

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

**Análise da Aplicação dos Conceitos da Mentalidade Enxuta
com Apoio da Simulação de Eventos Discretos**

Felipe Menechini Rocha

TCC-EP-28-2012

Maringá - Paraná
Brasil

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

**Análise da Aplicação dos Conceitos da Mentalidade Enxuta
com Apoio da Simulação de Eventos Discretos**

Felipe Menechini Rocha

TCC-EP-28-2012

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 M.^a Gislaine Camila Lapasini Leal

**Maringá - Paraná
2012**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus.

Agradeço aos meus pais, que me deram liberdade para sonhar e apoio para poder realizar meus sonhos.

Agradeço aos meus amigos, que sempre me mostraram como as coisas poderiam ser mais engraçadas e fáceis.

Agradeço minha orientadora por não me deixar desistir, frente a dificuldades.

Agradeço a minha irmã por ser, para mim, sempre um exemplo.

RESUMO

O trabalho busca, por meio da simulação de eventos discretos, analisar os efeitos da utilização dos conceitos da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) em um sistema produtivo. Para tanto, o estudo se baseou em um sistema produtivo real. Foram coletados dados referentes aos processos de produção de balanças (componente automotivo utilizado em caminhões) de uma indústria metal mecânica de Maringá, PR.

A partir dos dados coletados, foi desenvolvido um modelo de simulação do sistema utilizando o ambiente Arena, e então algumas alternativas enxutas foram simuladas e tiveram seus resultados comparados aos do modelo original.

O que se concluiu foi que: a partir da redução do lote padrão (de 60 unidades) para 30 unidades, obteve-se uma redução de 33% do *lead-time* mínimo de produção; com a redução dos tempos de *setup* pela metade, houve uma redução de 38% nos *lead-times* de produção. No entanto as melhoras são perceptíveis somente quando há a integração dos fatores que contribuem para a mentalidade enxuta, como otimização dos fluxos e utilização de células de produção.

Palavras-chave: *Lean*; Mentalidade Enxuta; Simulação; Arena;

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	3
1.2 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.4 METODOLOGIA.....	6
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	9
2.1 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	9
2.2 MENTALIDADE ENXUTA	11
2.2.1 <i>Desperdício</i>	13
2.2.2 <i>Princípios enxutos</i>	14
2.2.2.1 Valor.....	15
2.2.2.2 Fluxo de valor.....	16
2.2.2.3 Fluxo	17
2.2.2.4 Puxar	18
2.2.2.5 Perfeição.....	18
2.2.3 <i>A Casa Enxuta</i>	19
2.2.3.1 Just-In-Time	20
2.2.3.2 Fluxo Contínuo.....	20
2.2.3.3 <i>Takt-Time</i>	20
2.2.3.4 Produção Puxada	21
2.2.3.5 <i>Kanban</i>	21
2.2.3.6 <i>Jidoka</i>	21
2.2.3.7 Separação Homem/Máquina	22
2.2.3.8 <i>Poka-Yoke</i>	22
2.2.3.9 Operações Padronizadas	22
2.2.3.10 <i>Heijunka</i>	22
2.2.3.11 <i>Kaizen</i>	23
2.2.3.12 Estabilidade.....	23
2.2.4 <i>Ferramentas da Produção Enxuta</i>	23
2.2.4.1 Mapeamento do Fluxo de Valor	23
2.2.4.1.1 Passos para o mapeamento do fluxo de valor.....	24
2.2.4.2 <i>Layout Celular</i>	25
2.2.4.3 Troca Rápida de Ferramentas	25
2.3 SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS	26
2.3.1 <i>Arena</i>	27
3 DESENVOLVIMENTO.....	28
3.1 A EMPRESA	28
3.1.1 <i>Missão</i>	28
3.1.2 <i>Política de qualidade</i>	28
3.1.3 <i>Organograma</i>	29
3.1.4 <i>Função produção</i>	29
3.1.5 <i>Processamento de pedido</i>	30
3.1.6 <i>Arranjo físico</i>	31
3.2 O PRODUTO.....	33
3.2.1 <i>Processo de fabricação</i>	34
3.3 SIMULAÇÃO DO SISTEMA	35
3.3.1 <i>Modelagem</i>	43
3.3.1.1 Fluxo de Informações	44
3.3.1.2 Preparação da produção.....	45

3.3.1.3	Sequenciamento da produção	48
3.3.1.4	Processamento de itens.....	49
3.3.1.5	Formação de lotes, transporte e <i>setups</i>	49
3.3.1.6	Finalização do processo.....	52
3.4	RESULTADOS.....	53
3.4.1	<i>Cenário 1</i>	53
3.4.2	<i>Cenário 2</i>	54
3.4.3	<i>Cenário 3</i>	55
3.4.4	<i>Cenário 4</i>	56
3.4.5	<i>Cenário 5</i>	57
3.4.6	<i>Cenário 6</i>	58
4	CONCLUSÕES	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
MFV	Mapa do Fluxo de Valor
ME	Mentalidade Enxuta
PE	Produção Enxuta
STP	Sistema Toyota de Produção
VSM	<i>Value Stream Map</i>
MFV	Mapa do Fluxo de Valor
JIT	<i>Just-in-Time</i>

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CASA ENXUTA FONTE: O AUTOR.....	19
FIGURA 2 - PASSOS PARA O MFV.....	24
FIGURA 3 - ORGANOGRAMA DA EMPRESA.....	29
FIGURA 4 - ORGANOGRAMA DA FUNÇÃO PRODUÇÃO.....	30
FIGURA 5 - FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DE PEDIDOS.....	31
FIGURA 6- ESBOÇO DO LAYOUT DO SISTEMA PRODUTIVO.....	32
FIGURA 7 - SUSPENSÃO DE VEÍCULO DE CARGA.....	33
FIGURA 8 - ALGUNS MODELOS DE BALANÇA.....	34
FIGURA 9 - PROCESSO BÁSICO DE PRODUÇÃO DE BALANÇAS.....	35
FIGURA 10 - FLUXO DE INFORMAÇÕES.....	36
FIGURA 11 - FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DE BALANÇAS.....	37
FIGURA 18 - MODELO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES NO AMBIENTE ARENA.....	45
FIGURA 19 - PREPARAÇÃO DA PRODUÇÃO COM O INÍCIO DO FLUXO DE MATERIAIS.....	45
FIGURA 20 - FLUXO QUE INICIA A SEPARAÇÃO POR COMPONENTES.....	46
FIGURA 21 - TELA DE EXIBIÇÃO DO MÓDULO DE DADOS <i>VARIABLE</i>	47
FIGURA 22 - ARTIFÍCIO UTILIZADO PARA DECOMPOR A ORDEM DE PRODUÇÃO.....	48
FIGURA 23 – ALGUNS DOS PROCESSOS DEFINIDOS NO MÓDULO DE DADOS <i>SEQUENCE</i>	48
FIGURA 24 - SUBPROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	49
FIGURA 25 - DETALHE DO SUBPROCESSO SP 15.....	49
FIGURA 26 - FORMAÇÃO DE LOTE, TRANSPORTE E <i>SETUP</i> DO PRÓXIMO SUBPROCESSO.....	50
FIGURA 27 - FLUXO DO TRANSPORTE DE MATERIAIS.....	50
FIGURA 28 - <i>SETUP</i> DE CENTROS DE TRABALHO.....	51
FIGURA 29 - FIM DA SEQUENCIA DE PROCESSAMENTO.....	52
FIGURA 30 - SUBMODELO TRANSPORTE PARA EXPEDIÇÃO.....	53
FIGURA 31 - CURVA DO <i>LEAD-TIME</i> /TEMPO.....	54
FIGURA 32 - CURVA DO <i>LEAD-TIME</i> /TEMPO.....	55
FIGURA 33 - CURVA DO <i>LEAD-TIME</i> /TEMPO.....	56
FIGURA 34 - CURVA DO <i>LEAD-TIME</i> /TEMPO.....	57
FIGURA 35 - CURVA DO <i>LEAD-TIME</i> /TEMPO.....	58
FIGURA 36 - CURVA DO <i>LEAD-TIME</i> /TEMPO.....	59
FIGURA 37 - GRÁFICO DE UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - IDENTIFICAÇÃO DAS BALANÇAS UTILIZADAS NO MODELO	37
TABELA 2 - COMPONENTES POR BALANÇA	39
TABELA 3 - SEQUENCIA DE SUBPROCESSOS DE CADA COMPONENTE.....	41
TABELA 4 - RELAÇÃO DE PROCESSOS E SUBPROCESSOS	42
TABELA 5 - TEMPO EM QUE OS COMPONENTES PERMANECEM EM PROCESSAMENTO.	42
TABELA 6 - TEMPOS E SUBPROCESSOS PARA CONJUNTOS.....	43
TABELA 7 - COMPARATIVO ENTRE CENÁRIOS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente globalização e o grande desenvolvimento da economia de mercado, tem-se um mundo altamente competitivo. As informações fluem ininterruptamente. Torna-se comum lidar com clientes cada vez mais exigentes, e concorrentes ávidos, à espera de um descuido gerencial para tomar uma fração do tão disputado *market share*.

Nesse momento qualidade e produtividade, não são mais garantia de sucesso empresarial, mas sim requisitos mínimos para sobrevivência no mercado. As empresas passam a se comportar como organismos vivos, e merecem ser tratadas como tais. A indústria experimenta um ciclo de melhoramento contínuo, no qual, condições ótimas são meta constante. Sempre há busca por algo que acrescente, e um esforço para eliminar aquilo que não agregue.

No contexto, a figura do Engenheiro de Produção toma uma importância notável. Sobretudo nas pequenas empresas que iniciaram sua trajetória sem qualquer planejamento estruturado e, devido a condições favoráveis, cresceram, ainda que desordenadamente. Nestas empresas é comum que as decisões sejam tomadas intuitivamente e os investimentos, principalmente aqueles cujo retorno não é evidente em curto prazo, sejam quase, senão, ausentes.

A função do Engenheiro de Produção é reduzir a diferença entre o real e o realizável em termos de aperfeiçoamento do sistema produtivo, com a finalidade de gerar alguma vantagem competitiva. Ele se utiliza de técnicas e ferramentas poderosas para melhorar os processos produtivos e chegar num acurado processo de tomada de decisões. Passa a ser necessário analisar a organização sob diferentes perspectivas, não sendo suficiente o modelo de gestão departamental, que enxerga os setores e suas características individuais de forma vertical.

De acordo com Ghemawat (2007, *apud* Casalinho *et al*, 2011)¹, uma empresa apresenta vantagem competitiva sobre seus rivais somente se ela desenvolve uma distância maior do que seus concorrentes entre a disposição de pagar dos clientes e seu custo de produção.

¹ GHEMAWAT, P. **A estratégia e o cenário dos negócios**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

Segundo Ohno (1997, apud Casalinho *et al*, 2011)², na equação simples de produtividade (produto total/quantidade de trabalho aplicada), a forma tradicional de se conseguir a sua elevação é pelo aumento do numerador por meio da ampliação da escala de produção. Entretanto, em períodos de lento crescimento econômico, ou até de queda de produção, a eficiência deve ser alcançada mediante a redução do denominador.

A redução deste denominador se dá com o aprimoramento do sistema, que passa a ser capaz de aumentar a produção sem elevar o custo e esforço despendido. A implantação dos conceitos da “Mentalidade Enxuta” (“*Lean Thinking*”) afeta os processos, eliminando as etapas que geram desperdícios e eliminando os desperdícios propriamente ditos.

Desperdício é qualquer coisa que agregue custo sem agregar valor. É tudo aquilo a mais que o mínimo de equipamentos, materiais, peças, espaço e horas-homem que são absolutamente necessários para adicionar valor ao produto.

Os conceitos da mentalidade enxuta contribuem para a melhoria dos processos e o entendimento do fluxo de valor no sistema produtivo, numa visão horizontal, delineando a organização não apenas como um conjunto de departamentos desconexos, mas como um canal por onde entram recursos e saem produtos, de maneira holística. Entretanto sua implementação não é tão simples para a maioria das empresas, já que a ideia é contra intuitiva.

O cenário se torna complexo à medida que novas variáveis passam a ser consideradas. Sob a tensão gerada pelos altos valores envolvidos, é natural que os dirigentes não se sintam totalmente seguros sobre suas decisões o tempo todo.

A Simulação de Eventos discretos surge, então, como importante ferramenta de auxílio à tomada de decisões. Com o uso da simulação, se torna mais fácil trabalhar as barreiras impostas pelo *status quo*, uma vez que a resistência ao novo está intimamente ligada à insegurança trazida pela possibilidade do fracasso. De fato, consequências desastrosas podem ocorrer na mudança, reestruturação e implantação de novas tecnologias, caso alguma coisa saia diferente do planejado. No entanto, a simulação permite uma visualização dos impactos causados por

² OHNO, T.O. – **Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artmed Bookman, 1997.

qualquer mudança, ou até mesmo os resultados de um sistema ainda nas fases de projeto, restringindo o domínio das possíveis falhas, aos relatórios gerados por computador.

Simulação é a imitação da operação de um processo do mundo real ou de um sistema ao longo do tempo. Feita à mão ou no computador, a simulação envolve a geração de uma história artificial de um sistema, e a observação dessa história artificial para fazer inferências a respeito das características operacionais do sistema real. (BANKS, *et al.* 1996).

Como Schappo afirma:

O uso de métodos de simulação vem ganhando cada vez mais espaço, uma vez que representa uma economia de tempo e custo se comparado a uma tentativa de visualização do processo em um sistema real (SCHAPPO, 2006, *apud* CASALINHO *et al.*, 2011)³.

Este trabalho propõe o estudo da simulação de eventos discretos como ferramenta para avaliar os impactos e a aplicabilidade dos conceitos da mentalidade enxuta com base no sistema produtivo de uma indústria metalúrgica de Maringá-PR, com o propósito de obter meios para elevar sua competitividade sem incorrer nos riscos associados à implantação direta no sistema real.

1.1 Justificativa

A relevância do trabalho se torna evidente a partir do momento em que é analisado o contexto onde a pequena e média empresa se encontram. Suas ambições, dificuldades, o porquê e como um estudo dessa natureza lhes seria útil.

O ambiente de incentivo ao empreendedorismo impulsiona o crescimento de pequenas indústrias até certo ponto, e a partir deste ponto há uma estagnação. Os esforços que não são direcionados de forma consciente, apenas incham o fluxo de entradas e saídas da empresa, sem garantia do retorno esperado. Este inchaço de pessoas sem funções definidas, recursos mal administrados, informações desconexas e outras formas de desperdício, acaba comprometendo a

³ SCHAPPO, A. J. **Um método utilizando simulação discreta e projeto experimental para avaliar o fluxo em manufatura enxuta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

eficiência do sistema, que toma proporções que fogem ao controle de uma direção despreparada. O investimento em tecnologias de gestão, ferramentas, treinamento e manutenção acabam sendo vistos como gastos desnecessários, enquanto os desperdícios reais, que deveriam ser eliminados, de fato, são invisíveis aos olhos dos gerentes.

Nestas condições, o mercado pode não responder aos investimentos de *marketing* da maneira esperada e além disso, toda a ampliação da produção pode resultar em um amontoado de produtos que não sai do estoque. Mesmo com muito em estoque, há clientes insatisfeitos com a falta, atraso ou má qualidade dos produtos.

A mentalidade enxuta trás os princípios que prometem alavancar o rendimento destas empresas, pela eliminação de desperdícios. Entretanto, em meio a tantos gastos, em um sistema que se torna cada vez mais complexo, sem a resposta desejada, se torna difícil acreditar em algo que possa reverter a situação.

A simulação possibilita que um estudo imediato do sistema seja realizado no intuito de prever os impactos de eventuais mudanças decorrentes de novas estratégias. A mentalidade enxuta é uma dessas estratégias.

Diante da abrangência do problema nas organizações existentes, e de sua profundidade nas organizações afetadas, este trabalho se justifica pelo benefício potencial a que o estudo remete.

Mais especificamente, o trabalho visa observar, por meio da simulação de eventos discretos, os impactos da implantação dos conceitos da mentalidade enxuta, baseando-se no fluxo produtivo de uma empresa metal mecânica de Maringá-PR.

1.2 Definição e Delimitação do Problema

A fim de elevar a competitividade, a empresa busca uma configuração do fluxo produtivo que aproveite ao máximo os recursos disponíveis, ofereça uma flexibilidade e propicie uma maior eficiência ao sistema. Porém, a empresa possui uma vasta gama de produtos e grande volume

de vendas, o que eleva a complexidade e torna onerosa qualquer modificação que atrase a produção sem garantia de resultados.

Ao analisar os diferentes setores do sistema, individualmente, é difícil perceber as causas que levam a pedidos atrasados, baixa eficiência, preços altos e clientes insatisfeitos. No entanto há recursos que a princípio parecem suficientes à manutenção e estabilidade do sistema, o que leva a crer que em um ou mais pontos do fluxo produtivo, existe desperdício.

O trabalho, realizado com base em uma empresa metal mecânica de Maringá – PR, apresenta um estudo do sistema produtivo da Tornol Indústria e Comércio de Componentes Automotivos (de nome fantasia “Thor”). A fim de diminuir o escopo do trabalho, foi estudado apenas o processo de produção de balanças, que é um dos itens mais produzidos pela empresa. O trabalho possibilita a identificação de desperdícios no processo de produção de balanças, a sua análise via simulação e a análise de potenciais alternativas do processo (elaboradas sob uma perspectiva “enxuta”). Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar, por meio da simulação de eventos discretos, a aplicabilidade e impactos da aplicação dos conceitos da Mentalidade Enxuta (“*Lean Thinking*”) em processos produtivos, com base o processo real de produção de Balanças da indústria de peças automotivas, Thor.

1.2.2 Objetivos específicos

Desdobrando o objetivo em partes menores, pode-se destacar:

- a) Revisar os Conceitos da Mentalidade Enxuta;
- b) Revisar os Princípios e Técnicas da Simulação de Eventos Discretos;
- c) Estudar o ambiente de simulação Arena.

- d) Caracterizar a Empresa e o Processo;
- e) Desenvolver um Modelo para o Processo de Produção de Balanças;
- f) Simular os processos, identificando desperdícios;
- g) Desenvolver Modelos “*Lean*” Alternativos;
- h) Simular Processos alternativos;

1.3 Metodologia

O trabalho é de natureza exploratória, pois envolve o estudo de caso do processo produtivo de um sistema real. A pesquisa é qualitativa, pois se baseia nos conceitos da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) e, ao mesmo tempo, quantitativa, pois a partir dos dados extraídos do sistema real, são elaborados os modelos para a análise por meio da Simulação de Eventos Discretos.

Pretende-se com este trabalho, mapear o processo produtivo, e a partir daí realizar alguns ensaios simulando o sistema com o objetivo de avaliar algumas técnicas da Mentalidade Enxuta (ME).

Algumas possíveis configurações do sistema serão testadas, via simulação, para verificar o efeito das mudanças. Estas configurações alternativas serão elaboradas sob uma perspectiva “enxuta”, onde serão aplicados os conceitos da mentalidade enxuta com o propósito de verificar sua utilidade prática para a empresa, sem arcar com os custos ou pausar a produção pelo tempo necessário aos testes no sistema real.

Por meio da simulação de eventos discretos (cuja análise incorrerá, também, na verificação de potenciais oportunidades de melhoria) será estudada, em especial, a aplicabilidade dos conceitos “*lean*” para a produção de Balanças (uma das famílias de produtos oferecidos pela empresa) e a possibilidade de levar o processo o mais próximo possível do fluxo contínuo, diminuindo riscos e custos e elevando a qualidade e produtividade.

Os dados foram coletados tanto de forma prática, com envolvimento e intimidade ao processo, como por meio de banco de dados da empresa possibilitando assim um olhar minucioso para os detalhes do sistema.

Destacam-se algumas das principais etapas do o estudo:

- a) Revisar os Conceitos da Mentalidade Enxuta;
 - i) Um apanhado de todo o arcabouço teórico que cobre a Mentalidade Enxuta será revisado, proporcionando a segurança necessária para avançar no desenvolvimento dos modelos e propor qualquer solução.

- b) Revisar os Princípios e Técnicas da Simulação de Eventos Discretos;
 - i) Ferramentas e métodos de simulação (especificamente de sistemas de produção) serão compreendidos para que seja possível simular o cenário atual e cenários alternativos, em busca de otimizar o processo de produção de balanças, e assim conduzir o trabalho de maneira eficaz.

- c) Caracterizar a Empresa;
 - i) Com o domínio do instrumental teórico associado, a indústria será devidamente caracterizada. Serão elaborados fluxogramas dos processos, organogramas, mapas, estudados os objetivos da empresa e seu funcionamento, a fim de proporcionar uma visão geral que auxiliará no estudo da empresa sob diferentes perspectivas.

- d) Desenvolver um Modelo para o Processo de Produção de Balanças;
 - i) A partir do mapeamento previamente realizado, será elaborado um modelo para simulação, que permita extrair os dados relevantes para o estudo (melhor especificados ao longo do trabalho), possibilitando determinar a situação atual do processo.

- e) Simular os processos;
 - i) Com o modelo elaborado, o trabalho de simulação auxilia na identificação das características que distanciam o processo atual do processo “*lean*” desejado.

- f) Desenvolver Modelos “*Lean*” Alternativos;
 - i) Baseando-se na análise do processo atual e nos princípios da ME, serão elaborados alguns modelos alternativos enxutos. Estes modelos serão criados a partir das necessidades da empresa em contraste com suas limitações, buscando um modo de propor a implantação da manufatura enxuta, de uma maneira flexível.

- g) Simular Processos alternativos em busca de *insights* e soluções;
 - i) Os modelos elaborados serão simulados e terão seus resultados confrontados, evidenciando assim as vantagens e desvantagens das diferentes abordagens utilizadas, quantitativamente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Evolução dos Sistemas de Produção

Segundo Calvelo (2006), a evolução do ser humano está ligada ao desenvolvimento dos processos produtivos utilizados por ele.

Na pré-história, o ser humano utilizava ferramentas de pedra, madeira e barro. Cada ser humano preparava seu próprio instrumento, e não havia especialização.

Com o passar do tempo, viu-se a necessidade de ferramentas mais específicas e, com esta necessidade nasce o artesão, pessoa especializada na fabricação de ferramentas.

Devido ao aumento da demanda por diversos produtos, surgem as corporações de ofício, onde se reuniam artesãos com a mesma especialidade. Nas corporações de ofício, os mestres ensinavam os aprendizes, e estes ficavam também responsáveis por parte específica do processo produtivo. Daí iniciava-se uma nova etapa do desenvolvimento, a divisão do trabalho.

Um passo à frente, obteve-se trabalho da força da água e vento, que movimentavam moinhos, e em 1769 foi inventada a máquina a vapor, por James Watt (CALVELO, 2006).

A utilização massiva da máquina nos sistemas produtivos rudimentares caracterizou a Revolução Industrial, que rapidamente tomou a Inglaterra e chegou à Europa, Estados Unidos e Japão. (CALVELO, 2006)

Impulsionada pela Primeira Guerra Mundial, a industrialização cresce aceleradamente. Novas formas de energia (como a elétrica) são utilizadas nos sistemas de produção, novos materiais explorados (o aço, por exemplo, substituindo o ferro, a fim de se obter uma maior resistência aos novos, robustos e eficientes meios de produção mecanizados), e acontecem melhorias de cunho organizacional. É sistematizada a divisão do trabalho.

Henry Ford, nascido nos Estados Unidos no ano de 1863, fundou a montadora que leva seu sobrenome, *Ford Motor Company*, a qual fabricou um modelo de carro a preços populares dentro de um plano de vendas de grande alcance, revolucionando a estratégia comercial da época. (CHIAVENATO, 1993 *apud*, SZEZERBICKI, *et al.* 2004)⁴.

Alguns dos princípios utilizados por Ford . .Ford dizia que “Para fazer um carro você não precisa de um homem inteiro”.

Parte dos princípios utilizados por Ford, em seu sistema de produção, era externada por suas famosas frases. Ford dizia que para fazer um carro, não era necessário um homem inteiro, o que deixava clara a divisão do trabalho. Dizia também que seus clientes poderiam ter o carro que quisessem, desde que fosse o Modelo T da cor preta, evidenciando um sistema inflexível que buscava a alta eficiência por meio da produção padronizada em massa e linhas de montagem. Em 1913, se fabricava 800 carros por dia. Assim, foi possível, obter o sucesso de vendas de carros populares com preços baixos, a US\$850,00 (CHIAVENATO, 1993 *apud*, SZEZERBICKI, *et al.* 2004).

Em 1950 ocorre novamente uma evolução mais acelerada, a chamada Segunda Revolução Industrial, calcada desta vez na automação das indústrias. (CALVELO, 2006). Além das máquinas, programas são utilizados para substituir parte do trabalho humano.

Durante décadas os Estados Unidos da América baixaram custos produzindo em massa um menor número de tipos de carros. Era um estilo característico de trabalho americano. (OHNO, 1997)

Os japoneses foram, também, afetados pela industrialização. Segundo Ohno (1997), o Japão vivenciou um período de crescimento econômico com rapidez incomum, iniciado em 1959-1960 e que durou por 15 anos. Ainda assim, a mentalidade japonesa girava em torno da ideia de produzir muitos modelos em pequenas quantidades (a princípio, antagônica à de Ford).

⁴ CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 4. ed., São Paulo, Makron Books: 1993.

Com a crise do petróleo, e a consequente recessão econômica, Japão e principalmente Estados Unidos, vivenciaram lento ou nenhum crescimento econômico. Neste momento a produção em massa não representava grande vantagem, já que o problema era de outra natureza. Não se vendia tudo o que era produzido.

A *Ford Motor Company* era a maior montadora de automóveis, produzia carros padronizados, em massa. Fechou suas portas por seis meses durante a recessão, e nunca mais recuperou a primeira colocação.

Após a derrota japonesa na segunda guerra mundial, em agosto de 1945, Toyoda Kiichiro (1894-1952), então presidente da *Toyota Motor Company*, disse, “Alcancemos os Estados Unidos em três anos. Caso contrário, a indústria automobilística do Japão não sobreviverá.” (OHNO, 1997).

Seria necessário conhecer os métodos dos americanos que, segundo Ohno (1997), tinham uma eficiência nove vezes maior que a japonesa, com sua produção em massa. No entanto, a produção em massa não poderia ser aplicada no Japão, devido ao diferente estilo de consumo. Os clientes compravam menos e queriam diferentes modelos de automóveis.

Outro aspecto que chamava a atenção dos japoneses é que era difícil acreditar que a força média de trabalho de um americano pudesse equiparar a força de nove japoneses, portanto, concluía-se que de alguma forma a força de trabalho japonesa estava sendo desperdiçada.

Esta ideia marcou o início do Sistema Toyota de Produção. Um sistema revolucionário que tinha como principal alicerce a produção enxuta (*lean production*).

2.2 Mentalidade Enxuta

A Produção Enxuta (*Lean Production*) é o estilo de produção marcado pela total eliminação das perdas e desperdícios. A Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) é o conjunto de ideias que tornam um sistema produtivo convencional em um sistema enxuto. É toda a forma de combater o desperdício. Segundo Ohno (1997), a ideia do pensamento enxuto é baseada no sistema Toyota que atacou todas as formas de desperdício encontradas na empresa.

A Mentalidade Enxuta propõe que a organização seja estruturada possibilitando ao cliente que determine exatamente que tipo de serviço ou produto ele quer e, a partir desta solicitação, a empresa entregue um produto ou serviço personalizado com agilidade, qualidade e baixo custo.

Para Casalinho (*et al*, 2011), a PE caracteriza-se como uma das formas pelas quais a produtividade é elevada sem que haja um aumento na escala de produção, já que apresenta propostas de melhorias contínuas no processo de produção.

A filosofia operacional na qual a Toyota foi pioneira transparece na forma de se fazer cada vez mais com cada vez menos.

A PE, para Womack e Jones (2004), é um processo onde se define o valor para o cliente, identifica-se o fluxo de valor (eliminando as etapas que não agregam valor), para as etapas que restaram, faz-se o valor fluir continuamente, por meio da implantação da produção puxada, e direciona-se o ciclo rumo a perfeição. Ela requer menores *lead-times* e um fluxo cada vez mais contínuo para poder entregar produtos com maior qualidade sem incorrer desperdícios no sistema.

Desta forma o sistema, ao tornar-se enxuto, passa inicialmente por processos que refletem a filosofia *Kaikaku* ("mudança radical") e depois disso nunca deixam de lado a filosofia *Kaizen* ("melhoria contínua").

A Mentalidade Enxuta se manifesta nos diversos processos que geram o valor de interesse do cliente, como afirma Casalinho (*et al*, 2011):

A Produção Enxuta é um conjunto de princípios e práticas envolvidas desde a criação e a fabricação de um produto específico, da concepção à sua disponibilidade, passando pelo projeto; da venda inicial à entrega, registrando pedido e programação da produção, e da matéria-prima produzida distante e fora do alcance da empresa, até as mãos dos clientes.

Atuando no sistema em suas diferentes perspectivas, a ME deve ser aplicada a uma porção abrangente do processo. Assim é possível integrar boa parte da cadeia e direcionar os esforços

para satisfazer as necessidades do cliente, a princípio, razão de existir de uma organização, e ainda aproveitar os benefícios.

É necessário analisar a empresa como um todo e deixar para trás a visão departamentalizada, vertical, que busca um alto rendimento apenas para uma fração do processo, sem considerar o todo. É necessário analisar o fluxo de valor (*value stream*) inteiro de produtos específicos, da matéria-prima ao produto acabado, do pedido à entrega, da concepção ao lançamento.

De acordo com Sayer e Williams (2007), as práticas disseminadas pela ME, possibilitam à organização, reduzir o tempo de desenvolvimento de novos produtos e o seu tempo de produção, além disso, o sistema utiliza os recursos de forma mais eficiente e produz com qualidade superior.

A ME é fundamentada em cinco princípios básicos, elencados por Womack e Jones (2004) como: Valor, Fluxo de Valor, Fluxo, Produção Puxada e Perfeição.

Tais princípios permitem ver o processo evidenciando os desperdícios e transformando-os em valor, de acordo com o cliente final. Estes princípios e o desperdício, em si, serão abordados com mais detalhes a seguir.

2.2.1 Desperdício

Muda é uma palavra japonesa que significa “desperdício” (WOMACK e JONES ,2004). Entende-se que o desperdício é encontrado em qualquer atividade que absorve recursos mas não cria valor. Como erros em atividades que precisam ser refeitas, produtos defeituosos que precisam ser reprocessados, produtos acabados que ninguém quer comprar, acúmulo em estoques, etapas de processamento desnecessárias, movimentação de pessoas e transporte de materiais sem propósito, espera de resultados de atividades que ainda não foram concluídas, bens e serviços que não atendem às necessidades do cliente, e outros tipos de desperdícios que passam despercebidos por estarem tão associados às operações rotineiras que acabam sendo considerados parte inerente destas.

O executivo da Toyota Taiichi Ohno (1997) identificou tipos primitivos de desperdício:

- a) Defeitos;
- b) Excesso de produção de mercadorias desnecessárias ou a produção antes da hora certa;
- c) Estoques de mercadorias à espera de processamento ou consumo, armazenamento excessivo e falta de informação (ou informação de má qualidade);
- d) Processamento desnecessário (de mercadorias);
- e) Esperas (dos funcionários pelo equipamento de processamento para finalizar o trabalho ou por uma atividade anterior; Do produto, por mais uma etapa de processamento; Do cliente interno ou externo, pelo produto da etapa precedente);
- f) O projeto de produtos e serviços que não atendem às necessidades do cliente.
- g) Transporte e movimentação desnecessária de pessoas peças e informações;
- h) Processos inadequados e má utilização dos recursos;
- i) Desorganização.

2.2.2 Princípios enxutos

Para eliminar os desperdícios, rumo a produção enxuta, deve-se utilizar exaustivamente alguns “princípios enxutos”.

Estes princípios são: Valor, Cadeia de valor, Fluxo, Produção puxada e Perfeição. O valor deve ser sempre especificado pelo cliente final, sendo o ponto inicial de qualquer processo. A cadeia de valor são todas as etapas ligadas às tarefas de concepção e lançamento de um novo produto, gerenciamento da informação e transformação física. O objetivo do pensamento de fluxo é a eliminação total das paralisações em todos os processos de produção. Em uma produção puxada, o cliente é o único responsável pelo puxamento da produção. A perfeição surge através da exposição contínua

dos desperdícios, e para uma boa evolução necessita-se de transparência e *feedback* constantes. (MOREIRA e FERNANDES, 2001).

2.2.2.1 Valor

Para Womack e Jones (2004) é a partir da definição de Valor, para o cliente, que o sistema enxuto inicia seus processos. Definir valor, do ponto de vista do cliente, é especificar exatamente o que o cliente quer, com relação a produtos ou serviços específicos e, só então o produtor pode cumprir com sua função, criar valor.

É frequente, diante da necessidade de redução de custos, a iniciativa, por parte dos gestores, de reduzir o quadro de colaboradores, substituir materiais e fornecedores, desviar receitas de seus clientes, extrair lucro dos fornecedores ou comprometer a qualidade do produto com modificações no projeto. Em geral atribuem à “redução de desperdícios” a terminologia *lean* (enxutos), embora na verdade sejam apenas *mean* (agressivos).

O que falta a estes gerentes é compreender o processo como um todo, e a forma como o valor é criado para atender as necessidades do cliente. O que fazem, na verdade, é distorcer a definição de valor para forçar a utilização de ativos preexistentes e justificar o modo, muitas vezes antiquado, de produzir e as economias de escala.

O pensamento enxuto, portanto, deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente valor em termos de produtos específicos com capacidades específicas oferecidas a preços específicos através do diálogo com clientes específicos. Para fazer isso, é preciso ignorar os ativos e as tecnologias existentes e repensar as empresas com base em uma linha de produtos com equipes de produtos fortes e dedicadas (WOMACK e JONES, 2004).

Portanto, especificar valor com precisão é fundamental no sistema enxuto. Oferecer o produto errado (que acaba sendo comprado mesmo não sendo o que se deseja) é desperdício.

2.2.2.2 Fluxo de valor

Existem três processos gerenciais substanciais pelos quais um produto passa antes de poder satisfazer as necessidades do cliente. A solução de Problemas (processo que vai da concepção, passa pelo projeto e engenharia e termina no lançamento do produto), o gerenciamento da informação (processo que se inicia no recebimento do pedido, segue sendo controlado durante o período de produção e termina com a entrega do produto) e a transformação física (processo que consiste do recebimento de matéria-prima ao produto acabado, entregue ao cliente). O conjunto de todas as ações necessárias para que o produto passe pelos três principais processos gerenciais e acabe como o valor definido pelo cliente constitui o Fluxo de Valor, que deve ser identificado por completo para cada produto específico, a fim de obter processos enxutos.

Segundo Womack e Jones (2004), a análise do fluxo de valor mostra que existem três tipos de operações ao longo dos processos:

- a) Aquelas que agregam valor ao produto;
- b) Aquelas que não agregam valor, mas que são necessárias para que o sistema possa continuar em funcionamento;
- c) Aquelas que não agregam valor, não são necessárias ao funcionamento do sistema e que podem ser eliminadas imediatamente.

Passa a ser necessário enxergar o processo como um todo e ter bem definido o fluxo de valor ao longo de todo esse processo. Para que isso seja possível, deve haver o chamado empreendimento enxuto (*lean enterprise*), a união contínua de todas as partes envolvidas nos processos para que o fluxo de valor seja ininterrupto e todo o desperdício seja eliminado.

2.2.2.3 Fluxo

Depois que o valor tenha sido especificado com precisão, o fluxo de valor, mapeado, e as etapas que não agregam valor tenham sido eliminadas, deve-se fazer as etapas restantes (aquelas que criam valor) fluir.

Uma das principais confusões que ocorrem nos sistemas convencionais é associar a eficiência do sistema à utilização dos recursos. Assim a produção é organizada em lotes de produtos e tarefas semelhantes. Esta abordagem mantém os ativos utilizados, os departamentos ocupados e representa uma forma de justificar a utilização de máquinas e estruturas dispendiosas (já que, serão úteis na produção de grandes lotes). No entanto, grandes lotes quase sempre significam longos períodos de espera entre os processamentos que o levará a ser produto acabado.

Em geral, sistemas convencionais focalizam a eficiência individual dos departamentos, o que, sob uma visão vertical, resultaria em uma alta eficiência para o sistema como um todo. Porém, quando analisado sob uma perspectiva horizontal o sistema apresenta desperdícios inerentes à maneira gerencial pela qual a produção é conduzida e funcionaria melhor se adequado à gestão por processos (visão horizontal que focaliza os processos que levam o produto a ter o valor que o cliente procura).

A grande dificuldade gira em torno do fato de o pensamento enxuto ser contra-intuitivo. A maioria das pessoas está muito acostumada com a ideia de que as coisas são agrupadas de acordo com sua similaridade para que fiquem mais fáceis de ser realizadas. De fato, do ponto de vista neurológico, é razoável supor que as o ser humano encontre facilidade em tratar coisas semelhantes em grupos, no entanto, na prática, o pensamento por processo (apesar de complexo) se torna vantajoso, principalmente quando as economias de escala (único motivo pelo qual seria adequado produzir em massa) não apresentam o retorno esperado.

O que se deve fazer é redefinir o trabalho das diferentes partes para que seja enfatizado o resultado para o cliente, ou seja, produzir com foco no produto. Assim é possível fazer o fluxo de agregação de valor fluir ininterruptamente.

2.2.2.4 Puxar

A ideia da produção puxada trás consigo, naturalmente, a eliminação de algumas fontes de desperdício, já que a produção só é iniciada a partir da requisição do cliente. Um sistema enxuto é capaz de produzir na hora certa, na quantidade certa e de acordo com a necessidade específica do cliente.

Dentre os principais efeitos da conversão de uma empresa convencional em uma empresa enxuta, estão a elevação da flexibilidade do sistema (que passa a ser capaz de acomodar grandes variações de demanda) e a redução dos tempos necessários para se obter um produto final, como destacam Womack e Jones (2004):

Quando se introduz o fluxo, o *throughput* se reduz a uma fração do inicial. Na verdade, se não consegue reduzir rapidamente o tempo de *throughput* à metade no desenvolvimento de produtos, 75% no processamento de pedidos e 90% na produção física, deve-se estar fazendo alguma coisa de errado.

2.2.2.5 Perfeição

O objetivo de uma empresa enxuta é atingir a perfeição (só assim ela se mantém trabalhando para identificar e eliminar formas de desperdício cada vez menos evidentes). Após a conversão em empresa enxuta (por um processo de mudança radical, *Kaikaku*) é sistematizado o programa de administração da qualidade total e então continuamente (por um processo de aprimoramento incremental, *Kaizen*) a empresa segue rumo a perfeição.

A fim de implementar a perfeição na organização, a empresa enxuta realiza o *benchmarking* exaustivamente, em busca das melhores técnicas, diminui seus estoques e, conseqüentemente o tempo e custo de manutenção do fluxo, e se torna flexível, capaz de atender a variações de demanda, produzindo com qualidade exatamente o que o cliente pediu e entregando no prazo.

2.2.3 A Casa Enxuta

A Casa Enxuta, Casa *Lean* ou Casa do Sistema Toyota de Produção, é uma figura que representa o modo como as ferramentas e técnicas enxutas são agrupadas para fazer existir, no sistema de produção, os cinco princípios enxutos. A Figura 1, mostra a Casa enxuta.

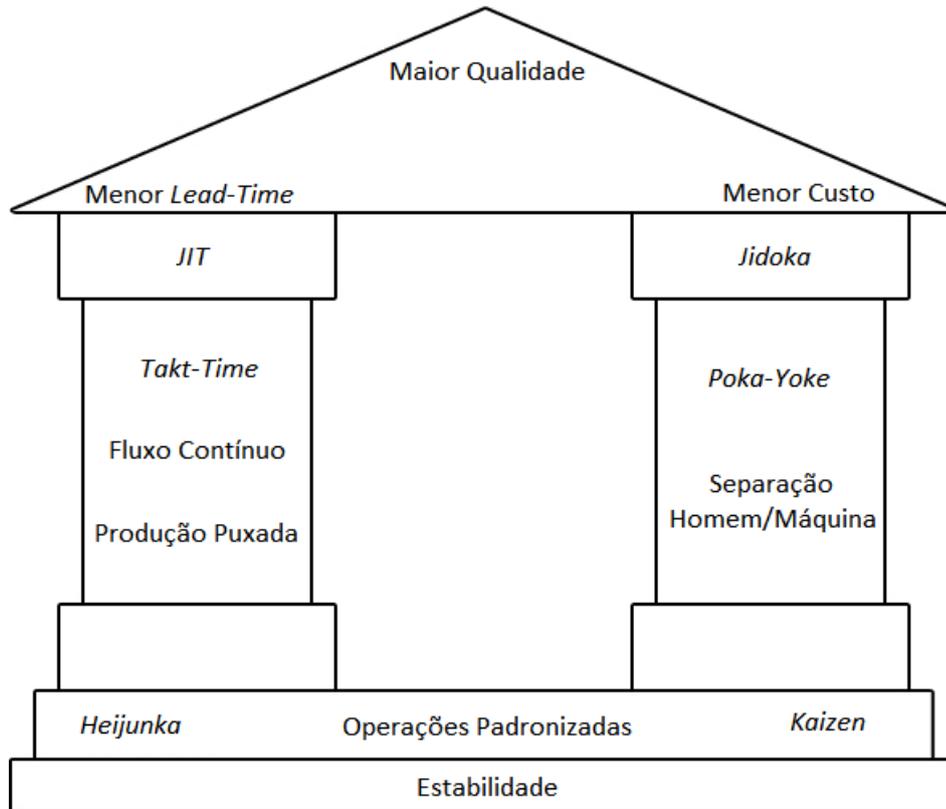


Figura 1 - Casa Enxuta
Fonte: o autor.

Apoiados nas bases *Kaizen* (melhoria contínua), *Heijunka* (nivelamento de produção) e Operações Padronizadas, os pilares da ME, *Just-in-Time* (entregas em tempo e quantidade certa) e *Jidoka* (melhoria dos processos pela eliminação de defeitos) o sistema enxuto provê ao cliente produtos de melhor qualidade em um menor tempo a um custo reduzido.

Com base nestes princípios, algumas ferramentas foram desenvolvidas a fim de criar condições enxutas nas empresas (KONDRASOVAS, 2010).

2.2.3.1 Just-In-Time

Segundo Shingo (1996, *apud* FERREIRA, 2011)⁵ a ideia expressa pelo *Just-in-Time* (JIT) é que as entregas devem ocorrer no momento certo para que haja fluxo sem estoques intermediários. Para o sucesso do JIT, o sistema deve receber os itens certos na quantidade certa e nos locais certos e depende do fluxo contínuo, *takt-time* e da produção puxada.

2.2.3.2 Fluxo Contínuo

Segundo Ghinato (2000, *apud* FERREIRA, 2011)⁶, o fluxo contínuo se dá pela implementação do fluxo unitário, em um sistema celular, onde cada item processado é imediatamente passado para a próxima etapa de processamento sem permanecer em estoques intermediários. Desta forma, são eliminadas as perdas por estoque e espera, o que reduz o custo de manutenção e o *lead-time* de produção.

2.2.3.3 Takt-Time

Para que o fluxo contínuo ocorra, é necessário que as operações sejam balanceadas, ao longo da célula produtiva (GHINATO, 2000, *apud* FERREIRA, 2011). O balanceamento do tempo das operações se dá pelo *takt-time*, que é calculado a partir do tempo disponível pela demanda do cliente, seguindo a expressão:

$$Takt\ Time = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Demanda do Cliente}}$$

⁵ SHINGO, S. – **O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

⁶ GHINATO, P. – **Elementos Fundamentais do Sistema Toyota de Produção**, 2000. Disponível em: <<http://static.scribd.com/docs>>. Acesso em 26 de Janeiro de 2010.

2.2.3.4 Produção Puxada

Produção puxada refere-se à produção que se inicia a partir da requisição do cliente, em oposição à produção empurrada, onde os produtos são processados e passados para a próxima etapa indefinidamente.

2.2.3.5 *Kanban*

Kanban é um sistema de sinalização entre clientes e fornecedores internos, cuja finalidade é controlar visualmente e balancear a produção, evitando perdas por espera ou excesso de produção. A utilização do sistema *Kanban* trás consigo os supermercados que, segundo Tubino (2000, *apud* FERREIRA, 2011)⁷, são pontos de armazenagem de itens. Cada estação de trabalho possui um supermercado de entrada e um supermercado de saída que têm seus fluxos sinalizados por meio de cartões *kanban* fixados em um quadro. Para cada supermercado há um painel porta-*kanban*.

2.2.3.6 *Jidoka*

Jidoka, ou automação, se refere ao conceito de dispositivos capazes de detectar falhas sem depender de operadores. Estes dispositivos dão às máquinas (ou linhas de produção manuais) a capacidade de interromper o processo automaticamente caso alguma falha ocorra, evitando a propagação de erros e reduzindo as perdas por defeitos. Além disso, o *Jidoka* auxilia na identificação do problema, já que, no momento em que o processo é automaticamente interrompido, o supervisor pode procurar pelas causas do problema instantaneamente (GHINATO, 2000, *apud* FERREIRA, 2011).

O *Jidoka* está relacionado com o *Poka-Yoke* por ser um método que impede que os defeitos prossigam no sistema. Além disso, o *Jidoka* possibilita a separação Homem/Máquina.

⁷ TUBINO, F. D. – **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 2ª.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

2.2.3.7 Separação Homem/Máquina

Com o advento do *Jidoka*, foi possível separar o homem da máquina, de forma que um único operador possa supervisionar mais de uma máquina. Quando ocorrer algum problema o operador irá até o local para resolvê-lo, com a garantia de que, caso outra máquina detecte alguma falha, ela irá interromper o processo automaticamente. Assim, parte do desperdício por espera e ociosidade foi eliminado.

2.2.3.8 Poka-Yoke

Para Shingo (1996), “um dispositivo *Poka-yoke* é uma melhoria na forma de um dispositivo ou fixador que ajuda a atingir 100% de produtos aceitáveis, impedindo a ocorrência de defeitos”. É o dispositivo *Poka-yoke* que possibilita o *Jidoka*. Em geral, são dispositivos que impossibilitam que as operações sejam feitas de maneira errônea, como por exemplo uma ferramenta que possui um encaixe assimétrico, impedindo que uma peça seja encaixada do lado errado.

2.2.3.9 Operações Padronizadas

Segundo Ghinato (2000, *apud* FERREIRA, 2011), operações padronizadas são operações organizadas de maneira racional para produzir sem incorrer em perdas e maximizar a produtividade, por meio da identificação e padronização dos processos que agregam valor. As operações padronizadas evitam as perdas no processo e possibilitam a realização da tarefa dentro do *takt-time*.

2.2.3.10 Heijunka

Segundo Ghinato (2000, *apud* FERREIRA, 2011), “*Heijunka* é o nivelamento das quantidades e tipos de produtos”. É a programação da produção por período, que possibilite que um produto específico seja produzido regularmente, e sua produção seja diluída em meio à produção dos demais itens. Desta forma todos os itens quase sempre estarão sendo produzidos, o que confere flexibilidade ao sistema e, junto com as operações padronizadas e o *kaizen*, formam a base (responsável pela estabilidade) da casa *lean*.

2.2.3.11 Kaizen

Kaizen é a filosofia do melhoramento contínuo, segundo o qual sempre podemos elevar o nível rumo a perfeição. Ghinato (2000, *apud* FERREIRA, 2011), diz que para formalizar a filosofia, que faz parte da base da casa da ME, deve ser utilizado constantemente o ciclo PDCA.

2.2.3.12 Estabilidade

Para Ghinato (2000, *apud* FERREIRA, 2011), a estabilidade é pré-requisito para a implementação da mentalidade enxuta no sistema, já que somente os processos estáveis podem ser padronizados e a fim de que não haja defeitos na produção.

2.2.4 Ferramentas da Produção Enxuta

Além dos pilares da Casa Enxuta, existem outras ferramentas que auxiliam na conversão de uma empresa convencional em uma empresa enxuta. Dentre elas, algumas estão intimamente relacionadas com o trabalho e estão descritas a seguir.

2.2.4.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

Para Liker (2005), o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é definido como:

O mapa de fluxo de valor capta processos, fluxos de material e fluxos de informações de uma dada família de produtos e ajuda a identificar as perdas no sistema [...]. Os eventos são dispostos em uma linha de tempo de projeto, mostrando quando ocorrem. Como diferentes funções organizacionais entram em ação em diferentes momentos, os processos são arranjados no diagrama de acordo com a função responsável por eles.

Por meio do MFV, é possível enxergar o processo, do início ao fim, por um mapeamento de processos, e identificar os pontos onde há perdas. É realizado um mapa do estado atual e um mapa do estado futuro, que trás consigo o plano de melhoria.

2.2.4.1.1 Passos para o mapeamento do fluxo de valor

De acordo com Rother e Shook (1999, *apud* FERREIRA, 2011)⁸, para realizar o MFV é necessário seguir alguns passos:

- a) Selecionar a família de produtos;
- b) Determinar o gerente do fluxo;
- c) Desenhar os estados atual e futuro;
- d) Planejar e implementar o plano de ação.

Como mostra a Figura 2.

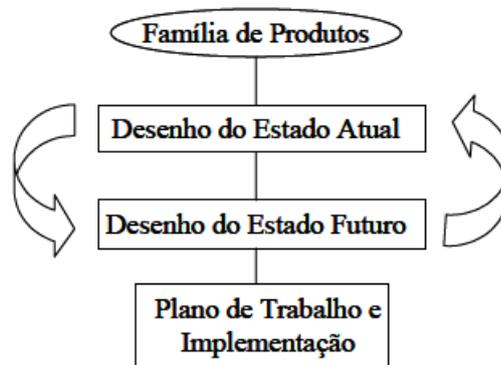


Figura 2 - Passos para o MFV

O objetivo do MFV é obter um fluxo contínuo de agregação de valor, entre todas as etapas que levam um produto a ser finalizado e entregue ao cliente. Para que isto seja possível, são utilizadas algumas técnicas enxutas:

- a) Produzir de acordo com o *takt-time*;

⁸ ROTHER, M.; SHOOK, J. – **Aprendendo a Enxergar mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, Jun., 1999.

- b) Produzir com lotes unitários em fluxo contínuo;
- c) Utilizar *kanban* e supermercados para controlar a produção;
- d) Utilizar o *heijunka* para nivelar a produção.

2.2.4.2 Layout Celular

O fluxo contínuo se torna possível com a eliminação de transportes desnecessários, o que inclui o transporte de materiais entre os setores da empresa. Para resolver este problema é utilizado o *Layout Celular*, onde as atividades de agregação de valor são organizadas umas próximas das outras dentro de uma célula de produção, assim um produto que passa por uma etapa é imediatamente processado em sua etapa seguinte sem a necessidade de formar lotes e ser transportado.

Para Slack *et al.* (2002) o arranjo celular é:

...aquele em que os recursos transformados, entrando na operação são pré-selecionados (ou pré selecionam-se a si próprios) para movimentar-se para uma parte específica da operação (ou célula) na qual todos os recursos transformados necessários a atender a suas necessidades imediatas de processamento se encontram.

A grande dificuldade em obter o fluxo contínuo está reestruturação do arranjo físico, que envolve custos elevados. Assim, se torna imprescindível um estudo que demonstre sua real necessidade.

2.2.4.3 Troca Rápida de Ferramentas

Enquanto o sistema de Ford buscava pela economia de escala, utilizando máquinas e processos onerosos que requeriam grande preparação para produzir em larga escala, o sistema enxuto utiliza a troca rápida de ferramentas para viabilizar lotes cada vez menores e possibilitar o JIT, como afirma Tubino (2000):

Trabalhar com lote de produção pequeno é uma grande vantagem porque, com a produção de grandes lotes e o baixo sincronismo entre os vários pontos de trabalho, ocorre a formação de filas de esperas antes de cada máquina, aumentando os lead times dos itens e os estoques do sistema. Para se reduzir o tempo de espera na fila, ações devem ser feitas para se diminuir os tempos de setup, de forma a tornar econômico o uso de lotes pequenos. Com lotes pequenos e tempos de setups na casa de minutos ou até segundos, as filas de espera nos recursos andarão de forma rápida e permitirão a produção *just-in-time*.

Uma troca rápida de ferramentas significa um tempo de *setup* reduzido e menores perdas por espera.

2.3 Simulação de Eventos Discretos

A técnica de modelagem e simulação de sistemas permite criar, em computadores, ambientes virtuais os quais imitam o comportamento de praticamente qualquer tipo de sistema.

Banks (*et al*, 1996) diz que simulação é a imitação da operação de um processo do mundo real ou de um sistema ao longo do tempo. E através desta, é possível fazer inferências sobre o sistema real.

O comportamento do sistema real é analisado através de um modelo, construído por suposições sobre o sistema real. Estas suposições são expressas de maneira lógica, simbólica ou matemática, relacionando entidades e/ou objetos de interesse do sistema.

Após o desenvolvimento e validação do modelo, podem ser testadas varias possibilidades alternativas do sistema, prevendo o impacto no sistema real, mas sem correr os riscos ou se sujeitar aos gastos do sistema real. A simulação é utilizada também em projetos de sistemas produtivos. Assim é considerada uma ferramenta de análise para sistemas passivos de mudanças, e ferramenta de projeto, auxiliando na previsão do desempenho do sistema, sob diferentes circunstâncias.

Segundo Hillier e Liberman (2000, *apud* CASALINHO *et al*, 2011)⁹, a simulação de eventos discretos é aquela onde os eventos ocorrem instantaneamente em pontos singulares do tempo. Ao contrário da simulação contínua, onde os estados mudam gradativamente a partir de even-

⁹ HILLIER, F.; LIBERMAN, G. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 2000.

tos que ocorrem ao longo de intervalos de tempo. Deste modo, torna-se um dos métodos mais utilizados para tomada de decisões.

2.3.1 Arena

Segundo a documentação do próprio Arena, este é um software de simulação de sistemas de produção utilizado com a finalidade de obter as melhores decisões de negócios. Permite criar modelos de forma rápida e intuitiva e testar diferentes formas de processos.

A documentação define cinco passos básicos para realizar a atividade de simulação:

- a) Criar o modelo básico por meio da interface intuitiva, apenas arrastando e soltando módulos para compor o fluxograma na área principal;
- b) Aperfeiçoar o modelo adicionando dados do mundo real;
- c) Simular o modelo e verificar a consistência com o mundo real;
- d) Analisar os resultados da simulação com o auxílio de relatórios automáticos gerados pelo programa e avaliar melhores decisões.
- e) Optar pela melhor alternativa e fazer as alterações necessárias no modelo para aprimorar os resultados e identificar soluções.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 A Empresa

Localizada no Parque Industrial Bandeirantes, em Maringá, Paraná, a Tornol Indústria e Comércio de Componentes Automotivos (de nome fantasia “Thor”), tem suas instalações produtivas ocupando uma área de aproximadamente 5000m². Produzindo componentes automotivos para a linha pesada há mais de quinze anos, a Thor (como é popularmente conhecida) tem seus produtos vendidos em todas as regiões do Brasil. A equipe de vendas dá suporte a um grupo de representantes comerciais, responsável por divulgar e disseminar os produtos em autopeças, mecânicas, indústrias e revendas de todo o país.

A empresa trabalha com uma ampla gama de produtos, sendo a grande maioria, componentes do sistema de suspensão de veículos de carga. Dentre os principais produtos oferecidos pela empresa, destacam-se: balanças, buchas, tensores, mancais, esfregas, suportes, pinos, travas, arruelas.

3.1.1 Missão

Produzir peças automotivas com eficiência e eficácia para obter uma entrega ágil, garantindo a segurança dos clientes internos e externos.

3.1.2 Política de qualidade

Oferecer produtos conforme os requisitos internos e de seus Clientes, garantindo o processo produtivo com qualidade, segurança e eficiência.

Por meio da melhoria contínua, treinamento e a conscientização de seus colaboradores, a THOR busca a geração de lucro para a organização, respeitando e preservando o ambiente que ela está inserida.

3.1.3 Organograma

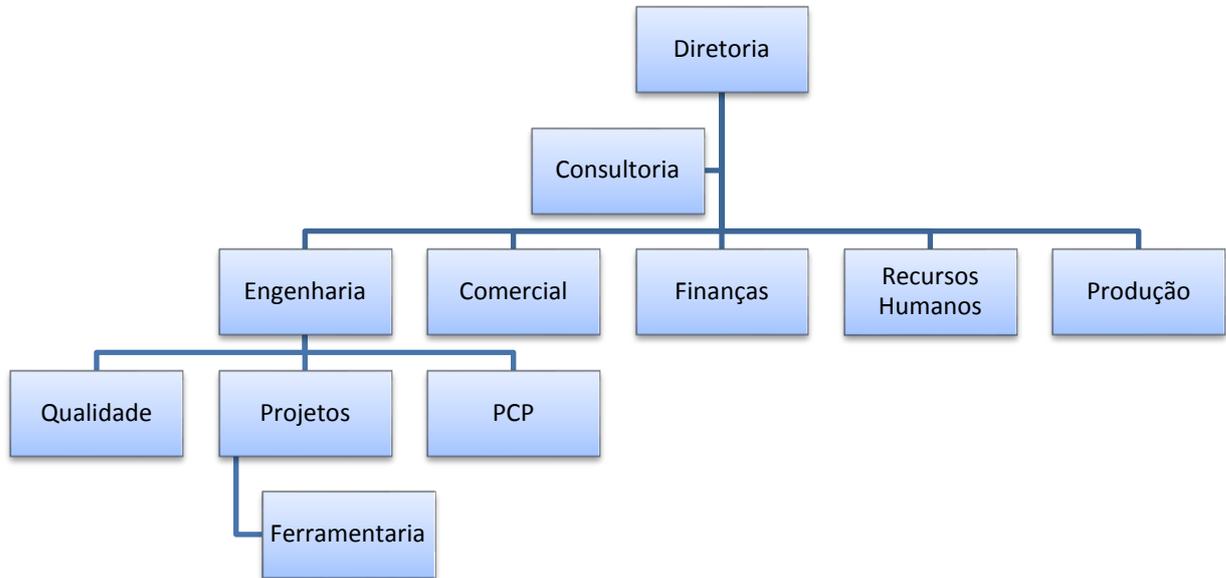


Figura 3 - Organograma da Empresa

3.1.4 Função produção

A Mentalidade Enxuta é um conceito que se estende por todo o processo pelo qual um produto é requisitado e chega nas mãos do cliente. O fluxo parte do próprio cliente, passa pela cadeia de fornecedores, pelo processo produtivo completo e pela expedição e entrega para o cliente. No entanto, o escopo do trabalho restringe o estudo ao sistema produtivo da indústria, e para facilitar o entendimento, é mostrado, na Figura 4, um organograma da função produção, de maneira vertical, como é comumente apresentado.

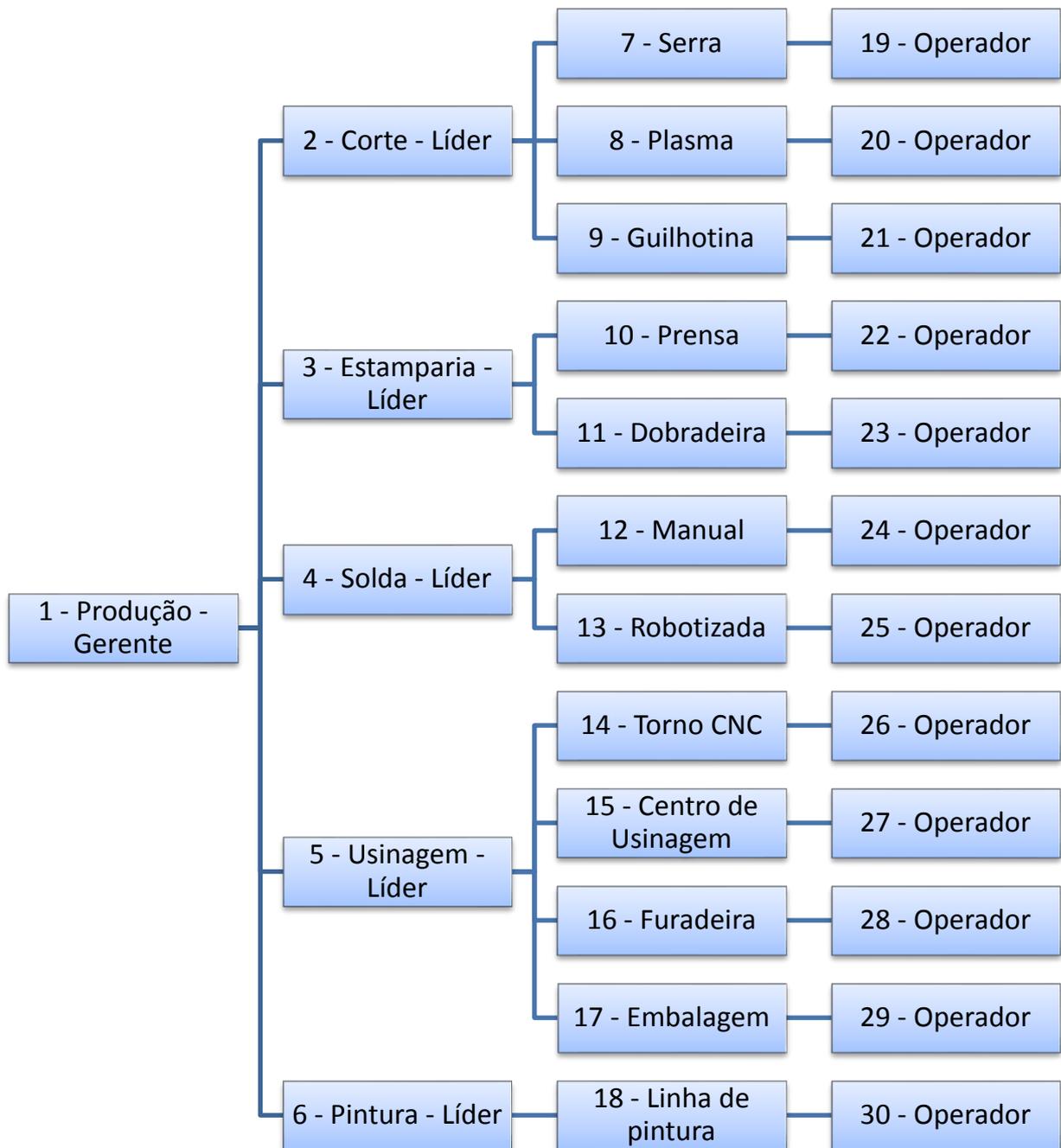


Figura 4 - Organograma da Função Produção

3.1.5 Processamento de pedido

A Mentalidade Enxuta propõe uma visão horizontal do processo, uma forma de compreender todas as etapas de fabricação que juntas formam o processo completo. Na Figura 5, é mostrado o fluxo de informações que constitui o Processamento de Pedido:

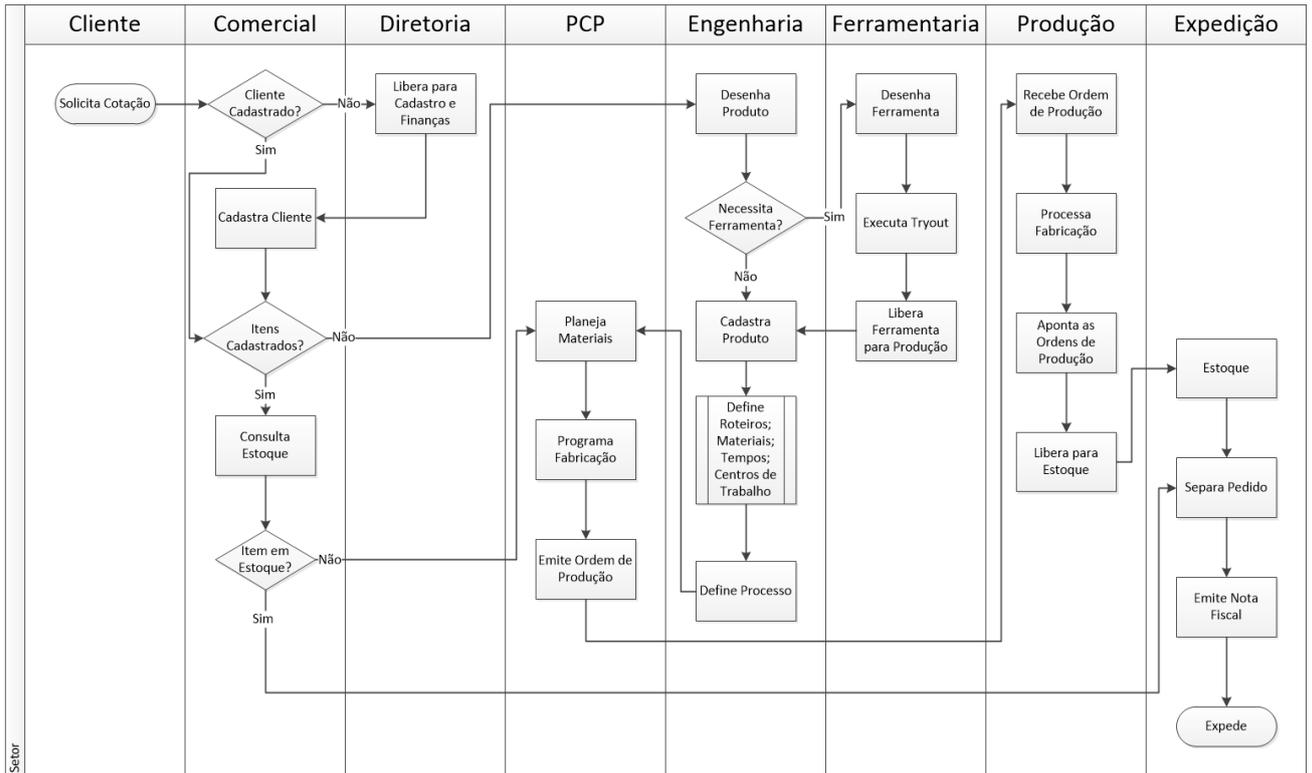


Figura 5 - Fluxograma do Processamento de Pedidos

3.1.6 Arranjo físico

Ainda a fim de elucidar o ambiente de produção, é representado, na Figura 6, um esboço do *Layout* do sistema produtivo:

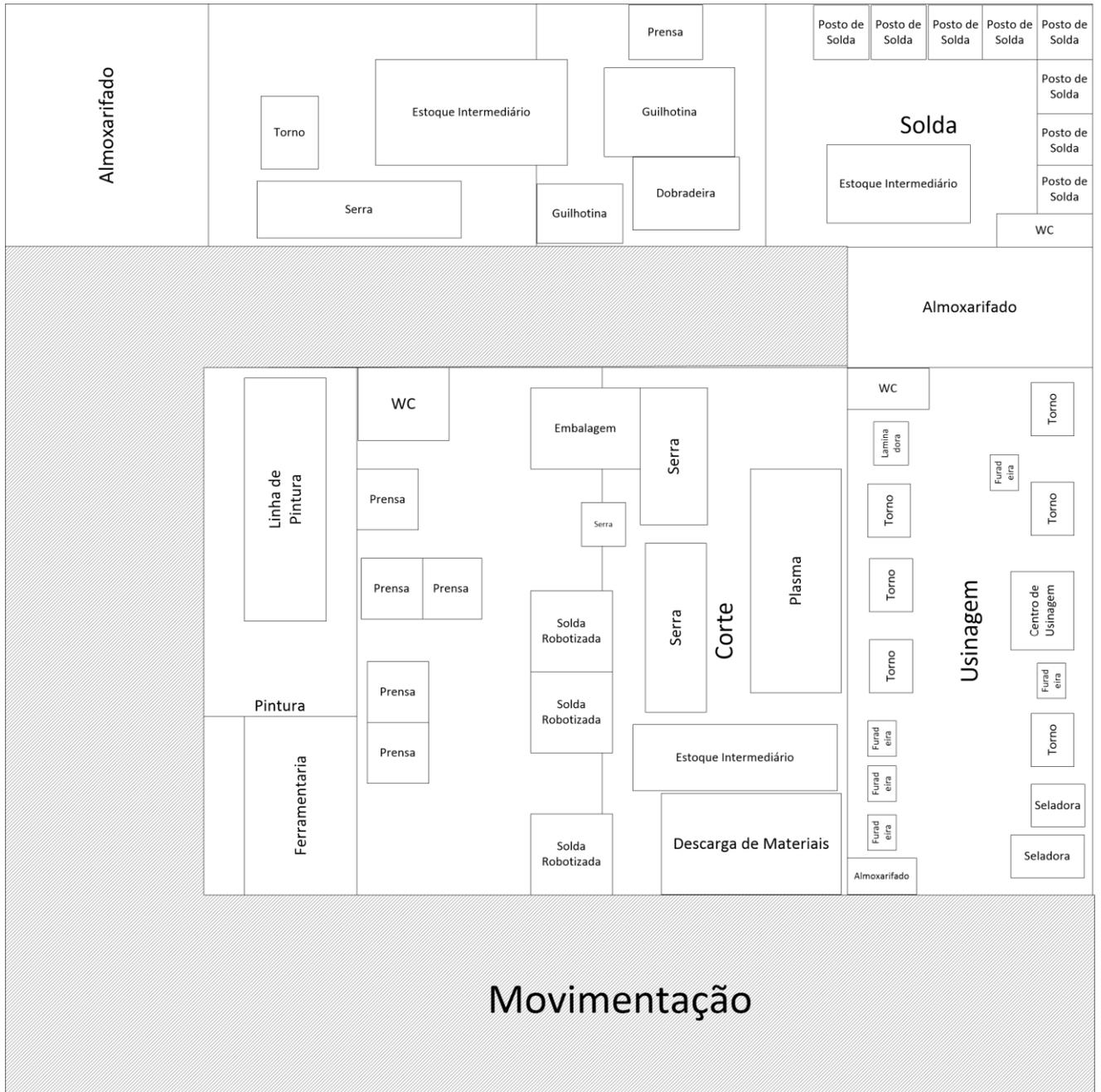


Figura 6- Esboço do Layout do Sistema Produtivo

Além da estrutura esboçada acima (galpão principal) há o setor de expedição, que fica em outro endereço.

3.2 O Produto

Para a realização do estudo, foi escolhido o processo de produção de balanças por serem itens cujo número de vendas é elevado, estando assim em constante produção.

A balança é um componente que faz parte da suspensão automotiva pesada (utilizada em veículos de transporte de carga, como caminhões, carretas, canavieiras, entre outros). Ela é responsável pela distribuição da carga entre dois eixos consecutivos da carroceria. É um componente robusto, feito de aço, que absorve variações na distribuição das forças ao longo da área de atuação da carga, na carroceria.

A Figura 7 mostra o sistema de suspensão da carroceria de um caminhão.



Figura 7 - Suspensão de Veículo de Carga

A balança é o componente central, que dá mobilidade ao molejo no momento da absorção da carga. A Figura 8 mostra alguns dos modelos de balanças produzidos pela empresa.

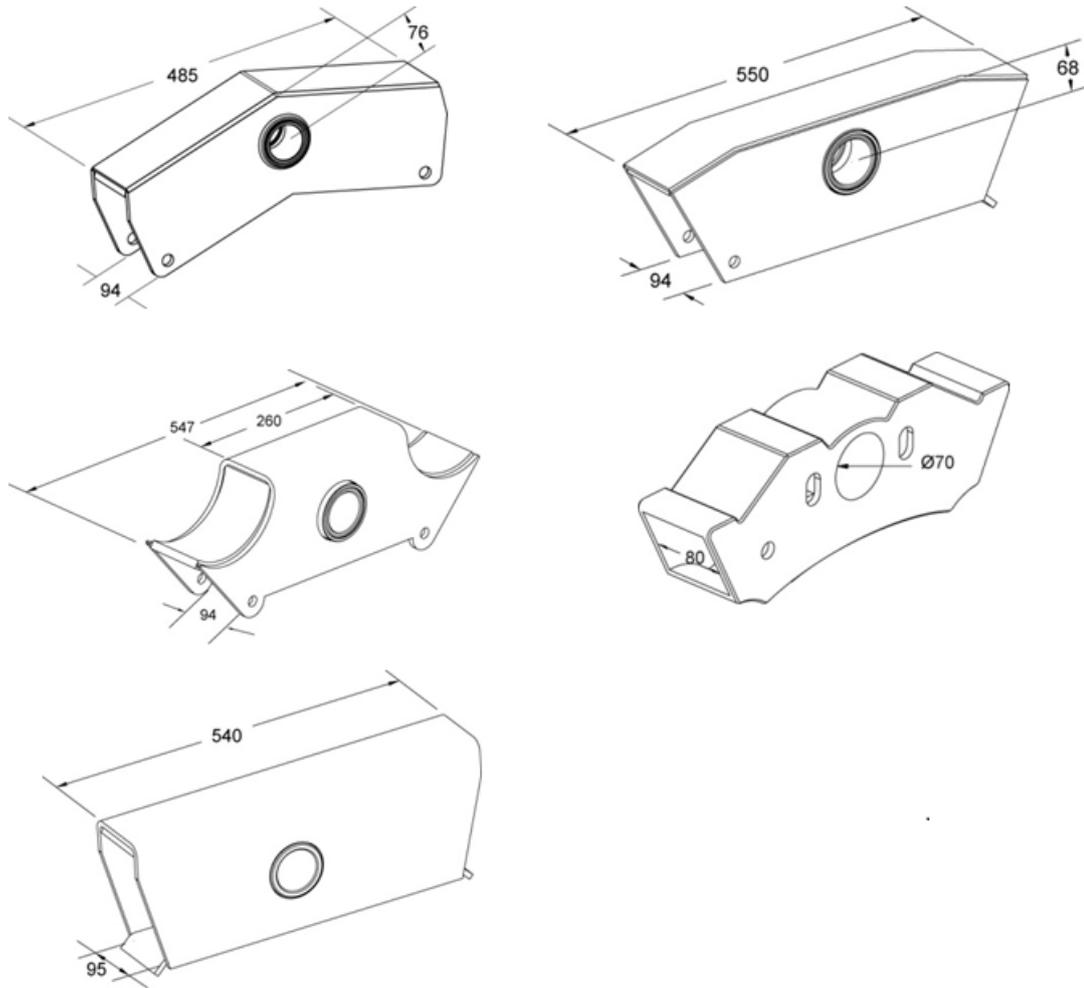


Figura 8 - Alguns modelos de Balança

3.2.1 Processo de fabricação

O processo genérico de fabricação de uma balança é ilustrado na Figura 9.

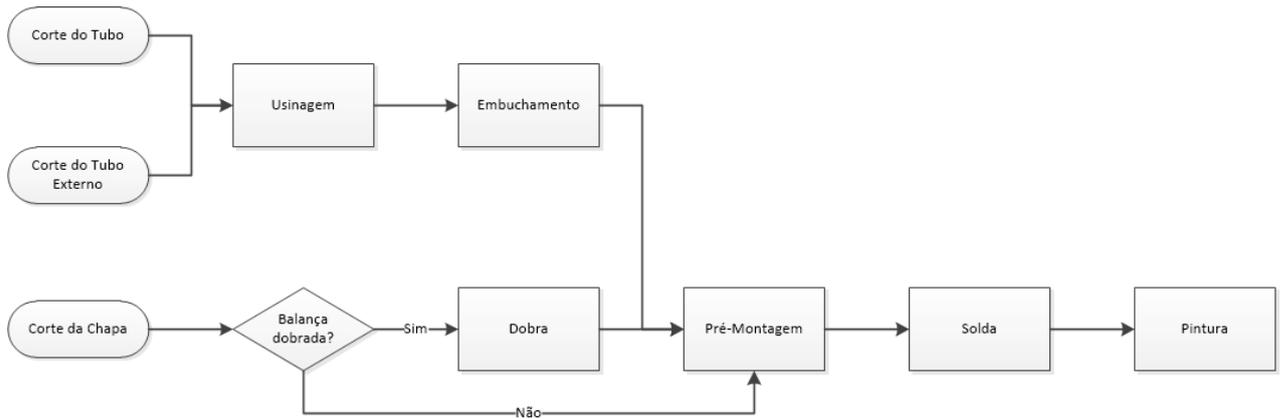


Figura 9 - Processo básico de produção de balanças

3.3 Simulação do Sistema

O processo genérico utilizado pela empresa para a produção de balanças consiste na produção individual de alguns componentes, a partir de chapas e tubos de aço, a montagem do conjunto (a balança, propriamente dita) e sua pintura.

O processo de produção é iniciado a partir de informações de pedidos, ou estoques baixos. Afim de prever os impactos advindos da implantação da mentalidade enxuta no sistema (o que envolve muito mais que apenas os processos diretos de produção) é interessante modelar outros fluxos além do evidente fluxo de materiais. A Figura 10, ilustra o fluxo de informações associado ao sistema.

Fluxo de Informação Referente à Produção de Balanças

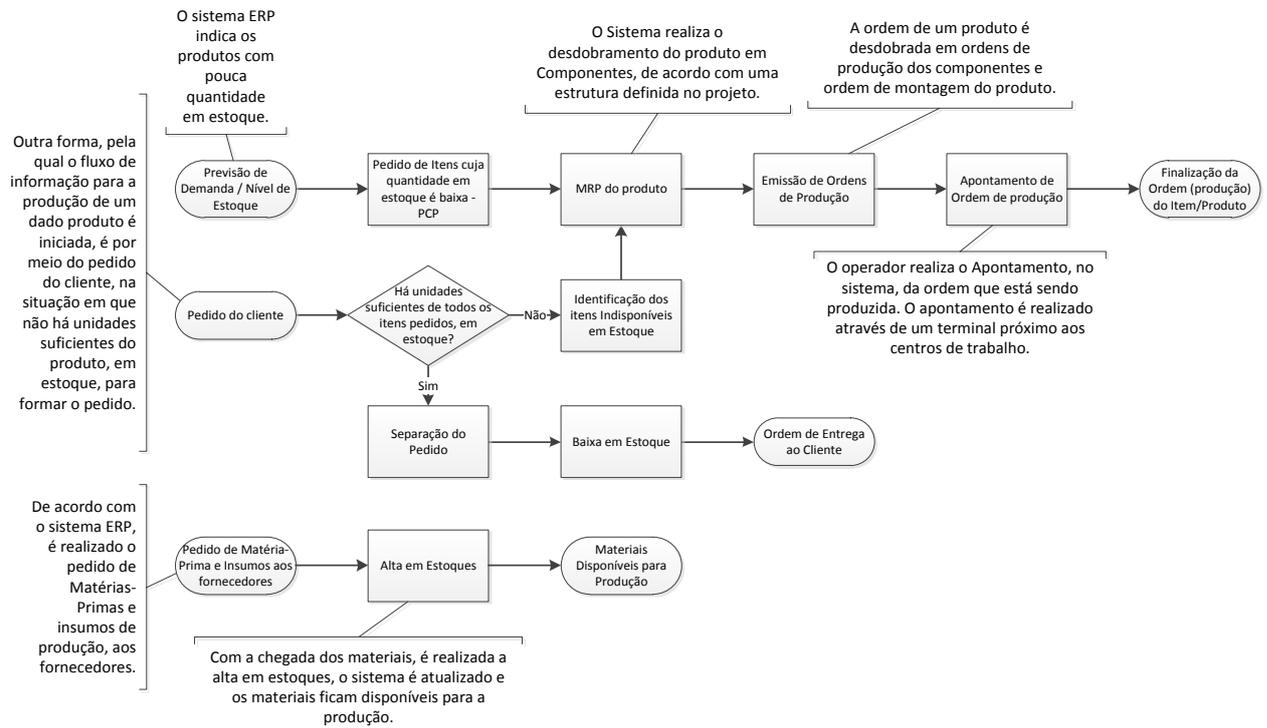


Figura 10 - Fluxo de informações

A Figura 11, apresenta o fluxo de materiais referente à produção de uma balança (genérica).

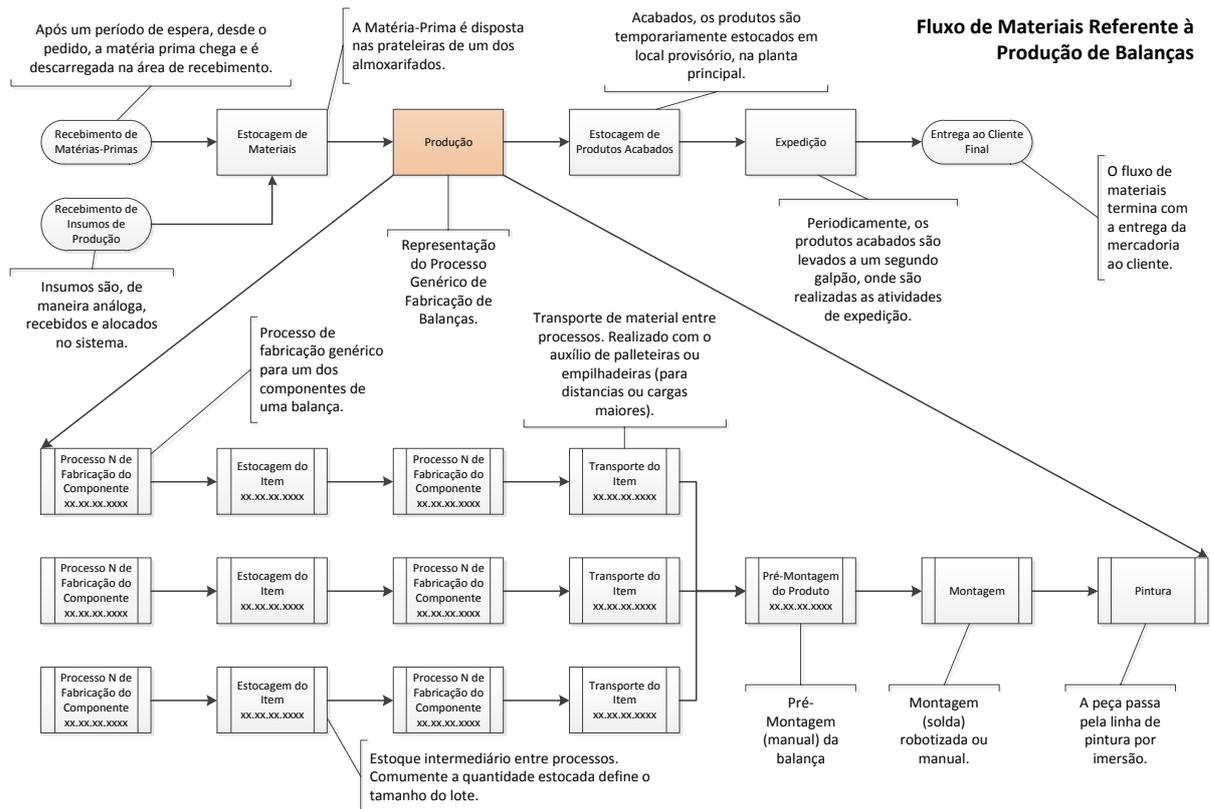


Figura 11 - Fluxograma da Produção de Balanças

Para o modelo base de simulação do sistema, foram utilizadas 69 balanças, das produzidas pela empresa e informações referentes ao seu processo real. A Tabela 1 - Identificação das balanças utilizadas no modelo mostra uma lista com o código e descrição das balanças utilizadas no modelo. Para cada balança listada, há um grupo específico de componentes, como mostra a Tabela 2.

Tabela 1 - Identificação das balanças utilizadas no modelo

Identificador	Código Comercial	Descrição
1	(0001-0)	Bal. SR - RN - Ø50
2	(0002-0)	Bal. SR - RN - Ø60
3	(0003-0)	Bal. SR - RN - Ø60
4	(0004-0)	Bal. TR - Cavalo - RN - Ø50
5	(0005-0)	Bal. TR - RN - Ø50
6	(0006-0)	Bal. TR - RN - Ø60
7	(0006-A-0)	Bal. TR - RN - Ø60
8	(0007-0)	Bal. TR - RD - Ø50
9	(0008-0)	Bal. SR - RN - Ø60
10	(0009-0)	Bal. TR - RN - Ø60
11	(0010-0)	Bal. TR - RN - Ø60

12	(0011-0)	Bal. SR - RN - Ø50
13	(0012-0)	Bal. SR - RN
14	(0013-0)	Bal. SR - RN - Ø50
15	(0020-0)	Bal. SR - GR - Ø50
16	(0021-0)	Bal. SR - GR - Ø50
17	(0022-0)	Bal. TR - GR - LD - LE - Ø50
18	(0024-0)	Bal. TR - GR - Ø50
19	(0025-0)	Bal. TR - GR - Ø50
20	(0026-0)	Bal. TR - GR - Ø50
21	(0027-0)	Bal. TR - GR - Ø50
22	(0030-0)	Bal. SR - NO - Ø61,5
23	(0031-0)	Bal. SR - NO - Ø61,3
24	(0032-0)	Bal. SR - NO - Ø60,8
25	(0033-0)	Bal. CV - NO - Ø62
26	(0040-0)	Bal. TR - ID - Ø60
27	(0041-0)	Bal. SR - ID - Ø60
28	(0042-0)	Bal. TR - ID - Ø60
29	(0050-0)	Bal. SR - FA - Ø60
30	(0051-0)	Bal. TR - FA - Ø60
31	(0052-0)	Bal. SR - FA - Ø50
32	(0053-0)	Bal. Susp. Dist. LD - SR - FA - Ø50
33	(0054-0)	Bal. Susp. Dist. LE - SR - FA - Ø50
34	(0055-0)	Bal. Susp. Dist. LD - SR - FA - Ø60
35	(0056-0)	Bal. Susp. Dist. LE - SR - FA - Ø60
36	(0060-0)	Bal. SR - KR - Ø60
37	(0061-0)	Bal. SR - KR - Ø 60
38	(0062-0)	Bal. TR - KR - Ø50
39	(0063-0)	Bal. SR - KR - Ø70
40	(0070-0)	Bal. TR - SC - Ø50
41	(0071-0)	Bal. SR - SC - Ø60
42	(0072-0)	Bal. SR - SC - Ø50
43	(0073-0)	Bal. SR - SC - Ø50
44	(0074-0)	Bal. SR - SC - Ø50
45	(0080-0)	Bal. SR - RC - Ø60
46	(0081-0)	Bal. SR - RC - Ø60
47	(0082-0)	Bal. SR - RC - Ø 60
48	(0090-0)	Bal. TR - PA - Ø56
49	(0091-0)	Bal. TR - PA - Ø56
50	(0092-0)	Bal. SR - PA - Ø56
51	(0093-0)	Bal. TR - PA - Ø56
52	(0094-0)	Bal. Cavalo - PA - Ø56
53	(0095-0)	Bal. SR - PA - Ø56
54	(0100-0)	Bal. TR - GA - Ø64
55	(0101-0)	Bal. SR - GA - Ø64
56	(0105-0)	Bal. TR - NO - Ø61,5
57	(0110-0)	Bal. TR - RN - RD - Ø50
58	(0111-0)	Bal. TR - RN - RD - Ø60
59	(0116-0)	Bal. TR - Suspensys - MB - Ø50

60	(0117-0)	Bal. TR - Suspensys - FC - VW - Ø50
61	(0118-0)	Bal. TR - Cavalo - Suspensys - Ø50
62	(0120-0)	Bal. SR - UP - Ø50
63	(0121-0)	Bal. TR - Suspensys - Ø50
64	(0122-0)	Bal. TR - Suspensys - Ø50
65	(0123-0)	Bal. TR - Suspensys - Vol - Sca - Ø50
66	(0125-0)	Bal. TR - MI - Ø60
67	(0130-0)	Bal. SR - FNV
68	(0133-0)	Bal. SR - MT - Ø60
69	(0141-0)	Bal. Susp. Dist. LE - SR - RF - Ø50

A Tabela 1 contém os códigos internos utilizados no modelo de simulação no *Arena* para as balanças, que também são identificadas por seu código comercial.

Tabela 2 - Componentes por balança

Id. Bal.	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7	Comp. 8
1	4	20	40	59	60	61		
2	9	24	40	60	61	62		
3	8	23	40	63	64			
4	4	20	66	67	68	69		
5	4	20	46	70				
6	7	22	44	71	72	73		
7	7	22	44	72	73	89		
8	4	20	44	73	186			
9	12	29	42	74	75	76		
10	7	22	44	73	77			
11	9	24	46	78				
12	4	20	79	80	81	82		
13	41	83	84	85	86	87		
14	4	20	40	80	81	88		
15	4	20	109	110	111	112		
16	5	25	40	65	113	114		
17	4	20	40	122	123	124	125	
18	4	20	46	115	116			
19	4	20	43	117	118	119	120	
20	4	20	47	65	121			
21	4	20	44	126	127			
22	7	26	40	60	61	62		
23	8	26	40	136	137	138		
24	8	26	40	139	140			
25	17	43	141	142				
26	7	22	43	157	158	159		
27	24	40	65	160	161			
28	7	22	43	162	201			
29	9	24	43	128	129	130		
30	8	23	44	131	132	133		

31	4	43	129	130	134			
32	4	19	34	48	49	50	65	
33	4	19	34	48	49	50	51	65
34	21	34	49	50	51	52	65	
35	33	21	34	49	50	51	52	65
36	10	29	39	151	163			
37	9	24	40	65	164			
38	3	25	44	73	165			
39	1	36	151	166				
40	3	25	46	187	201			
41	11	29	47	188				
42	6	25	47	189				
43	13	31	43	65	190	191		
44	4	20	43	192	193	194		
45	10	29	42	182				
46	12	29	42	183	184			
47	9	24	40	65	185			
48	14	30	37	136	171			
49	14	30	37	136	172			
50	15	30	38	65	173			
51	37	14	30	178	177			
52	16	30	174	175	176			
53	30	176	179	180	181			
54	7	44	73	148	149	150	151	
55	9	28	40	65	153	154	155	
56	7	26	46	135	136			
57	2	18	44	199	200	201		
58	7	44	200	201	202			
59	2	18	46	100	101	102		
60	4	20	100	103	104	105		
61	5	25	90	91	92	93		
62	4	20	95	195	196	197	198	
63	4	20	90	94	95	96		
64	2	18	90	97	98	99		
65	4	20	35	61	106	107	108	
66	7	22	45	65	170			
67	44	143	144	145	146	147		
68	11	21	47	167	168	169		
69	54	55	56	57	58			

Os códigos apresentados na Tabela 2 - Componentes por balança são códigos utilizados para identificar as balanças e seus respectivos componentes constituintes, dentro do modelo de simulação do *Arena*.

Cada componente possui uma sequência específica de processos (aqui chamados, subprocessos) pelos quais deve passar para que se obtenha o componente final desejado. A Tabela 3 apresenta a sequência de subprocessos genéricos para 15 dos 202 componentes utilizados no modelo.

Tabela 3 - Sequencia de subprocessos de cada componente

CompID	SProc1	SProc2	SProc3	SProc4	SProc5	SProc6	SProc7
1	SERRAR	CORTAR TIRAS	CORTAR PEÇAS	ENROLAR J	ENROLAR O	SOLDAR	USINAR
2	SERRAR	USINAR CORPO	EMBUCHAR				
3	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
4	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
5	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
6	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
7	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
8	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
9	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
10	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
11	CORTAR TIRAS	CORTAR BLANK	ENROLAR J	ENROLAR O	USINAR CORPO	SOLDAR BUCHA	EMBUCHAR
12	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
13	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
14	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				
15	SERRAR	USINAR	EMBUCHAR				

Como os processos (sequências de subprocessos genéricos) se repetem para muitos dos componentes, uma relação entre processos e subprocessos (que o compõem) foi criada. Deste modo pode-se tratar o processo sem que haja redundância e conflitos. A Tabela 4 mostra essa relação para 25 dos 93 processos identificados.

Tabela 4 - Relação de processos e subprocessos

Processos	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	NP6	NP7	NP8
Proc 1	SP 47	SP 55	SP 20					
Proc 2	SP 47	SP 51						
Proc 3	SP 9	SP 3						
Proc 4	SP 8	SP 32	SP 26					
Proc 5	SP 9	SP 4	SP 19					
Proc 6	SP 9	SP 4						
Proc 7	SP 44	SP 39	SP 42					
Proc 8	SP 47	SP 51	SP 20					
Proc 9	SP 47	SP 55						
Proc 10	SP 8	SP 28	SP 26					
Proc 11	SP 47	SP 51						
Proc 12	SP 10	SP 4	SP 46	SP 46	SP 28	SP 26	SP 12	
Proc 13	SP 9	SP 5	SP 15					
Proc 14	SP 9	SP 5						
Proc 15	SP 9	SP 3	SP 16					
Proc 16	SP 8	SP 25	SP 27	SP 17				
Proc 17	SP 8	SP 28	SP 26	SP 11				
Proc 18	SP 9	SP 5	SP 15					
Proc 19	SP 39	SP 42						
Proc 20	SP 8	SP 25	SP 27	SP 17	SP 17			
Proc 21	SP 2	SP 13	SP 45	SP 36	SP 26	SP 28	SP 11	
Proc 22	SP 2	SP 23	SP 17					
Proc 23	SP 2	SP 37	SP 17					
Proc 24	SP 8	SP 28	SP 26	SP 12				
Proc 25	SP 9	SP 5	SP 17					

Cada componente permanece em um subprocesso por um tempo específico, de forma que para estimar informações sobre a capacidade produtiva, é necessário controlar o tempo que cada componente permanece em casa subprocesso. A Tabela 5 mostra os tempos de processamento para 20 dos 202 componentes utilizados no modelo.

Tabela 5 - Tempo em que os componentes permanecem em processamento.

Id. Comp.	Tempo 1(s)	Tempo 2(s)	Tempo 3(s)	Tempo 4(s)	Tempo 5(s)	Tempo 6(s)	Tempo 7(s)	Tempo 8(s)
1	3.73	6.71	6.71	13.27	28.86	21.73	32.92	0.00
2	3.73	32.92	9.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	6.71	5.76	13.27	28.86	39.38	9.36	21.73	0.00
12	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

14	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	3.73	34.52	9.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	6.16	5.76	13.27	28.86	21.73	37.92	9.36	0.00
17	5.45	4.48	13.26	28.84	20.79	21.73	0.00	0.00
18	18.24	76.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	27.68	35.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	25.78	54.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De modo análogo, também há tabelas para tempos e processos de Conjuntos (formados a partir da montagem dos componentes) como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 - Tempos e subprocessos para conjuntos.

BallID	Tempo1	Tempo2	Tempo3	Proc1	Proc2	Proc3
1	121.25008	485.00032	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
2	125.9174245	503.6696979	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
3	129.0832187	516.3328749	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
4	126.1786368	504.7145472	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
5	82.05324919	328.2129967	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
6	641.7777529	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
7	641.78	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
8	473.3920164	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
9	557.5296384	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
10	495.3597683	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
11	433.6029683	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
12	115.5806817	462.3227268	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
13	622.9	62.48	30.7326143	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
14	115.5806817	462.3227268	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
15	123.0967933	492.3871733	62.48	PRÉ-MONTAGEM - SOLDA	MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR
16	636.5892617	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
17	672.668239	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
18	444.8500539	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
19	669.5211174	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	
20	556.6762573	62.48		MONTAGEM FINAL - SOLDA	PINTAR	

Os tempos apresentados são médias de tempos reais em segundos, obtidos a partir dos processos reais.

3.3.1 Modelagem

O sistema foi modelado utilizando-se o ambiente de modelagem e simulação Arena 13.9, e será descrito nas próximas subseções.

Foram feitos ensaios de simulação de duração de vinte dias, considerando seis cenários diferentes:

- a) Cenário 1: Sistema em condições normais (simula o sistema utilizando lotes de 60 unidades e tempos normais de *setup*);
- b) Cenário 2: Sistema com lotes reduzidos (simula o sistema utilizando lotes de 30 unidades e tempos normais de *setup*);
- c) Cenário 3: Sistema com lotes unitários (simula o sistema utilizando lotes unitários e tempos normais de *setup*);
- d) Cenário 4: Sistema com lotes normais e *setup* reduzido (simula o sistema utilizando lotes de 60 unidades e tempos de *setup* reduzidos à metade do tempo original);
- e) Cenário 5: Sistema com lotes e *setup* reduzido (simula o sistema utilizando lotes de 30 unidades e tempos de *setup* reduzidos à metade do tempo original);
- f) Cenário 6: Sistema com lotes unitários e *setup* reduzido (simula o sistema utilizando lotes unitários e tempos de *setup* reduzidos à metade do tempo original).

3.3.1.1 Fluxo de Informações

A produção é iniciada a partir de ordens de produção, emitidas pelo setor de PCP (Programação e Controle da Produção). Estas ordens são emitidas para que sejam produzidas unidades suficientes para suprir os níveis médios de estoques de cada balança, ou para atender a pedidos cujos itens não estejam disponíveis em estoque.

O encarregado pelo PCP avalia os níveis de estoque (disponíveis pelo sistema de gestão empresarial) e de acordo com a programação da produção mensal, emite as ordens para cada balança individualmente. O processo é todo manual, e inclui a tarefa de distribuir as ordens (em papel) nos diversos setores da fábrica.

Uma maneira de representar este fluxo de informações no Arena é utilizando o diagrama mostrado na Figura 12.

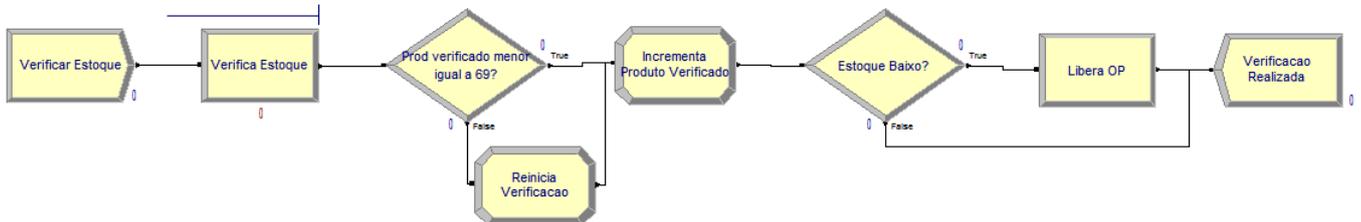


Figura 12 - Modelo do fluxo de informações no ambiente Arena.

O módulo Verificar Estoque (do tipo *Create*) cria 69 entidades do tipo Verificação, por dia (que representam a verificação diária dos níveis de estoque para cada balança e eventual emissão de ordens caso estejam baixos). O módulo Verifica Estoque (do tipo *Process*) representa o encarregado de PCP, que verifica a situação de um único modelo de balança a uma distribuição triangular definida (com o auxílio da ferramenta *Input Analyser*) no sistema como TRIA(5,6.66,10.2) minutos. Em seguida há um artifício criado com os módulos *Decide* e *Assign* que simula um ciclo pelo qual todas as 69 balanças têm seus níveis de estoque verificados e, terminado o ciclo, este é reiniciado com a verificação referente à balança de número 1, novamente. Em seguida há um módulo de decisão que, caso o estoque da balança corrente esteja abaixo, libera a entidade para o módulo Libera OP (do tipo *Signal*). Ao final do fluxo a entidade Verificação é descartada por meio de um módulo *Dispose*, representando a verificação realizada para aquele modelo de balança.

3.3.1.2 Preparação da produção

A partir das ordens de produção, os processos são iniciados, e se inicia o fluxo de materiais. A Figura 19 mostra como foi modelado este processo.

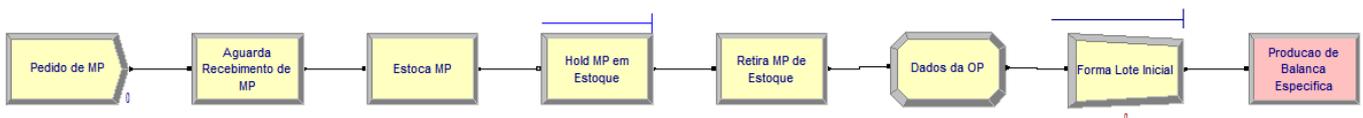


Figura 13 - Preparação da produção com o início do fluxo de materiais.

A fim de poder simular uma porção mais abrangente da cadeia produtiva, o processo é iniciado com o módulo Pedido de MP que, junto com o módulo subsequente, representa o

processo do pedido à chegada de matéria-prima no sistema. Em seguida o módulo Estoca MP (do tipo *Store*) atribui uma nova quantidade ao estoque de matéria-prima. Estas entidades (representando a matéria-prima) não passam do módulo Hold MP em Estoque (do tipo *Hold*) até que este receba um sinal (emitido pelo módulo Libera OP, do fluxo de informações, descrito acima). Ao receber o sinal, a entidade passa pelo módulo Retira MP de Estoque (do tipo *Unstore*) que retira uma unidade do estoque de matéria prima, mantendo o controle. O módulo seguinte (do tipo *Assign*) define alguns atributos como o ID da balança (identificador que a diferencia entre os 69 modelos) e a quantidade a ser produzida. A seguir, o lote inicial (a princípio de 60 unidades) é formado e a balança (entidade que representa uma balança a ser feita, pois o que existe nesse momento é, apenas, matéria-prima) segue para outra parte do processo, mostrado na Figura 14.

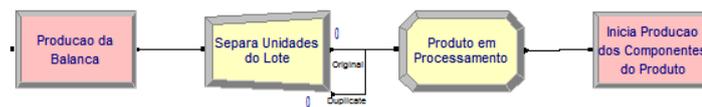


Figura 14 - Fluxo que inicia a separação por componentes.

As unidades são recebidas pelo módulo Produção da Balança (*Station*), em seguida passam por um módulo *Separate* que separa as unidades do lote de acordo com o tamanho do lote (a princípio 60 unidades). O módulo Produto em Processamento (*Assign*), seguinte, inclui estas unidades no estoque intermediário interno (que representa quantas unidades estão passando pelo processo em um dado momento). Ao final, o módulo Inicia Produção dos Componentes do Produto (do tipo *Route*) envia estas unidades para serem decompostas nos componentes que formam aquele produto. Isto é realizado com auxílio dos módulos de dados *File* e *Variable*, que importam campos nomeados de arquivos externos (como planilhas do Microsoft Excel, por exemplo) e os deixam disponíveis como matrizes de variáveis internas. A Figura 15, mostra a tela de exibição do módulo de dados *Variable*, contendo as matrizes que foram importadas de um arquivo externo e estarão disponíveis para serem utilizadas após a inicialização da simulação.

Variable - Basic Process										
	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	File Name	Recordset	File Read Time	Initial Values	Report Statistics
1	VProdProcs	69	8	String	System	Dados	ProdProcs	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
2	VCompTempos	202	8	String	System	Dados	CompTempos	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
3	VProdComps	69	8	String	System	Dados	ProdComps	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
4	VCompSProcs	202	9	String	System	Dados	CompSProcs	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
5	VConjProc	69	1	String	System	Dados	ConjProc	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
6	VConjSprocs	69	4	String	System	Dados	ConjSProcs	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
7	VProdQtdComp	69	1	String	System	Dados	ProdQtdComps	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
8	VProdEstoque	69	5	String	System	Dados	ProdEstoque	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
9	ProdVerificadoE			Real	System			BeginReplication	1 rows	<input type="checkbox"/>
10	EIntermediario	69		Real	System			BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
11	ProdQtdItem	69	9	Real	System			BeginReplication	621 rows	<input type="checkbox"/>
12	VCompCTs	202	8	String	System	Dados	CompCTs	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
13	VConjCTs	69	3	String	System	Dados	ConjCTs	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
14	MaqProd	200	2	Real	System			BeginReplication	1 rows	<input type="checkbox"/>
15	CTID	200	1	Real	System			BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
16	CTs	22	1	String	System			BeginReplication	22 rows	<input type="checkbox"/>
17	VSetup1	202	8	String	System	Dados	TSetup1	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
18	VSetup2	202	8	String	System	Dados	TSetup2	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
19	VSetup3	69	4	String	System	Dados	TSetup3	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
20	VSetup4	69	4	String	System	Dados	TSetup4	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
21	VCompTT	202	8	String	System	Dados	CompTT	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
22	VCompTRec	202	8	String	System	Dados	CompTRec	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
23	VConjTT	69	3	String	System	Dados	ConjTT	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
24	VConjTRec	69	3	String	System	Dados	ConjTRec	BeginReplication	0 rows	<input type="checkbox"/>
25	TamanhoLote			Real	System		TLote	BeginReplication	1 rows	<input type="checkbox"/>

Figura 15 - Tela de exibição do módulo de dados *Variable*

As entidades são repassadas para alguns fluxos auxiliares, que são utilizados para decompor a ordem de produção em ordens de produção dos componentes do produto. As entidades são passadas para estes fluxos de acordo com atributos que definem a quantidade de componentes diferentes que formam uma determinada balança. A Figura 16, mostra um destes fluxos auxiliares (o fluxo utilizado para decompor um produto que é formado por quatro componentes, nos próprios quatro componentes). Em seguida, há módulos do tipo *Separate* pelos quais passam cada componente recém criado. Estes módulos duplicam a quantidade de componentes que passa por ele, dinamicamente, de acordo com variáveis específicas (útil para produzir dois componentes repetidos em uma balança, as esfregas, ou laterais, por exemplo, das quais são necessárias duas unidades idênticas para compor algumas balanças). Ao final, um módulo do tipo *Route* envia cada componente para o primeiro subprocesso da produção, definido por meio da utilização do atributo *Entity.Sequence*, dinamicamente.

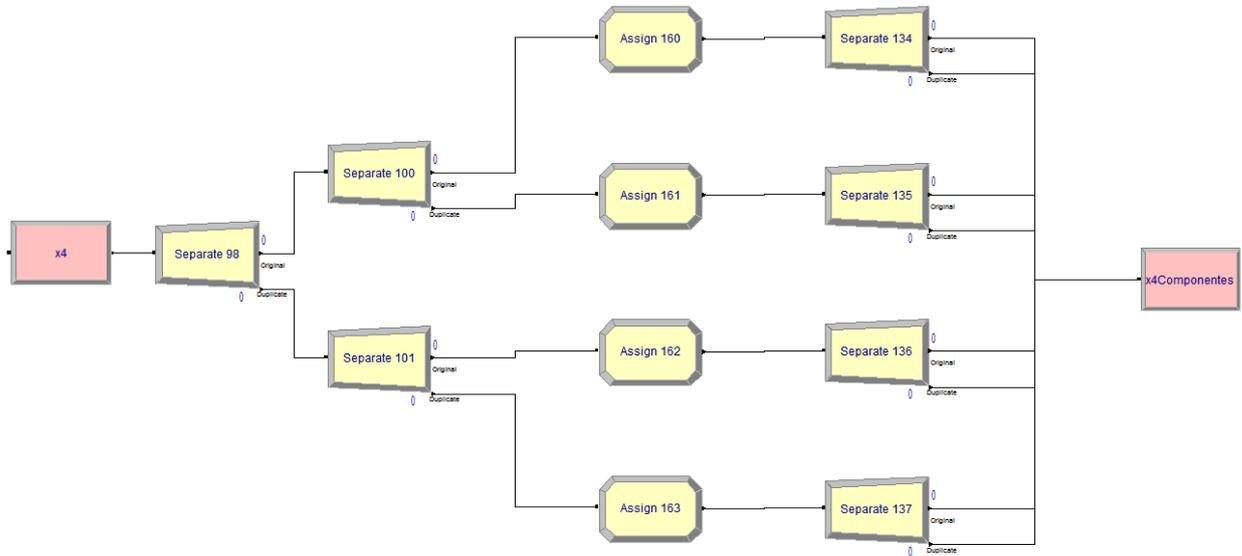


Figura 16 - Artificio utilizado para decompor a ordem de produção.

3.3.1.3 Sequenciamento da produção

No módulo de dados *Sequence*, cuja tela é mostrada na Figura 17, estão definidos os processos de fabricação dos componentes e conjuntos. Estas sequências são associadas às entidades por meio do atributo *Entity.Sequence*, e a partir de então, o módulo *Route* pode direcionar a entidade para a estação seguinte, definida naquela sequência.

Sequence - Advanced Transfer		
	Name	Steps
1	Proc 1	4 rows
2	Proc 2	3 rows
3	Proc 3	3 rows
4	Proc 4	4 rows
5	Proc 5	4 rows
6	Proc 6	3 rows
7	Proc 7	4 rows
8	Proc 8	4 rows
9	Proc 9	3 rows
10	Proc 10	4 rows
11	Proc 11	3 rows
12	Proc 12	8 rows

Steps				
	Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1	SP 47			0 rows
2	SP 55			0 rows
3	SP 20			0 rows
4	Fim			0 rows

Double-click here to add a new row.

Figura 17 – Alguns dos processos definidos no módulo de dados *Sequence*.

Por meio das sequências foi possível construir um mecanismo que reutilizasse os subprocessos (mostrados na Figura 18).

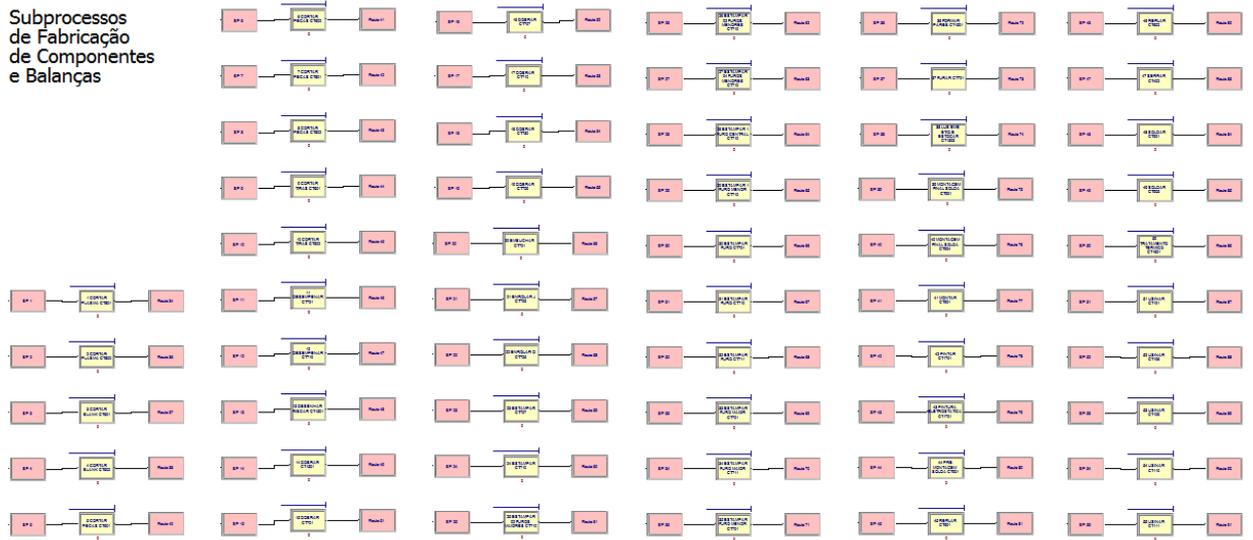


Figura 18 - Subprocessos de fabricação.

3.3.1.4 Processamento de itens

A Figura 19 mostra um dos subprocessos com detalhes. SP 15 é um módulo do tipo *Route* e é referenciado na sequência de alguns componentes. Estes passam pelo processo, permanecem pelo tempo necessário (dinamicamente estabelecido), ocupando os recursos necessários (no caso, o centro de trabalho 701 e um dos operadores do setor de dobra) e então após o fim do processamento são enviados, pelo módulo *Route*, para a formação de lotes.

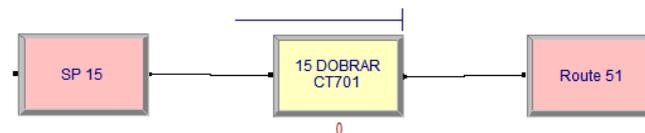


Figura 19 - Detalhe do subprocesso SP 15.

3.3.1.5 Formação de lotes, transporte e setups

Ao final de cada processamento, os itens são colocados em uma caixa (formando o lote) e levados para o próximo centro de trabalho. Este fluxo é modelado conforme mostra a Figura 26. O lote de mesmos componentes é formado e transportado para o próximo centro de traba-

lho. Antes de iniciar o processamento é realizado o *setup* no centro de trabalho. Detalhes do transporte e *setup* são mostrados nas Figura 21 e Figura 22.

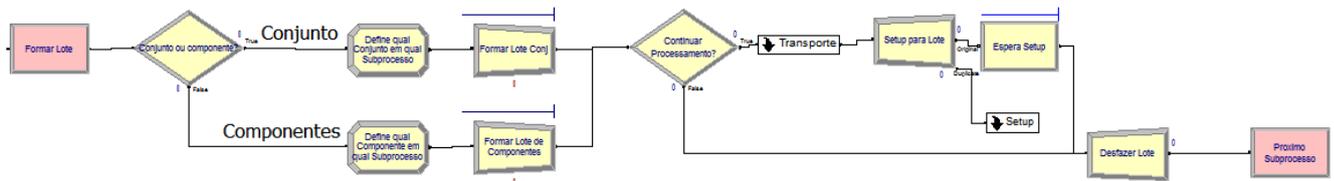


Figura 20 - Formação de lote, transporte e *setup* do próximo subprocesso.

O transporte ocorre quando a entidade (que representa um lote de peças) entra no submodelo de transporte (mostrado na Figura 21). Afim de tornar a modelagem simples, o diagrama construído consiste em um módulo *Seize* (Ocupa Transportador) para ocupar o recurso transportador (empilhadeira ou paleteira, e o operador, definidos pelo bloco do tipo *Assign* precedente). Então a entidade aguarda tempo de transporte (definido dinamicamente por meio das matrizes que relacionam tempos diferentes para caminhos de postos de trabalhos diferentes) e libera os recursos utilizados. O bloco *Decide* é utilizado como artifício para facilitar as atribuições dinâmicas para componentes ou conjuntos.

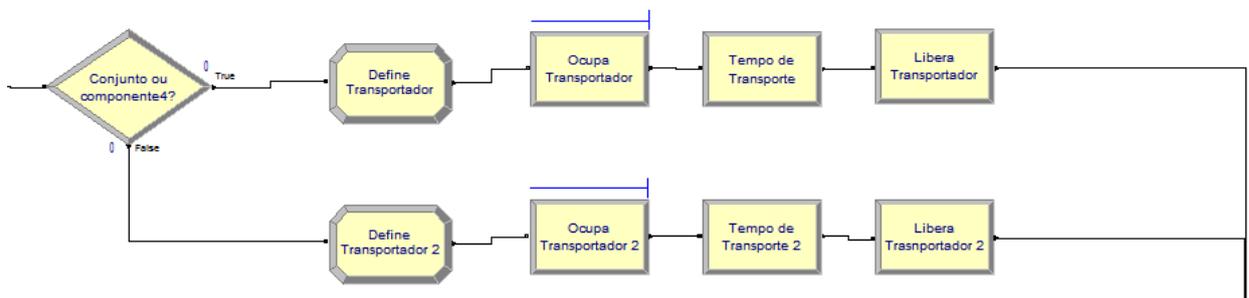


Figura 21 - Fluxo do transporte de materiais

Ao sair do transporte, a entidade é duplicada. Uma cópia representa o lote que vai para produção, a outra cópia representa uma “ordem de *Setup*”, que entra no submodelo de *setup*, mostrado na Figura 22.

Neste submodelo, o primeiro módulo (do tipo *Signal*) tem a função de liberar o lote que vai para a produção (vide Figura 26, onde o lote fica retido no módulo Espera Setup, do tipo *Hold*). Não fosse por este mecanismo, o lote seria processado antes do *setup*. Em seguida há módulos de decisão para definir se o item é um conjunto ou componente e, para cada uma das alternativas ainda há outro módulo de decisão que define se o item a ser processado em dado posto de trabalho já estava sendo processado antes (e neste caso o tempo de *setup* é menor) ou se o *setup* está sendo realizado para o processamento de um outro tipo de componente ou conjunto (e, portanto, o tempo de *setup* é maior). Por fim, a entidade passa por um módulo do tipo *Release* para liberar os recursos utilizados (o próprio centro de trabalho) para que o processamento dos itens que aguardam na fila possa ser iniciado e é descartada (já que sua única finalidade é dar início ao *setup*, enquanto a entidade do lote real já foi enviada para processamento).

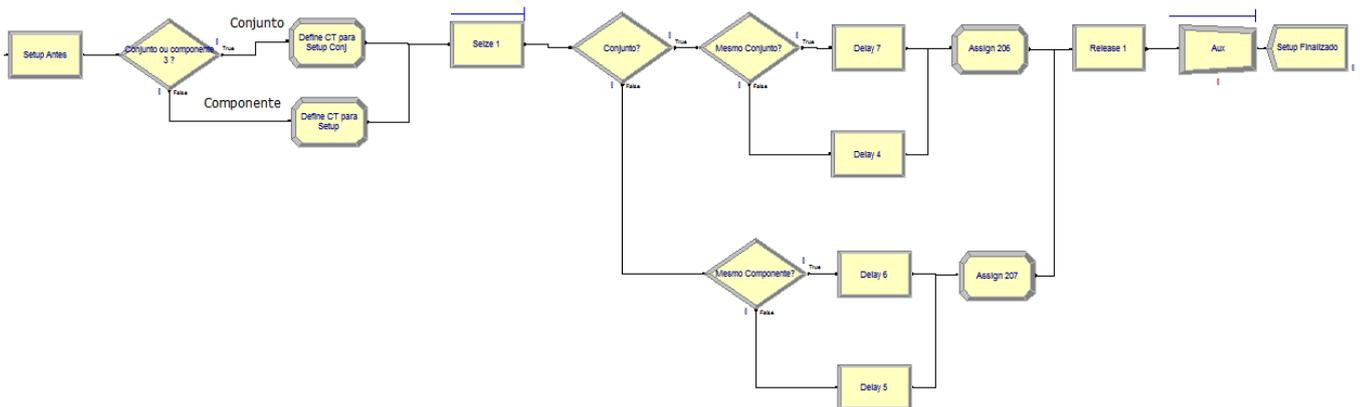


Figura 22 - Setup de centros de trabalho.

Desta maneira, os itens seguem para processamento em estações de subprocessos e voltam a formar lotes, são transportados para outros centros de trabalho (onde ocorre o *setup*) e são processados, um a um. Este ciclo acontece até que a sequencia definida para a entidade chegue ao fim (ao fim de cada sequencia, a entidade é direcionada para a estação Fim).

3.3.1.6 Finalização do processo

A Figura 23, mostra o diagrama para o qual a entidade é enviada ao chegar no fim da sequência. Caso seja um componente, vai esperar até que os outros componentes da mesma balança tenham seus processos finalizados, para então partir para a montagem do conjunto. O agrupamento de componentes de uma mesma balança é feito por meio do módulo Agrupar Componentes (do tipo *Batch*) que agrupa os componentes com o mesmo atributo NumeroSerie, atribuído à entidade antes de esta ser dividida em múltiplos componentes. Na sequência, é formado o lote e o conjunto segue para processamento, da mesma maneira como acontece com os componentes. Quando é o conjunto que chega ao fim, ele passa por um módulo do tipo *Assign* que retira uma unidade do estoque intermediário (produtos que estão em processamento) e entra no submodelo Transporte para Expedição.

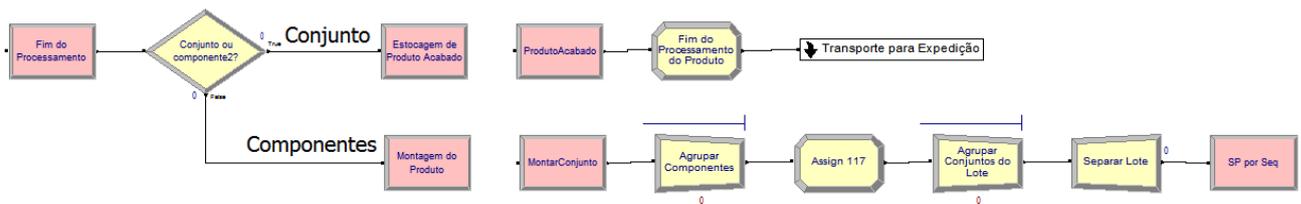


Figura 23 - Fim da sequência de processamento

Ao entrar no submodelo Transporte para Expedição (mostrado em detalhes na Figura 24) a balança (já que, nesta etapa, já é um produto acabado) passa por uma formação de lote. Estes lotes são levados para a Expedição (galpão onde ficam armazenados antes de serem expedidos) de caminhão. O caminhão que faz o transporte, tem capacidade para 6 caixas (lotes), por isto, as entidades passam por mais um agrupamento (módulo Carregar Caminhão). Em seguida, passam por um módulo *Seize* que ocupa o recurso Caminhão. Este vai para a expedição, o que acarreta esperar o tempo de deslocamento, no módulo *Vai para Expedição* (do tipo *Delay*). Depois de chegar no destino, o caminhão precisa ser descarregado, o que também leva tempo e ocupa uma empilhadeira da Expedição. Somente depois de descarregado, o caminhão pode voltar para a fábrica e ser liberado para novas viagens. O produto é adicionado ao estoque e passa por um módulo do tipo *Record* cuja função é obter informações do *lead time*. Assim o processo de produção é finalizado para esta unidade.

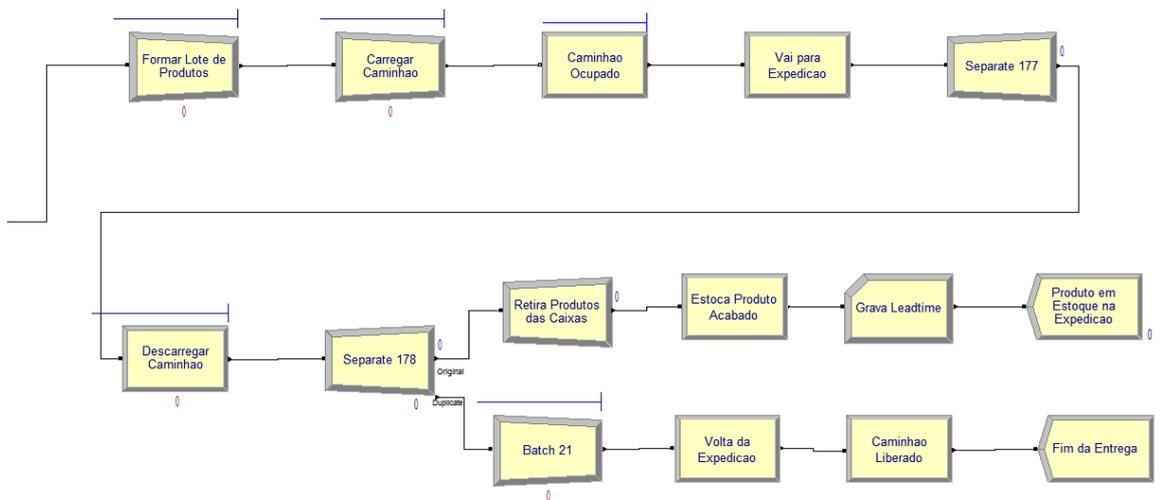


Figura 24 - Submodelo Transporte para Expedição

3.4 Resultados

3.4.1 Cenário 1

O sistema foi modelado como descrito anteriormente, parametrizado com lotes de 60 unidades e simulado por 20 dias.

O sistema apresenta as seguintes medidas para o *lead-time*:

- a) *Lead-Time* Mínimo: 6,19 dias;
- b) *Lead-Time* Médio: 13,14 dias;
- c) *Lead-Time* Máximo: 19,22 dias.

A Figura 25 - Curva do *lead-time*/Tempo, apresenta um gráfico, gerado pelo programa, que mostra o *lead-time* de produção com relação ao tempo, ao longo dos 20 dias pelos quais o sistema foi simulado.

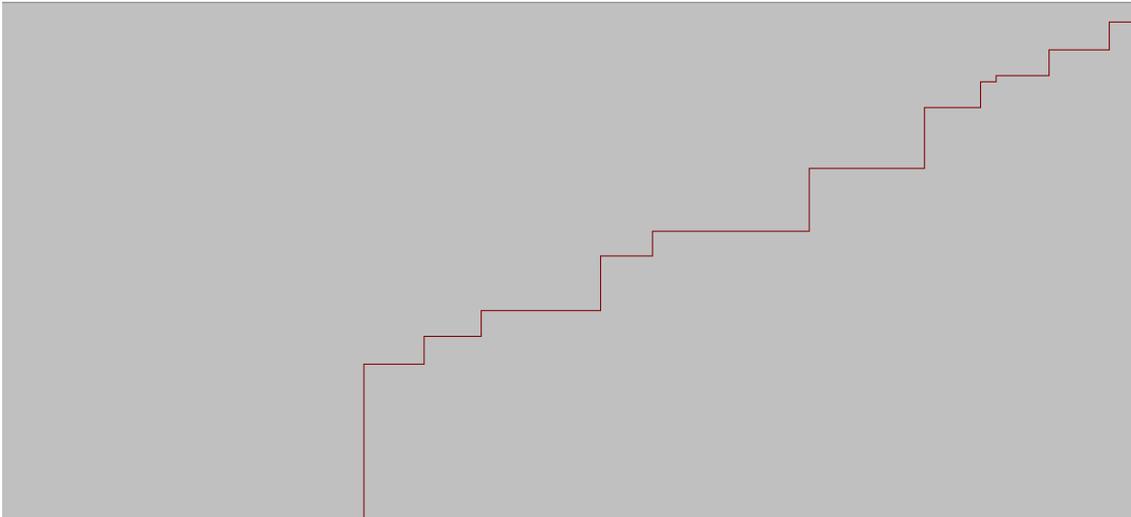


Figura 25 - Curva do *lead-time*/Tempo

3.4.2 Cenário 2

O sistema foi modelado como descrito anteriormente, parametrizado com lotes de 30 unidades (metade do tamanho do lote padrão) e simulado por 20 dias.

O sistema apresenta as seguintes medidas para o *lead-time*:

- d) *Lead-Time* Mínimo: 4,17 dias;
- e) *Lead-Time* Médio: 12,18 dias;
- f) *Lead-Time* Máximo: 19,11 dias.

A Figura 26Figura 25 - Curva do *lead-time*/Tempo, apresenta um gráfico, gerado pelo programa, que mostra o *lead-time* de produção com relação ao tempo, ao longo dos 20 dias pelos quais o sistema foi simulado.

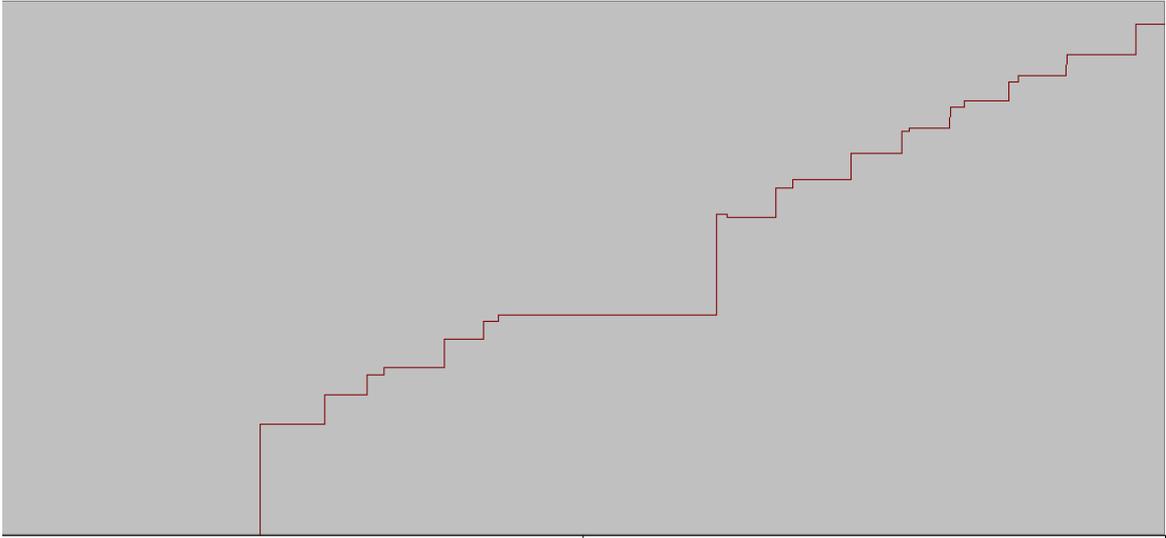


Figura 26 - Curva do *lead-time*/Tempo

3.4.3 Cenário 3

O sistema foi modelado como descrito anteriormente, parametrizado com lotes unitários e simulado por 20 dias.

O sistema apresenta as seguintes medidas para o *lead-time*:

- a) *Lead-Time* Mínimo: 10 dias;
- b) *Lead-Time* Médio: 12,83 dias;
- c) *Lead-Time* Máximo: 18,22 dias.

A Figura 26Figura 25 - Curva do *lead-time*/Tempo, apresenta um gráfico, gerado pelo programa, que mostra o *lead-time* de produção com relação ao tempo, ao longo dos 20 dias pelos quais o sistema foi simulado.

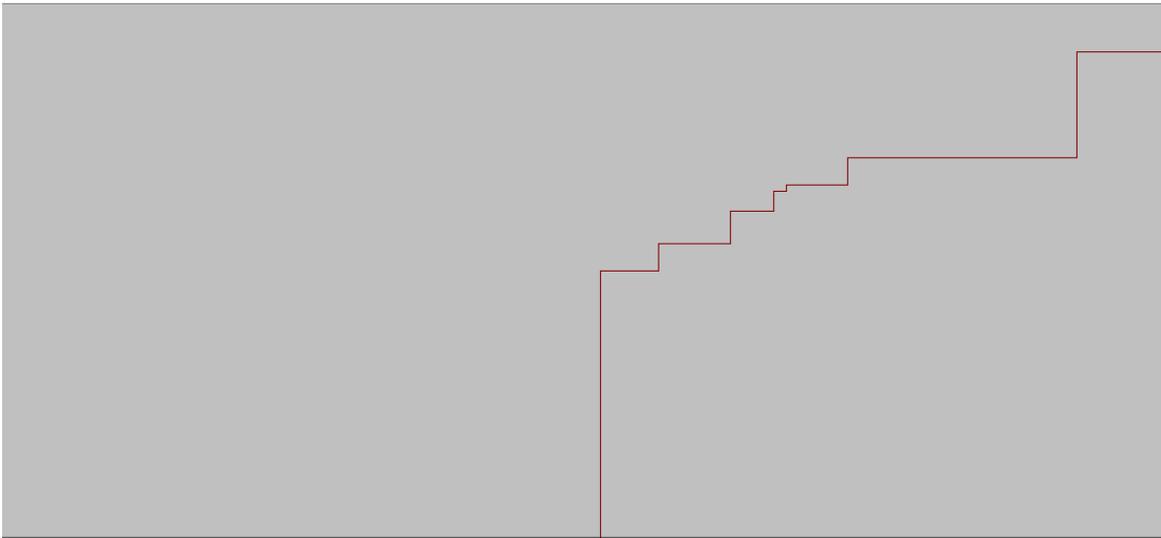


Figura 27 - Curva do *lead-time*/Tempo

3.4.4 Cenário 4

O sistema foi modelado como descrito anteriormente, parametrizado com lotes normais de 60 unidades, mas com tempos de *setup* reduzidos à metade dos tempos originais. Foi simulado por 20 dias.

O sistema apresenta as seguintes medidas para o *lead-time*:

- a) *Lead-Time* Mínimo: 3,25 dias;
- b) *Lead-Time* Médio: 12,10 dias;
- c) *Lead-Time* Máximo: 19,28 dias.

A Figura 28Figura 25 - Curva do *lead-time*/Tempo, apresenta um gráfico, gerado pelo programa, que mostra o *lead-time* de produção com relação ao tempo, ao longo dos 20 dias pelos quais o sistema foi simulado.

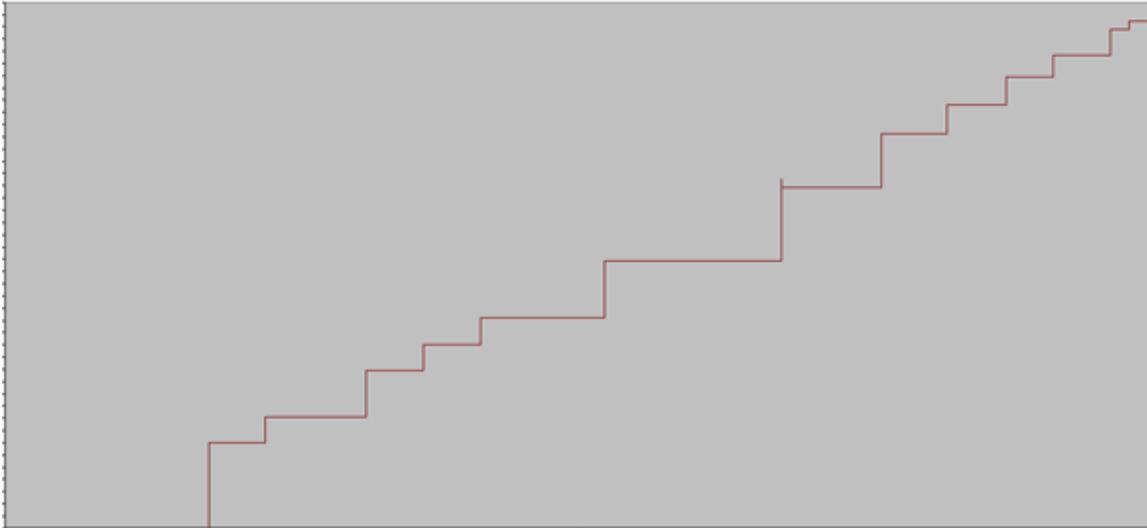


Figura 28 - Curva do *lead-time*/Tempo

3.4.5 Cenário 5

O sistema foi modelado como descrito anteriormente, parametrizado com lotes reduzidos à metade (30 unidades), com tempos de *setup* também reduzidos à metade dos tempos originais. Foi simulado por 20 dias.

O sistema apresenta as seguintes medidas para o *lead-time*:

- a) *Lead-Time* Mínimo: 2 dias;
- b) *Lead-Time* Médio: 12,08 dias;
- c) *Lead-Time* Máximo: 19,26 dias.

A Figura 28Figura 25 - Curva do *lead-time*/Tempo, apresenta um gráfico, gerado pelo programa, que mostra o *lead-time* de produção com relação ao tempo, ao longo dos 20 dias pelos quais o sistema foi simulado.

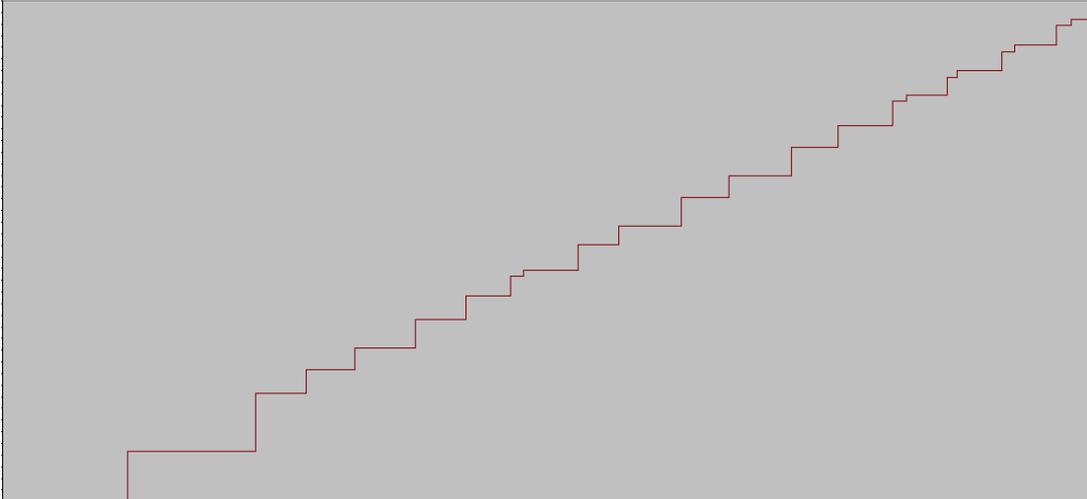


Figura 29 - Curva do *lead-time*/Tempo

3.4.6 Cenário 6

O sistema foi modelado como descrito anteriormente, parametrizado com lotes unitários, com tempos de *setup* reduzidos à metade dos tempos originais. Foi simulado por 20 dias.

O sistema apresenta as seguintes medidas para o *lead-time*:

- a) *Lead-Time* Mínimo: 6 dias;
- b) *Lead-Time* Médio: 12,59 dias;
- c) *Lead-Time* Máximo: 19,12 dias.

A Figura 30Figura 25 - Curva do *lead-time*/Tempo, apresenta um gráfico, gerado pelo programa, que mostra o *lead-time* de produção com relação ao tempo, ao longo dos 20 dias pelos quais o sistema foi simulado.

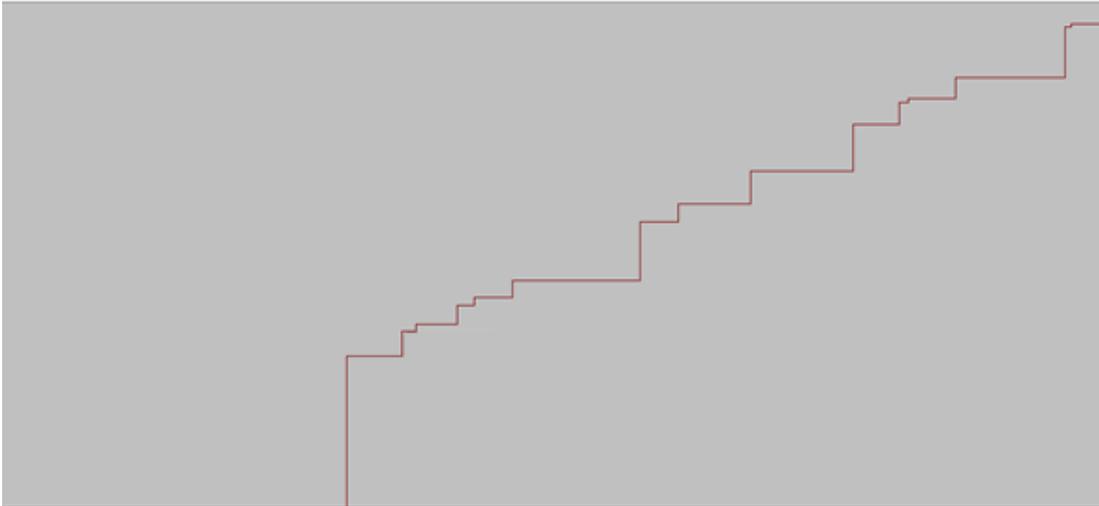


Figura 30 - Curva do *lead-time*/Tempo

3.4.7 Análise

A Tabela 7 mostra um comparativo entre o *lead-time* de produção referente aos cenários simulados.

Tabela 7 - Comparativo entre cenários.

Lote	Setup	TL mínimo (dias)	LT médio (dias)	LT máximo (dias)
60	Normal	6,19	13,14	19,22
30	Normal	4,17	12,18	19,11
1	Normal	10	12,86	18,22
60	Reduzido	3,25	12,10	19,28
30	Reduzido	2	12,08	19,26
1	Reduzido	6	12,59	19,12

O que se pode perceber é que há uma elevação do *lead-time* em relação ao modelo original (lote de 60 unidades com tempo de *setup* normal) quando comparado com o lote unitário, já que outro fator limitante é o tempo de transporte. Uma possível alternativa seria a utilização do layout celular, reduzindo drasticamente o tempo de transporte de material e otimizando os recursos dispendidos na utilização da mentalidade enxuta.

Apenas para fins ilustrativos, a Figura 31, apresenta o gráfico de utilização dos recursos, que evidencia o desbalanceamento entre as cargas de produção e, potencial oportunidade de melhoria através do balanceamento da produção. O gráfico é referente ao cenário 6, mas se assemelha muito ao gráfico respectivo para outros cenários.

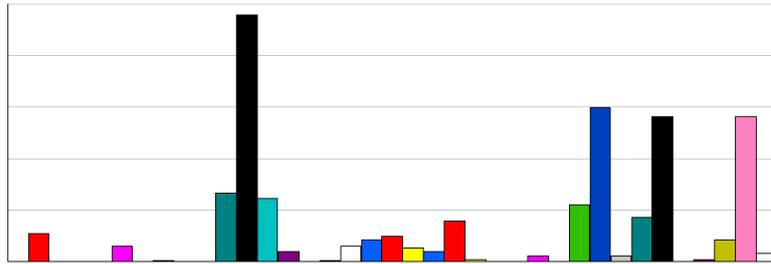


Figura 31 - Gráfico de Utilização dos recursos

A Figura 31 - Gráfico de Utilização dos recursos serve apenas para ilustrar a disparidade de aproveitamento dos recursos, indicando uma provável oportunidade para utilização da metodologia *heijunka* que propõe nivelar a produção para obter um fluxo mais contínuo de valor.

4 CONCLUSÕES

Foi possível concluir, com o estudo, que a aplicação efetiva da mentalidade enxuta se dá pela implementação das técnicas enxutas de maneira integrada, ao longo de todo o processo. Ao contrario disso (ou seja, implementando conceitos em partes isoladas do sistema) o fluxo permanece interrompido em determinados pontos do sistema.

O fato é evidenciado pela análise dos *lead-times* mínimos referentes aos cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Quando reduzimos os lotes pela metade (do cenário 1 para o cenário 2), há uma redução de 33% no *lead-time* mínimo, entretanto ao substituir o lote normal de 60 unidades pelo lote unitário (como proposto pela mentalidade enxuta e realizado do cenário 1 para o cenário 3) há um acréscimo de 62% no *lead-time* de produção.

No entanto, percebe-se que a diminuição dos lotes impacta mais positivamente quando associada à redução dos tempos de *setup*. Para os cenários 4, 5 e 6 (com tempos de *setup* reduzidos à metade) temos que: com a redução dos lotes à metade (do cenário 4 para 5) é verificada uma redução de 38% no *lead-time* mínimo. Entretanto tornando os lotes, unitários (do cenário 4 para o cenário 6) percebe-se uma elevação de 84% no *lead-time* mínimo de produção, o que revela outro aspecto a ser considerado na implantação da mentalidade enxuta: a eliminação de transporte desnecessário, sem a qual, outros esforços perdem a validade.

Devido às restrições impostas pelo método de simulação (que, dentro do escopo, não permite avaliar a qualidade final dos produtos, por exemplo) o estudo se baseou, mais especificamente, na ideia do fluxo contínuo. Para que haja o fluxo contínuo, deve-se eliminar os estoques por meio do balanceamento da produção, da redução dos tempos de *setup*, da eliminação dos transportes desnecessários e da utilização de lotes unitários. Foi possível, então, perceber que a redução dos lotes é ineficiente caso os tempos de *setup* também não forem reduzidos, já que representariam uma grande demora quando realizados para pequenos lotes. De modo geral, concluiu-se que os conceitos e métodos da mentalidade enxuta formam um arcabouço que deve ser aplicado na integra para que seja possível obter os melhores resultados.

Dentre as dificuldades encontradas, pode-se destacar aquelas inerentes ao processo de coleta de dados sobre um processo de produção, grande demanda de tempo, interrupção do fluxo de trabalho em vários momentos, dificuldades de integração da equipe responsável por todo um fluxo. Outras dificuldades envolvem o processo de modelagem e simulação, onde o grande volume de dados sobre o processo, torna o modelo complexo à medida em que são consideradas e avaliadas novas variáveis e possibilidades, além disso, o tempo de processamento da simulação para os modelos considerados foi de cerca de quarenta minutos, cada replicação. Deste modo o trabalho requer planejamento e antecipação.

Trabalhos futuros poderão abordar a simulação de conceitos da mentalidade enxuta no setor de serviços, onde o impacto é visível mesmo para aqueles que não estão imersos no ambiente industrial. Outra possível abordagem é a simulação do processo de conversão de uma empresa convencional em uma empresa enxuta, depois de verificados os impactos positivos.

REFERÊNCIAS

- BANKS, Jerry; CARSON II, John S.; NELSON, Barry L.; **Discrete Event System Simulation**, Second Edition, Prentice-Hall, 1996.
- CASALINHO, Gilmar D'Agostini Oliveira; SCHRAMM, Fábio Kellermann; SILVA, Ana Paula Nogueira e; **Uso De Simulação De Eventos Discretos para Análise Da Implementação De Conceitos De Produção Enxuta**. Sociais E Humanas, Santa Maria, 2011.
- CALVELO, José Gonçalves; Coleção atlas do estudante: volume 1, **História da Indústria**. Didática Paulista, 2006.
- CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 4. ed., São Paulo, Makron Books: 1993.
- FERREIRA, Ariane Gregorio, **Proposta para Implantação de Conceitos de Produção Enxuta em uma Indústria do Setor Metal-Mecânico na Cidade de Maringá/PR**, Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Estadual de Maringá, 2011.
- GHEMAWAT, P. **A estratégia e o cenário dos negócios**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- GHINATO, P. – **Elementos Fundamentais do Sistema Toyota de Produção**, 2000. Disponível em: <<http://static.scribd.com/docs>>. Acesso em 26 de Janeiro de 2010.
- LIKER, K. J. – **O Modelo Toyota. 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Rio Grande do Sul: Artmed Bookman, 2005.
- MOREIRA, Matheus Pinotti; FERNANDES, Flávio César F.; **Avaliação Do Mapeamento Do Fluxo De Valor Como Ferramenta Da Produção Enxuta Por Meio De Um Estudo De Caso**. Engenharia de Produção – UFS-Car, São Carlos, 2001.
- OHNO, T.O. – **Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artmed Bookman, 1997.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. – **Aprendendo a Enxergar mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, Jun., 1999.
- SAYER, N.; WILLIAMS, B. **Lean for dummies**. Indianapolis: Wiley, 2007.
- KONDRASOVAS, David, 2010, **A casa STP** em: <<http://davidkond.wordpress.com/2010/06/28/casastp/>> . Acesso em : 07 de outubro de 2012.
- SCHAPPO, A. J. **Um método utilizando simulação discreta e projeto experimental para avaliar o fluxo em manufatura enxuta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- SHINGO, S. – **O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R. – **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SZEZERBICKI, Arquimedes da Silva; PILATTI, Luiz Alberto; KOVALESKI, João Luiz; **Henry Ford: A Visão Inovadora De Um Homem Do Início Do Século XX**. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET, Ponta Grossa, PR, 2004.
- TUBINO, F. D. – **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 2ª.ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**; Tradução de Ana Beatriz Rodrigues, Priscilla Martins Celeste. Rio de Janeiro : Elsevier, 2004.