36 minutos para terminar o processo e enviar um número médio de 228 peças de volta a empresa (Apêndice 2).

Nessas condições o número médio de peças que saem do processo é de 25.157 em 20 dias com uma diferença bastante discrepante na utilização dos recursos. Pelo relatório de uso que está no Apêndice 3, notou-se que o setor da fundição é o que apresenta a menor taxa de utilização ocupando apenas 0,52% da capacidade. Os demais setores, com exceção da macharia, também não apresentam uma utilização muito efetiva. Contudo, na macharia percebeu-se a maior taxa de utilização com um número muito próximo dos 100% de sua capacidade. Ainda pelo mesmo relatório, percebeu-se que a utilização dos recursos destinados a peça L é mais efetiva do que a destinadas a produção da peça Cabo, provável motivo da formação da grande fila formada por essas peças.

Pelo relatório de tempo, Apêndice 2, o tempo das peças L em espera na fila de 'Juntar Peças' é de 40.903,55 segundos equivalente a 681,73 minutos. O segundo maior tempo está na atividade de formar o lote para afinar onde as peças esperam 8.181,64 segundos (136,36 minutos). Em destaque também estão a tempo de fila na Batedeira e em Juntar Peças Cabo que não esperam nada.

Essas informações apontaram que são necessários 10 dias para a produção de 6.930 produtos acabados pela empresa, equivalentes a 2.127,7 peças ao dia produtivo.

3.7.2 Cenários Analisados

Foram analisadas três possíveis alterações para então ser proposta a mudança mais viável. A primeira consistiu em inserir uma máquina de sopro a mais para a produção de peças Cabo juntamente com um funcionário para operá-la. A segunda foi parar 45 minutos por dia da produção de peças L. Já a terceira foi trabalhar com apenas 80% da entrada atual que equivale a uma entrada de 215 peças.

Segue na Tabela 6 o resumo das alterações analisadas.

Tabela 6: Comparação entre os cenários analisados

Item analisado	Cenário Existente	Alteração 1	Alteração 2	Alteração 3
Fila no Juntar peças	3029 (L)	3675 (Cabos)	2701 (L)	909,63 (L)
	40903,55 seg.	34703,66 seg.	36522,44 seg.	15270,48 seg.
Saída produto acabado/dia	2127,7 peças	2933,7 peças	2385,78 peças	2365,22 peças

Brevemente nota-se que mesmo sendo a primeira alteração a de maior produtividade, pois resulta em um aumento de 37,88% da produção, a mudança escolhida para ser proposta pela empresa foi a de número 3, porque é ela que atende duas melhorias simultaneamente no processo produtivo que são aumento da produtividade e diminuição do tamanho das filas. No próximo tópico foram descritos mais detalhadamente os resultados obtidos.

3.7.3 *Cenário Proposto*

A alteração proposta foi a redução da entrada de matéria-prima ao valor equivalente a 80% da quantidade usada atualmente na produção das peças L, número que equivale a 215 peças, aproximadamente quatro sacos de areia. Com essa alteração, o tempo em espera das peças L na atividade ‘Juntar Peças’ diminuiu 25.633,07 segundos, ou seja, aproximadamente 427,22 minutos.

O tempo de espera das peças Cabo nessa mesma atividade se manteve em 0, ou seja, não formou fila. Pelo relatório que está no Apêndice 6, o valor médio de peças L na fila caiu para 909 produtos, número esse bem menor do que o anterior de 3029.

Mesmo que o setor da fundição não tenha aumentado sua taxa de utilização, o relatório de uso que está no Apêndice 7 apontou que esse setor continuou sendo o de menor taxa de utilização ocupando os mesmos 0,52% da capacidade, os demais setores, com exceção da macharia, também continuaram apresentando a mesma taxa de utilização sem atingir muito mais que os 40% da bateadeira. A macharia continuou sendo a maior taxa de utilização com um número muito próximo dos 100% de sua capacidade na produção das peças Cabo. Ainda pelo mesmo relatório, percebeu-se que o número de peças em uso nos recursos destinados a peça L diminuiu 27,43% e o número de peças em uso nos recursos destinado a produção da peça Cabo também teve uma leve queda de 9,9%.

Dessa forma foram produzidas 21.287 peças no período, o que equivale a 2.365,22 peças/dia, ou seja, com essa alteração a capacidade da fábrica aumentou em 11,16%. Logo, foi cumprido o objetivo proposto pelo presente trabalho de minimizar os estoques em processos, e ainda houve um aumento da produtividade com a localização dos gargalos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo discute as contribuições, as dificuldades e limitações, os resultados encontrados, bem como os trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos a fim de otimizar a produção.

4.1 Contribuições

A simulação dinâmica do processo produtivo de um componente de alto volume interno na empresa Metais Leão contribuiu principalmente para que os gestores tivessem uma melhor visualização da capacidade produtiva real que a empresa apresenta com os recursos que dispõem atualmente.

O tempo despendido em cada atividade passou a ser conhecido com melhor precisão e trouxe a certeza, em números, da suficiência dos recursos que a indústria apresenta para atual demanda do produto mais comercializado. Esse trabalho contribuiu também para ampliar a visão dos gestores no sentido de que não é obrigatória a relação diretamente proporcional entre o aumento da produtividade e o aumento de colaboradores e sim, que existem inúmeras outras possibilidades a serem testadas antes de tomar uma decisão para esse fim.

4.2 Dificuldades e limitações

Por se tratar de uma empresa de pequeno porte, localizada em uma cidade pequena, com alto crescimento anual, não dispõem de muitos números de acompanhamento da produção. As informações encontram-se espalhadas e a falta de precisão das informações cedidas foi a maior dificuldade para a realização do trabalho.

A falta de padronização das atividades também trouxe complicação no desenvolvimento das etapas da metodologia referentes a descrição das atividades e cronoanálise. Outro empecilho foi o levantamento de possíveis melhorias, pois eram necessárias que tais fossem viáveis e de fácil implantação para que o trabalho surtisse o efeito desejado e fosse considerado útil a organização.

4.3 Resultados encontrados

Por meio do presente trabalho foi possível visualizar a possibilidade de encontrar as atividades restritivas do processo produtivo de qualquer linha de produção sem necessariamente estar o tempo todo junto ao chão de fábrica e sem fazer mudanças físicas a fim de testar as possibilidades. Dessa forma, foi possível perceber a grande utilidade de um recurso computacional para a atividade gerencial, economizando tempo, recursos, dinheiro e desgastes pessoais para a tomada de decisão.

O primeiro cenário modelado seguiu fielmente o jeito que a produção acontece atualmente na empresa. E o cenário proposto foi escolhido por apresentar melhores resultados após algumas tentativas de mudança. A Tabela 7 resume os valores encontrados no processo gargalo:

Tabela 7: Tabela comparativa dos valores encontrados

Item analisado	Cen. Existente	Cen. Proposto	Variações
Fila no Juntar peças	3029 unidades	909 unidades	-2.120 unidades
	40903,55 segundos	15270,48 segundos	-25632,52 segundos
Saída produto acabado	2.127,7 peças/dia	2.365,22 peças/dia	+237.5 peças
	9 dias	9 dias	0

Nota-se que com a pequena alteração feita, foi possível diminuir tanto o número de unidades na fila de estoque intermediário como o fluxo tornou-se mais rápido sendo possível aumentar a produção em 237 peças ao dia, ou seja, acréscimo de 11%.

4.4 Trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros na organização pode-se apontar:

- Mapeamento de todos os processos com a finalidade de deixá-los claro a qualquer colaborador e eliminar as atividades que não agregam valor.
- Reestruturação de layout para o fluxo ser alinhado e eliminar as movimentações desnecessárias.

- Padronização das atividades voltada para que o planejamento da produção tenha melhor precisão na hora de direcionar a produção e o período necessário.

5. REFERÊNCIAS

BARROS, M. de O. **Gerenciamento de Projetos Baseado em Cenários: uma Abordagem de Modelagem Dinâmica e Simulação**. 2001. Tese – Programa de Engenharia de Sistemas e Computação COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

COX III, J. F., SPENCER, M. S. **Manual da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

FREITAS, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**. Visual Books, 2001.

MARTINS, P. G., LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. São Paulo, Editora Saraiva, 2005.

METAIS LEÃO, **Sobre Metais Leão Sanitários**. Disponível em: <<http://www.metaisleao.com.br/empresa.php>> Acessado em 20/07/2012.

PARAGON, **Software de Simulação Arena**. Disponível em: <http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?apresentacao_content_ct_1685_2139_.aspx> Acessado em 20/08/2012.

PARAGON TECNOLOGIA, **Treinamento Introdutório de Simulação com Arena**. São Paulo, Rockwell Software Copyright, 2000.

PORTAL LOANDA, **Sobre Loanda**. Disponível em: <<http://www.portalloanda.com.br/site/sobreloanda.php>> Acessado em 20/07/2012.

PRADO, D. S. do. **Usando o Arena em Simulação**. 2º Ed. Belo Horizonte: INGD Tecnologia e Serviços Ltda, 2004. Vol. 3.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 2º Ed. São Paulo: Atlas S. A., 2000.

SILVA, M. F. W. **Simulação Dinâmica para Identificação e Análise de Restrições Produtivas**. 2010. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Produção – Universidade Estadual de Maringá.

VOLPATO, F. B. **Mapeamento de Processos: Um Estudo de Caso em uma Indústria de Produção de Fios Singelos**. 2010. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Produção – Universidade Estadual de Maringá.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: Número total de peças na saída do processo no cenário existente apresentado pelo Arena (em unidades)

APÊNDICE 2: Tabelas de tempo em espera nas filas das atividades no cenário existente apontado pelo Arena (em segundos e em unidades respectivamente)

APÊNDICE 3: Tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário existente

APÊNDICE 4: Continuação das tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário existente

APÊNDICE 5: Número total de peças na saída do processo no cenário proposto apresentado pelo Arena (em unidades)

APÊNDICE 6: Tabelas de tempo em espera nas filas das atividades no cenário proposto apontado pelo Arena (em segundos e em unidades respectivamente)

APÊNDICE 7: Tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário proposto

APÊNDICE 8: Continuação das tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário proposto

APÊNDICE 3: Número total de peças na saída do processo no cenário existente apresentado pelo Arena (em unidades)

Corpo 1168

Replications: 1

Time Units: Seconds

Key Performance Indicators

System

Number Out

Average

25,157

APÊNDICE 4: Tabelas de tempo em espera nas filas das atividades no cenário existente apontado pelo Arena (em segundos e em unidades respectivamente)

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Batedeira.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Cromar.Queue	721.44	(Insufficient)	0.00	5056.58
Fundicao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Juntas Pecas.Queue1	40903.55	(Correlated)	5.7739	81722.75
Juntas Pecas.Queue2	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Lote para afinar.Queue	8181.64	1548,420	0.00	19748.72
Lote para usinar.Queue	5576.93	(Correlated)	0.00	19748.72
Machos cabo.Queue	3049.61	(Correlated)	720.00	5408.32
Machos L.Queue	2840.76	(Correlated)	679.20	5020.47
Tambor.Queue	5055.57	263,625	0.00	11186.64
Uniao dos machos.Queue	1383.55	(Correlated)	0.00	2792.20

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Batedeira.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Cromar.Queue	0.05260496	(Insufficient)	0.00	1.0000
Fundicao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Juntas Pecas.Queue1	3029.07	(Correlated)	0.00	6070.00
Juntas Pecas.Queue2	0.00	(Insufficient)	0.00	1.0000
Lote para afinar.Queue	228.24	(Insufficient)	0.00	330.00
Lote para usinar.Queue	572.65	(Insufficient)	0.00	1056.00
Machos cabo.Queue	162.83	(Correlated)	0.00	289.00
Machos L.Queue	211.76	(Correlated)	0.00	376.00
Tambor.Queue	550.09	(Insufficient)	0.00	1100.00
Uniao dos machos.Queue	146.49	(Correlated)	0.00	296.00

APÊNDICE 3: Tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário existente

Resource

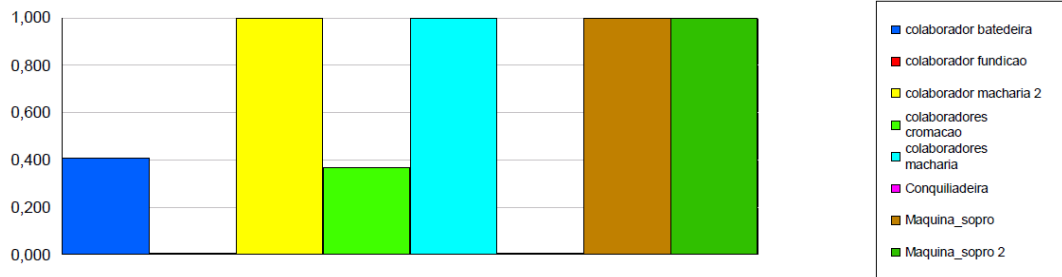
Usage

Instantaneous Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
colaborador bateadeira	0.4077	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador fundicao	0.00519688	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador macharia 2	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores cromacao	0.3661	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores macharia	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conquiliadeira	0.00519688	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro 2	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000

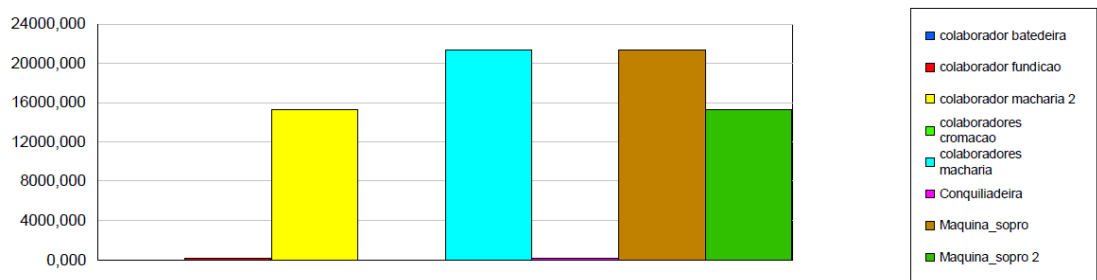
Number Busy				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
colaborador bateadeira	0.4077	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador fundicao	0.00519688	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador macharia 2	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores cromacao	0.3661	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores macharia	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conquiliadeira	0.00519688	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro 2	0.9975	(Insufficient)	0.00	1.0000

APÊDICE 4: Continuação das tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário existente

Scheduled Utilization	Value
colaborador bateadeira	0.4077
colaborador fundicao	0.00519688
colaborador macharia 2	0.9975
colaboradores cromacao	0.3668
colaboradores macharia	0.9975
Conquiliadeira	0.00520773
Maquina_sopro	1.0000
Maquina_sopro 2	1.0000



Total Number Seized	Value
colaborador bateadeira	28.0000
colaborador fundicao	103.00
colaborador macharia 2	15263.00
colaboradores cromacao	21.0000
colaboradores macharia	21332.00
Conquiliadeira	103.00
Maquina_sopro	21332.00
Maquina_sopro 2	15263.00



APÊNDICE 5: Número total de peças na saída do processo no cenário proposto apresentado pelo Arena (em unidades)

Corpo 1168

Replications: 1 Time Units: Seconds

Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	21,287

APÊNDICE 6: Tabelas de tempo em espera nas filas das atividades no cenário proposto apontado pelo Arena (em segundos e em unidades respectivamente)

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Batedeira.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Cromar.Queue	271.30	(Insufficient)	0.00	5154.65
Fundicao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Juntas Pecas.Queue1	15270.48	(Correlated)	5.7739	29787.25
Juntas Pecas.Queue2	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Lote para afinar.Queue	8394.56	1571,539	0.00	22315.12
Lote para usar.Queue	7526.37	(Correlated)	0.00	22315.12
Machos cabo.Queue	4260.84	(Correlated)	720.00	7769.46
Machos L.Queue	1449.21	(Correlated)	0.00	3605.61
Tambor.Queue	4868.67	248,415	0.00	11174.35
Uniao dos machos.Queue	1382.35	(Correlated)	0.00	2785.53

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Batedeira.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Cromar.Queue	0.01988677	(Insufficient)	0.00	1.0000
Fundicao.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Juntas Pecas.Queue1	909.63	(Correlated)	0.00	1777.00
Juntas Pecas.Queue2	0.00	(Insufficient)	0.00	1.0000
Lote para afinar.Queue	218.58	(Insufficient)	0.00	330.00
Lote para usar.Queue	766.66	(Insufficient)	0.00	1056.00
Machos cabo.Queue	229.49	(Correlated)	0.00	421.00
Machos L.Queue	86.5558	3,06503	0.00	216.00
Tambor.Queue	531.61	(Insufficient)	0.00	1100.00
Uniao dos machos.Queue	146.35	(Correlated)	0.00	296.00

APÊNDICE 7: Tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário proposto

Resource

Usage

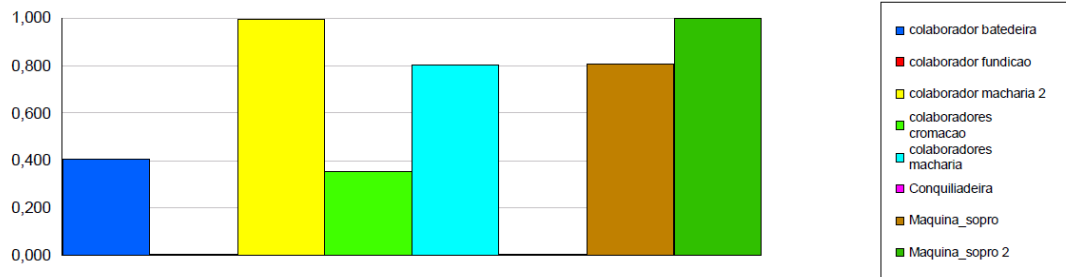
Instantaneous Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
colaborador bateadeira	0.4060	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador fundicao	0.00515954	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador macharia 2	0.9972	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores cromacao	0.3549	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores macharia	0.8035	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conquiliadeira	0.00515954	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro	0.8035	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro 2	0.9972	(Insufficient)	0.00	1.0000

Number Busy				
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
colaborador bateadeira	0.4060	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador fundicao	0.00515954	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaborador macharia 2	0.9972	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores cromacao	0.3549	(Insufficient)	0.00	1.0000
colaboradores macharia	0.8035	(Insufficient)	0.00	1.0000
Conquiliadeira	0.00515954	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro	0.8035	(Insufficient)	0.00	1.0000
Maquina_sopro 2	0.9972	(Insufficient)	0.00	1.0000

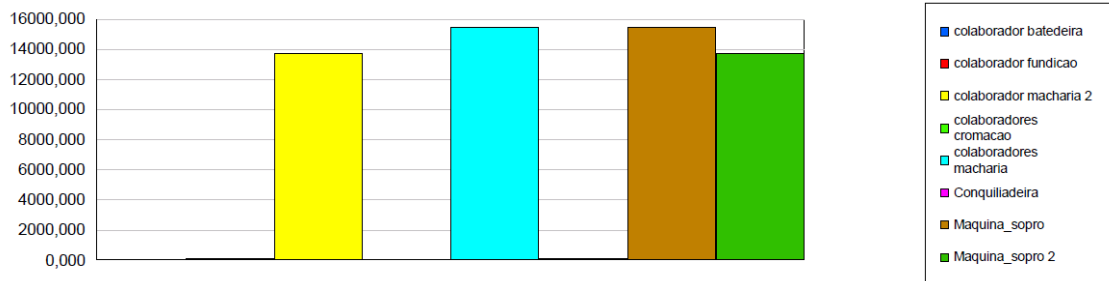
APÊDICE 8: Continuação das tabelas apresentadas pelo Arena para mostrar a utilização dos recursos no cenário proposto

Usage

Scheduled Utilization	Value
colaborador bateadeira	0.4060
colaborador fundicao	0.00515954
colaborador macharia 2	0.9972
colaboradores cromacao	0.3557
colaboradores macharia	0.8035
Conquiliadeira	0.00517151
Maquina_sopro	0.8057
Maquina_sopro 2	1.0000



Total Number Seized	Value
colaborador bateadeira	25.0000
colaborador fundicao	92.0000
colaborador macharia 2	13741.00
colaboradores cromacao	19.0000
colaboradores macharia	15481.00
Conquiliadeira	92.0000
Maquina_sopro	15481.00
Maquina_sopro 2	13741.00



GLOSSÁRIO

Gargalo	Uma instalação, função, departamento ou recurso cuja capacidade é inferior à demanda a ele solicitada. É como se fosse um funil, em que há uma estreita passagem, ocasionando espera de algum material (Martins e Laugeni, 2005).
Layout	Termo em inglês que significa desenho da distribuição física dos equipamentos, estoques, escritórios, entre outros (Martins e Laugeni, 2005).
Processo	é uma ordenação específica de atividades desenvolvidas no tempo e no espaço em uma sequência lógica com um começo, um fim, <i>inputs</i> e <i>outputs</i> claramente identificados (Davenport <i>apud</i> Volpato, 2010).
Input	Termo em inglês usado para definir todas as entradas do sistema.
Output	Termo em inglês usado para falar sobre todas as saídas do sistema.
Rebarba	Excesso de metal fundido. É mais fino do que a peça e localizado fora da delimitação do produto.
Chão de fábrica	Termo usado para indicar o lugar onde a produção ocorre, ou seja, lugar onde estão as máquinas, colaboradores e linha de produção.
Cabeçote	Componente da torneira responsável pela abertura e fechamento do fluxo de água.