

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Filipe Martins Da Costa  
**Construção de modelo de simulação de  
sistema puxado de produção para  
melhorias de eficiência**

Tese de Mestrado  
Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efectuado sob orientação da  
**Professor Dr. Luís Silva Dias**

Guimarães, 2011

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor *Luís Miguel da Silva Dias* pela orientação e supervisão, pelo conhecimento, profissionalismo e pela disponibilidade sempre demonstrada.

Aos colegas da empresa que pelo seu apoio, acolhimento, simpatia e dedicação tornaram este projecto uma experiência única e muito enriquecedora, da qual muito me orgulho.

Aos meus colegas do MEI pelas conversas construtivas que de alguma forma beneficiaram este trabalho, e ao Departamento de Produção e Sistemas pela disponibilidade dos meios.

Aos meus amigos, aqueles que são extremamente importantes, pelo seu carinho, apoio e compreensão, e acima de tudo, pela grande amizade.

Por último, mas não menos importante, agradecer de uma forma especial à minha família, em particular à minha filha e à minha esposa, pela paciência, compreensão e apoio durante a realização deste trabalho.

---

*(Filipe Martins da Costa)*

## RESUMO

O projecto aqui apresentado pretende descrever/simular um processo implementado de sistema puxado; Apresentar os termos e conceitos da produção puxada, com base no sistema Toyota de produção. Através da associação entre os conceitos de simulação e ensaios de melhoria, obtém-se uma forma de melhor perceber e avaliar os processos produtivos, permitindo melhorar os processos de negócio e aumentando a competitividade, hoje necessária para a sobrevivência no mercado.

O modelo lógico desenvolvido no *ARENA* permite aos gestores, nomeadamente de produção tomarem decisões baseadas em simulações de vários cenários.

O trabalho apresentado baseia-se em dois cenários:

1. Alteração da capacidade da célula de produção;
2. Alteração dos tempos de operação das tarefas do *milkrun*.

O projecto com o título “Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência” tem como principais objectivos:

- Construção de um modelo de simulação do processo implementado, que incorpore os conceitos e métodos utilizados.
- Realização de ensaios de simulação em função de diferentes cenários.
- Identificação e proposta de alterações que conduzam a uma maior eficiência e maior precisão de funcionamento do sistema de produção.

Numa primeira fase, houve a necessidade de fazer um levantamento do *layout* da área de estudo em causa, assim como obter os tempos minuciosos sobre cada processo. Após a recolha de dados, fez-se a construção de uma réplica do sistema de produção puxado a implementar na empresa utilizando a ferramenta de simulação por computador *ARENA*.

O modelo de simulação permitiu avaliar o processo de produção da empresa. Identificaram-se os processos críticos no sistema de produção através do estudo de vários cenários com diferentes níveis de recursos para medição da capacidade do sistema de produção.

**Palavras-chave:** *Produção puxada; Simulação*

## ABSTRACT

The project hereby presented intends to describe/simulate an implemented process of a pull system to present the terms and concepts of pull production based on the Toyota production system. By linking the simulation concepts with improvements tests, it is possible to attain a way to improve the perception and evaluation of the productive processes, allowing the improvement of the business processes and increasing competitiveness, which is nowadays essential to survive in the market.

The logical model developed in the *ARENA* allows the managers, mainly those from the production area, to make decisions based on simulations of different scenarios. This work is based on two scenarios:

1. Modification of the production cell's capacity;
2. Modification of the operating times of the *milkrun* tasks.

The project entitled "Construction of a simulation model of a pull production system for efficiency improvements" has the following main objectives:

- Building a simulation model of the implemented process that incorporates the methods used in the pull production.
- Performing simulation tests regarding different scenarios.
- Identifying and proposing modifications that might lead to a higher efficiency and working accuracy of the production system.

To begin with, it was necessary to examine the *layout* of the area of this study, and to obtain accurate times of each processes. After collecting the information, a replica of the pull production system was built to be implemented in the company using the computer simulation tool *ARENA*.

The simulation model allowed evaluating the company's production process. The critical processes of the production system were identified thanks to the study of several scenarios with different resource levels to measure the capacity of the production system.

**Key words:** *Pull production; Simulation*

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
LISTA DE SIGLAS & ACRÓNIMOS.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Prefácio .....	1
1.2 Estrutura do relatório .....	2
2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJECTO .....	3
2.1 Apresentação da Empresa .....	3
2.1.1 Localização.....	3
2.1.2 Missão e Estratégia.....	4
2.1.3 Enquadramento no Meio Envoltente .....	4
2.1.4 Dados Gerais da Empresa.....	4
2.1.5 Fluxo interno Produtivo.....	6
2.2 Objectivos .....	8
3 INVESTIGAÇÃO EFECTUADA.....	9
3.1 Metodologia de Investigação .....	9
3.1.1 Opções metodológicas e escolha do caso.....	9
3.1.2 A recolha de dados e análise de dados .....	10
3.1.3 Fontes bibliográficas .....	11
3.2 Revisão crítica da literatura .....	12
3.2.1 <i>Lean production</i> – a origem do termo .....	12
3.2.2 Eliminação do desperdício “ <i>muda</i> ” .....	13
3.2.3 Produção puxada “ <i>pull production</i> ” .....	15
3.2.4 Produção puxada com procura nivelada do cliente .....	17
3.2.5 BOSCH Production System .....	23
3.2.5.1 Objectivos do BPS .....	23
3.2.5.2 Princípios BPS .....	24
3.2.5.3 Ferramentas .....	28
3.2.5.4 Conclusões .....	42
3.2.6 A simulação .....	43
3.2.6.1 A simulação em projectos de sistemas puxados de produção....	45
3.2.7 Ferramenta de Simulação - <i>ARENA</i> .....	48
3.2.7.1 Templates do Painel de Projecto .....	50
3.2.7.2 Blocos do <i>ARENA</i> utilizados.....	53
3.2.7.3 Reports .....	55

4	ESTUDO DO PROBLEMA .....	57
4.1	Descrição do Problema .....	57
4.1.1	Modelação .....	59
4.1.2	Metodologia de Funcionamento .....	60
4.2	Metodologias de Solução Adoptadas.....	61
4.2.1	Funcionamento do Sistema de produção puxado implementado .....	61
4.2.1.1	Planeamento da produção .....	61
4.2.1.2	Comboio logístico ( <i>milkrun</i> ).....	63
4.2.1.3	Sequenciador da produção .....	72
4.2.1.4	Paletização .....	74
4.2.1.5	Fluxo de <i>kanban</i> .....	75
4.2.2	Tratamento de Dados.....	77
4.2.2.1	Determinação do tempo de ciclo do <i>milkrun</i> .....	77
4.2.2.2	Determinação do tempo de ciclo da célula .....	77
4.2.2.3	Calculo supermercado.....	80
4.3	Construção do Modelo de Simulação .....	83
4.3.1	1ª Etapa.....	84
4.3.2	2ª Etapa.....	85
4.3.3	3ª Etapa.....	85
4.3.4	4ª Etapa.....	87
4.3.5	5ª Etapa.....	89
4.3.6	6ª Etapa.....	90
4.3.7	7ª Etapa.....	90
4.3.8	8ª Etapa.....	92
4.3.9	9ª Etapa.....	94
4.3.10	10ª Etapa.....	97
5	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS (ENSAIO DE MELHORIAS) ..	99
5.1	Resultados para a alteração da capacidade da célula de produção .....	99
5.1.1	Tempo de ciclo balanceado da célula.....	99
5.1.2	Tempo de ciclo desbalanceado da célula .....	102
5.2	Alteração dos tempos de operação das tarefas do <i>milkrun</i> .....	103
5.2.1	Circuito com tarefas normalizadas do <i>milkrun</i> .....	103
5.2.2	Circuito sem normalização de tarefas do <i>milkrun</i> : .....	105
5.3	Conclusões gerais .....	108
6	CONCLUSÕES .....	109
6.1	Conclusões e recomendações.....	109
6.2	Melhorias Futuras .....	111
	BIBLIOGRAFIA .....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da unidade industrial.....	3
Figura 2 – Evolução do volume de produção Antena .....	5
Figura 3 - Organização interna MotoMeter .....	6
Figura 4 – Fluxo interno produtivo (antes da implementação do projecto) .....	7
Figura 5 - O modelo <i>pull flow</i> .....	22
Figura 6 - Integração do <i>kanban</i> no <i>pull flow</i> .....	22
Figura 7 - Nivelamento da produção .....	39
Figura 8 - Metodologia QCO.....	42
Figura 9 - O software <i>ARENA</i> .....	49
Figura 10 - <i>Basic process</i> .....	50
Figura 11 - Advanced transfer e advanced process .....	51
Figura 12 - Separador navigatee.....	51
Figura 13 - Relatórios .....	52
Figura 14 - Ambiente de trabalho do <i>ARENA</i> .....	52
Figura 15 - Relatórios do <i>ARENA</i> .....	55
Figura 16 - <i>Value stream mapping</i> do processo .....	57
Figura 17 - <i>Value stream design</i> do processo.....	58
Figura 18 - Fluxo interno produtivo (depois de implementado o projecto) .....	60
Figura 19 - Quadro <i>heijunka</i> .....	61
Figura 20 - Cartão de <i>mudança</i> .....	62
Figura 21 - Quadro de construção de paletes .....	63
Figura 22 - Modelo Colibri 600D - 600M.....	63
Figura 23 - Vista lateral do comboio logístico .....	64
Figura 24 - Vista superior do comboio logístico .....	64
Figura 25 – Remoção do <i>kanban</i> de movimentação do quadro <i>heijunka</i> .....	65
Figura 26 - Caixa de recolha de <i>kanban</i> de movimentação.....	65
Figura 27 – Remoção do cartão de <i>mudança</i> do quadro <i>heijunka</i> .....	66
Figura 28 – Colocação do cartão de <i>mudança</i> na caixa de recolha de <i>kanban</i> de movimentação.....	66
Figura 29 - FIFO no supermercado de produto acabado .....	67
Figura 30 - Levantamento no supermercado de produto acabado.....	67
Figura 31 - Cumprimento do levantamento das caixas de produto acabado .....	68
Figura 32 - Deposito de <i>kanban</i> de movimentação .....	68
Figura 33 - Colocação da caixa dos <i>kanban</i> de produção .....	68
Figura 34 - Suporte da caixa dos <i>kanban</i> de produção.....	69
Figura 35 - FIFO na caixa dos <i>kanban</i> de produção.....	69
Figura 36 - Sequenciador da produção da célula.....	69
Figura 37 - Sequenciador <i>kanban</i> "6h e 6h20m" .....	70
Figura 38 - <i>Picking</i> (levantamento) do produto acabado na célula de produção .....	70
Figura 39 - Supermercado de pré-preparações .....	71

Figura 40 - Bordo de linha da célula de produção.....	71
Figura 41 - Rampa de retorno do supermercado de pré-preparações.....	71
Figura 42 - Colocação das caixas de produto acabado no supermercado .....	72
Figura 43 - Quadro <i>heijunka</i> (recolha de <i>kanban</i> de movimentação) .....	72
Figura 44 - Sequenciador de produção (FIFO).....	73
Figura 45 - Deposito <i>kanban</i> produção em atraso.....	74
Figura 46 - Colocação das caixas de produto acabado em palete .....	74
Figura 47 - Quadro de construção de paletes .....	75
Figura 48 - Gráfico de balanceamento da célula de produção .....	79
Figura 49 - Formula de cálculo <i>kanban</i> (BPS).....	80
Figura 50 - Quadro <i>heijunka</i> (nivelamento da produção).....	84
Figura 51 - Definições do <i>create</i> .....	84
Figura 52 - Sequenciador da produção .....	86
Figura 53 - Definições do <i>create</i> ( <i>stock</i> inicial) .....	86
Figura 54 - Definições para célula de produção .....	87
Figura 55 - Definições do <i>create</i> ( <i>stock</i> inicial) .....	88
Figura 56 - definições do process (célula de produção) .....	88
Figura 57 - Definições da paletização .....	89
Figura 58 - Definições do bloco process (paletização).....	89
Figura 59 - Definições da expedição .....	90
Figura 60 - Definições do bloco batch (expedição).....	90
Figura 61 - Definições do transporte para o cliente.....	91
Figura 62 - Bloco transport (transporte para o cliente) .....	92
Figura 63 - Definição do <i>milkrun</i> .....	92
Figura 64 - Bloco signal (definição do <i>milkrun</i> ) .....	93
Figura 65 - Definição do <i>milkrun</i> (inicio) .....	93
Figura 66 - Definição do <i>milkrun</i> (saída) .....	93
Figura 67 - Definição do <i>milkrun</i> (tempo de espera).....	94
Figura 68 - Nível do <i>stock</i> no supermercado de produto acabado.....	96
Figura 69 - Gráfico para localização e controlo do nº de ciclos do <i>milkrun</i> .....	96
Figura 70 - Gráfico para visualização e dos atrasos do <i>milkrun</i> .....	97
Figura 71 – Implementação no <i>layout</i> final.....	97
Figura 72 - Definição do meio de transporte.....	98
Figura 73 - Tempo de espera na entrega de produto no supermercado.....	100
Figura 74 – Tempo de utilização da célula.....	100
Figura 75 - Atrasos no tempo de ciclo.....	101
Figura 76 - Quantidades entregas no final de 2 turnos (950 min).....	101
Figura 77 - Atraso de produto acabado no supermercado.....	102
Figura 78 - Sequenciador da produção (WIP).....	103
Figura 79 – Redução do abastecimento ao supermercado de produto acabado .....	103
Figura 80 - Relatório das entidades .....	104

Figura 81 – Quantidades de ciclos do <i>milkrun</i> .....	104
Figura 82 - Atrasos no tempo de ciclo do <i>milkrun</i> .....	105
Figura 83 – Relatório das entidades .....	106
Figura 84 – Aumento do WIP na célula de produção.....	106
Figura 85 –Tempo de espera no início de um novo ciclo.....	107
Figura 86 – Tempo de espera no início de um novo ciclo.....	107
Figura 87 - Nº de ciclos realizados pelo <i>milkrun</i> .....	107
Figura 88 - <i>Value Stream Mapping</i> (MotoMeter) .....	116
Figura 89 - <i>Value Stream Design</i> (MotoMeter).....	117
Figura 90 – Ícones de fluxo de material.....	118
Figura 91 – Ícones gerais.....	118
Figura 92 - Ícones de fluxo de material.....	119
Figura 93 - Ícones de fluxo de informação.....	119
Figura 94 - Fluxo produtivo (localização dos componentes do sistema puxado) .....	120
Figura 95 - Ciclo PDCA .....	121
Figura 96 – Definição do processo de melhoria contínua no BPS .....	122
Figura 97 - Ligação entre o sistema CIP e o ponto CIP .....	123
Figura 98 - Andon como catalisador da reacção rápida .....	124
Figura 99 - Modelo de reacção e escalonamento no circuito de controlo da qualidade.....	125
Figura 100 – Matriz de escalonamento.....	126
Figura 101 - Sistemática de reacção rápida implementado (visualização no <i>Andon</i> )..	127
Figura 102 - Determinação do trabalho standard <i>milkrun</i> (20 minutos) .....	128
Figura 103 - Relação entre <i>tackt</i> do cliente e tempo de ciclo planeado .....	129
Figura 104 – Descrição das operações ( <i>time table</i> ).....	130
Figura 105 - Sequencia de operações ( <i>work sequence</i> ).....	131
Figura 106- Determinação de parâmetros ( <i>Value Stream Analysis</i> ).....	132
Figura 107 - Determinação do processo <i>pacemaker</i> .....	133
Figura 108 - Análise da flutuação do cliente.....	134
Figura 109 - Determinação do tamanho de lote .....	135
Figura 110 – Detalhe da fórmula de cálculo <i>kanban</i> .....	136
Figura 111 - Cálculo do tempo de reposição ( <i>replenishment lead time</i> ).....	136
Figura 112 - Calculo detalhado do dimensionamento do supermercado de produto acabado .....	137
Figura 113 - Norma FIFO ( <i>First IN First Out</i> ) .....	138
Figura 114 - Modelo de simulação criado .....	139

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Colaboradores afectos ao projecto <i>Antennae</i> .....	5
Tabela 2 - Colaboradores indirectos por departamento.....	6
Tabela 3 - Produção puxada versus produção empurrada .....	16
Tabela 4 - Plano de trabalho - lista de actividades .....	58
Tabela 5- Medidas do comboio logístico .....	64
Tabela 6 - Fluxo físico de <i>kanban</i> .....	76
Tabela 7 - Tempo de funcionamento.....	78
Tabela 8 - Tempo de trabalho.....	78
Tabela 9 - Tabela de resultados .....	79
Tabela 10 - Cálculo do nº de <i>kanban</i> (aplicação em excel).....	81
Tabela 11 - Calculo do nº de <i>kanban</i> detalhado por factores .....	82
Tabela 12 - Calculo do factor tempo de reposição .....	82
Tabela 13 - Área ocupada pelo supermercado de produto acabado .....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A - <i>Value stream</i> .....	116
Anexo B – Fluxo interno produtivo.....	120
Anexo C - PDCA.....	121
Anexo D - Processo de melhoria contínua no BPS .....	122
Anexo E - <i>Andon</i> .....	124
Anexo F - Análise do processo <i>milkrun</i> .....	128
Anexo G - Análise do processo produtivo (célula Toyota).....	129
Anexo H - Nivelamento ( <i>leveling</i> ) .....	132
Anexo I - Determinação do supermercado .....	136
Anexo J - Modelo de simulação .....	139

## **LISTA DE SIGLAS & ACRÓNIMOS**

**BPS:** *BOSCH Production System*

**CD:** *Compact Disc*

**CIP:** *Continuous Improvement Process*

**CFA:** *Controlling and Finance operations*

**FIFO:** *First In First Out*

**HRL:** *Human Resources*

**JIT:** *Just In Time*

**LIFO:** *Last In First Out*

**LOG:** *Logistics Operations*

**MOE:** *Manufacturing Operations Engineering*

**PCB:** *Printed Circuit Board*

**PDA:** *Pedonal Digital Assistant*

**PUQ:** *Purchase Quality*

**QMM:** *Quality Operations*

**SMED:** *Single Minute Exchange of Die*

**TPM:** *Total Productive Maintenance*

**TPS:** *Toyota Production System*

**VSM:** *Value Stream Mapping*

**VSD:** *Value Stream Design*

**WIP:** *Work In Process*



# 1 INTRODUÇÃO

O ambiente industrial caracteriza-se por uma concorrência muito baseada no prazo e na satisfação das exigências do cliente, traduzidas frequentemente no requisito de produtos únicos e exclusivos, entregas imediatas, ou em prazos muito curtos. Para atender a estas exigências, torna-se essencial que os sistemas de produção se revelem adequados e capazes de se adaptarem à inovação e mudança do espectro de produtos. Ao mesmo tempo, permitam a produção rápida para entrega ao cliente de produtos com qualidade e naturalmente, garantam também vantagem para o produtor, não só económica mas também social e técnica.

## 1.1 Prefácio

Este trabalho parte do pressuposto que a utilização de técnicas de simulação em projectos de implementação da estratégia da produção magra, contribui em muito para o desenvolvimento de processos mais económicos, garantindo um melhor atendimento aos clientes, tornando as empresas mais competitivas capazes de satisfazerem, com vantagem, em muitos casos, as necessidades produtivas e requisitos de mercado acima referidos.

Tem como objectivo conhecer os sistemas puxados de produção através de um estudo de caso implementado, facilitando o entendimento de como as empresas poderão trabalhar para melhorar seus processos produtivos, contribuindo para a tomada de decisão na minimização ou maximização de medidas de desempenho do sistema de produção. Sugerindo a associação dos fundamentos da simulação e ensaio de melhorias, facilitando a avaliação e análise dos cenários seleccionados como óptimos para o sistema de produção de forma a conseguir a competitividade hoje necessária para a sobrevivência no mercado.

A simulação permite a visualização dos resultados de uma mudança sem, contudo, alterar a realidade do sistema de produção. Possui a vantagem do tratamento estocástico das variáveis de processo, pois a utilização de valores médios dos tempos de processos produtivos para o estudo das linhas de produção não assegura uma representação confiável do sistema de produção, pois estes tempos são parcialmente aleatórios e devem ser tratados como tal. A utilização da simulação para desenvolvimento de projectos de melhoria possibilita uma experimentação a baixo

Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência custo, contribuindo para a melhoria dos processos produtivos e também para a tomada de decisão (Oliveira, 2008).

## **1.2 Estrutura do relatório**

Em termos de estruturação esta dissertação está dividida em 6 Capítulos:

Neste Capítulo elabora-se o prefácio e a estrutura do relatório.

O Capítulo 2 apresenta a empresa e destacam-se os elementos mais importantes referentes à empresa, nomeadamente a sua localização, a sua missão e estratégia, a relevância da empresa na região onde se insere e o processo produtivo.

O Capítulo 3 descreve a forma como o trabalho foi organizado, referindo a metodologia utilizada e o modo como foram recolhidos e analisados todos os dados necessários para a realização do projecto. A revisão bibliográfica é discutida no mesmo capítulo, onde se abordam os elementos relevantes para fundamentar o projecto, entre os quais se encontram a descrição do sistema de produção utilizado pela empresa (*BOSCH Production System*). Neste capítulo é também apresentada uma descrição da ferramenta de simulação utilizada (*ARENA*).

O Capítulo 4 é dedicado ao estudo do problema e ao desenvolvimento do modelo de simulação.

No Capítulo 5 é construído o modelo de simulação e realizadas todas as simulações sendo ainda apresentadas e discutidas duas soluções para o problema em causa.

Por fim no sexto Capítulo enunciam-se as conclusões, apresentando-se algumas recomendações e melhorias futuras.

## 2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJECTO

O facto de se ter realizado o projecto numa multinacional ao nível da MotoMeter Lda (MMPO – VR) serviu por si só como uma experiência enriquecedora, que possibilitou a aquisição de novos conhecimentos.

### 2.1 Apresentação da Empresa

A MotoMeter Lda (MMPO – VR) é uma empresa de origem alemã. A sua principal actividade é a produção de Antenas para automóveis. É importante referir que os produtos fabricados são considerados de elevada qualidade e possuem da mais alta tecnologia do mercado, equipando vários modelos das mais prestigiadas marcas de automóveis em todo o Mundo.

A Figura 1 mostra a localização da unidade industrial.

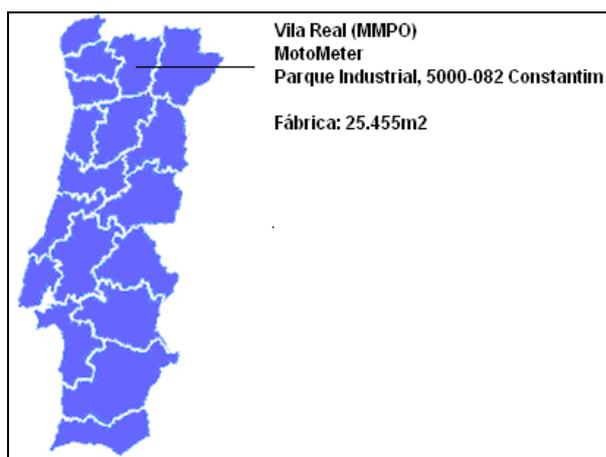


Figura 1 - Localização da unidade industrial

De forma a explicitar a situação da empresa é importante referir que a MotoMeter é líder de mercado na Europa, produzindo mais de 3 milhões de Antenas.

#### 2.1.1 Localização

A MotoMeter, está sediada em Vila Real e conta actualmente com cerca de 182 colaboradores, numa área total 25455 m<sup>2</sup>, sendo que 12574 m<sup>2</sup> estão confinados exclusivamente à produção. A empresa dedica-se à produção de antenas para a indústria e comércio automóvel, tendo como principais clientes as seguintes marcas: Alfa Romeu,

BMW, Fiat, Ford, GM, Lancia, Land Rover, MG, Mini, Nissan, Opel, Peugeot, Renault, Rover, Seat, Skoda, Vauxhall, VW e Toyota

### **2.1.2 Missão e Estratégia**

A empresa tem como missão transmitir informação e proporcionar divertimento com a multimédia para a indústria automóvel, tendo a estratégia de ser uma empresa de referência mundial no sector electrónico, e actuar como modelo de excelência na orientação para o cliente e na gestão de processos.

### **2.1.3 Enquadramento no Meio Envolverte**

O número de postos de trabalho ronda os 182, o que faz com que MotoMeter seja uma empresa fundamental na região em que ela se insere. Esta empresa, reveste-se de uma importância local primordial. Tem sido evidente a inter-relação entre o município e a empresa, na reunião de esforços para o sucesso de ambas as partes.

A importância torna-se ainda mais acentuada, tendo em conta as empresas que prestam serviços à MotoMeter, revelando-se como uma parte fundamental para o sustento da comunidade local.

### **2.1.4 Dados Gerais da Empresa**

Em Agosto de 1989, a MotoMeter AG, empresa com sede em Berlim, decide criar uma localização produtiva em Portugal, mais concretamente em Vila Real, no parque industrial de Constantim.

Em 1991 iniciaram-se as actividades, tendo como principal produto a montagem de painéis de instrumentação para a Volvo *trucks*, SCANIA e Volkswagen.

Em 1992, dá-se o *business agreement* entre a MotoMeter e BOSCH com a aquisição da quota ainda detida pela MotoMeter passando a deter 100% do negócio,

Em 1995, inicia-se a produção de Auto rádios com os modelos *low cost* da Blaupunkt, família A-line *low, mid e high*.

Transferidos da unidade produtiva da Blaupunkt de Braga, inicia-se produção em 1999 a produção de periféricos leitores de CD (CD *changers* com *magazines* para 6 e 12 CD) e a produção de Auto-Rádios de média gama da família *funLine*.

## LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJECTO

Em 2001 com a necessidade de transferir a produção da unidade produtiva da Malásia para uma localização europeia, devido a necessidade de redução de *lead-time* ao fornecedor, em grande parte forçada pela Toyota Europa, localizada em Inglaterra.

Em 2001, inicia-se a produção de antenas para automóveis, com um *ramp up* previsto de até um máximo de 3.5 milhões em 2005 (Figura 2).

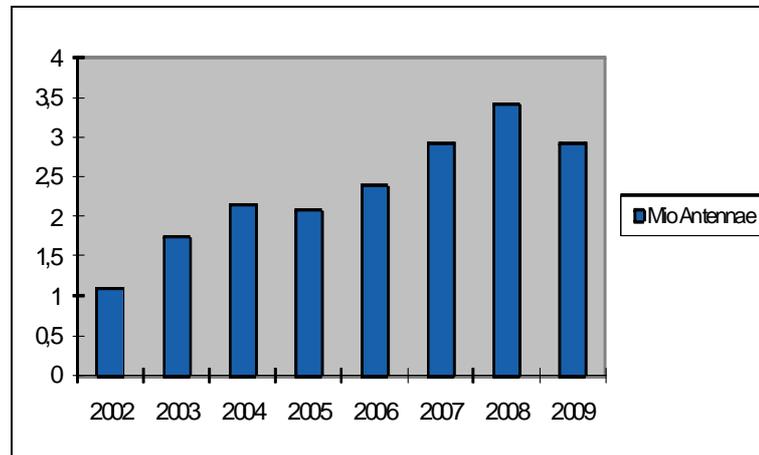


Figura 2 – Evolução do volume de produção Antena

Desde 2001, a MotoMeter Portuguesa, tornou-se a *lead plant*, centro de competências técnicas, para a gama de produtos *antennae* a nível mundial.

Em 2003, iniciou-se a produção de *loudspeakers*, com a transferência de produção da unidade produtiva da Malásia.

Actualmente a produção de *loudspeakers* está a ser transferida para a unidade produtiva da Tunísia, Beni kaled, seguindo a estratégia da MotoMeter em concentrar e especializar a unidade fabril no desenvolvimento e produção de antenas.

Actualmente a MotoMeter é a maior empresa do distrito de Vila real no sector eléctrico e electrónico com 147 colaboradores directos produtivos e 26 indirectos distribuídos (Tabela 1) na função de coordenação de produção e departamentos de apoio à produção distribuídos por dois turnos (Tabela 2).

Tabela 1 - Colaboradores afectos ao projecto *Antennae*

<i>Project</i>	<i>Direct</i>	<i>Indirect</i>
<i>Antennae</i>	147	26
<i>Total with adm.</i>	182	

Ao nível da organização, a MotoMeter está organizada em três departamentos que asseguram as operações produtivas, logísticas e qualidade de produto e processo (Figura 3).

Tabela 2 - Colaboradores indirectos por departamento

Indirect								
MOE3	MOE31	MOE37	MOE39	LOG	M-LOG	QMM	HRL	CFA
2	12	3	6	3	3	4	1	1

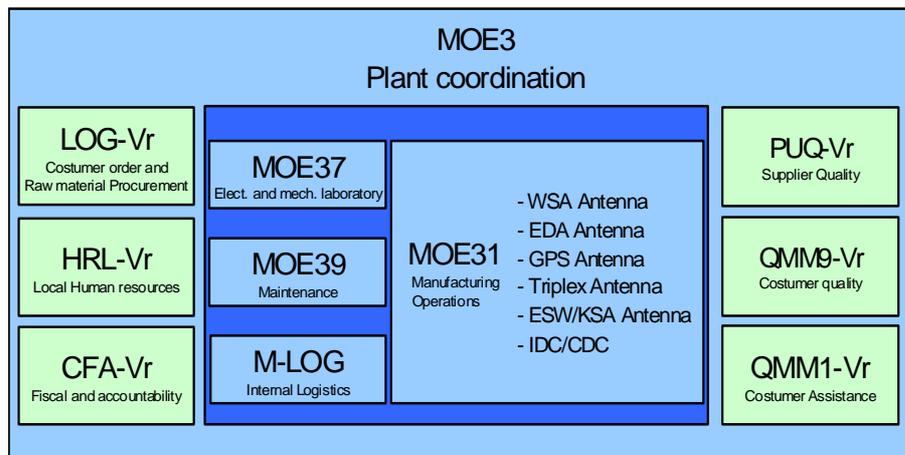


Figura 3 - Organização interna MotoMeter

### 2.1.5 Fluxo interno Produtivo

A área de produção da MotoMeter trabalha 18 horas por dia, 5 dias por semana. As 18 horas de produção diária são divididas por 2 turnos de 8 horas (1º turno: das 6h as 15h; 2º turno: das 15h as 24h).

O conhecimento do processo logístico e produtivo é essencial, uma vez que permite a identificação de todos os equipamentos, materiais, processos, normas e regras de forma a recolher a informação necessária para a realização do presente projecto.

A MotoMoter internamente no seu processo logístico e produtivo tem quatro fases principais:

1. Processo de desembalagem, armazenamento e transporte interno, que consiste na confirmação de quantidades e em alguns casos controlo/inspecção de “entrada” de acordo com o plano de amostragem definido, retirar todo o material de

## LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJECTO

embalagem não necessário para uso no processo produtivo, separar o material na mínima quantidade de armazenamento e respectivo lançamento no sistema nas quantidades de transporte pela logística interna e transporte para o ponto de uso nos processos internos.

2. Pré-preparações e corte de cabo, processo de injeção de isolante anti-humidade (silicone) nos locais de contacto da base da antena com o Automóvel, preparação do PCB com a pintura em dupla face de verniz anti-estático e isolante, o corte dos vários cabos de ligação da antena à cablagem principal do automóvel e a injeção plástica de pontos de encaixe nos terminais do cabo.
3. Montagem final, realizada em células com produção em fluxo unitário.
4. Transporte interno, armazenamento em armazém, construção de palete para cliente e expedição, que passa pelo transporte de produto acabado das células de montagem final para o armazém de produto acabado, a movimentação de produto acabado para a zona de construção de palete e consequente colocação na zona de expedição para envio para o cliente.

Para uma consulta mais pormenorizada dos fluxos internos, nesta mesma secção apresenta-se na Figura 4 os fluxos de materiais e as ligações entre os processos antes de implementado o projecto.

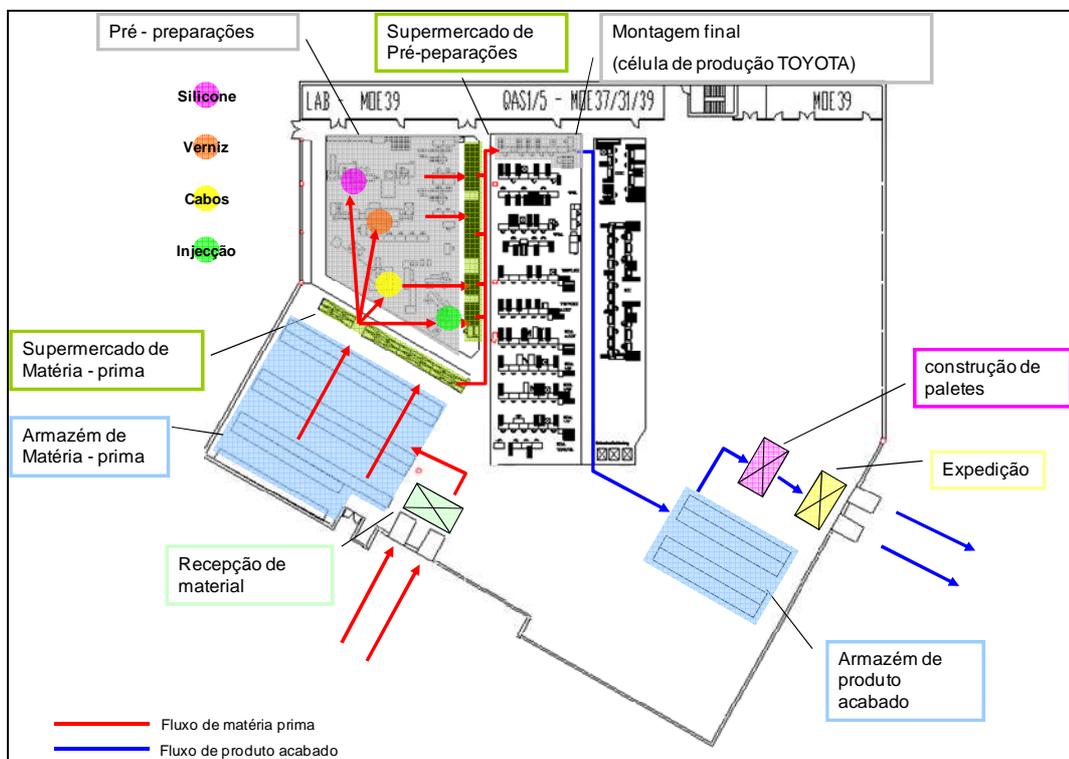


Figura 4 – Fluxo interno produtivo (antes da implementação do projecto)

## 2.2 Objectivos

Após a definição do tema deste trabalho de investigação estabeleceram-se os seguintes objectivos:

- Criar um modelo de simulação do problema real com base no fluxo físico dos *kanban* de produção e dos *kanban* de movimentação/levantamento do produto e na sequenciação de tarefas do sistema de produção puxado;
- Realizar ensaios de simulação em função de diferentes cenários de forma a identificar os processos críticos no sistema;
- Identificar e propor alterações que conduzam a uma maior eficiência e maior precisão de funcionamento do sistema de produção, com custos de investimento controlados;
- Difundir a utilização de simulação em projectos de produção magra, dando à gestão de topo e gerência, a base para a tomada de decisão consciente e consistente, eliminando as insatisfações e os altos custos associados aos projectos implementados através da tentativa e erro da experimentação directa típicos dos eventos *kaizen*.

### **3 INVESTIGAÇÃO EFECTUADA**

Este capítulo aborda a metodologia de estudo utilizada na realização do projecto. A definição e a escolha da metodologia é uma fase muito importante porque se trata da fase onde se constroem os alicerces em que se fundamenta a investigação a desenvolver.

A abordagem adoptada será dedutiva porque o objectivo do projecto é desenvolver uma estrutura conceptual (modelo de simulação) em que se testa o funcionamento da mesma com dados retirados no momento da realização do projecto.

#### **3.1 Metodologia de Investigação**

Durante o período em que decorreu este estudo o investigador e os engenheiros participantes criaram um contexto de investigação-acção, recriando a estrutura de grupo como um espaço onde planeiam as intervenções a realizar, definem os problemas e tomam decisões que influenciam a investigação. As decisões são partilhadas, existindo, no entanto, clareza na distinção da natureza da actividade de cada interveniente, dado que o foco do trabalho dos engenheiros é a actividade produtiva e o foco do investigador o trabalho de investigação que se propôs levar a cabo. É das opções metodológicas e dos procedimentos por mim definidos que procuro dar conta neste capítulo.

##### **3.1.1 Opções metodológicas e escolha do caso**

Pelo facto de pretender estudar uma entidade bem definida, neste caso um sistema puxado de produção com procura nivelada do cliente implementado e conhecer em profundidade o ‘como’ e os ‘porquês’ salientando a sua unidade e identidade próprias, considereei adequado utilizar como *design* de investigação o estudo de caso (Quivy & Campenhoudt, 2008). Esta metodologia é adequada na medida em que as variáveis relevantes estão muito embebidas na entidade em estudo e a investigação se assume como particularista, isto é, “debruça-se deliberadamente sobre uma situação específica que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico” (Quivy & Campenhoudt, 2008). Também (Boudon, 1990), defende que o estudo de caso é adequado quando o fenómeno de estudo não se pode isolar do contexto, sendo um meio de investigar fenómenos imersos

em unidades sociais complexas que incluem múltiplos elementos potencialmente importantes para a compreensão desse fenómeno, o que corresponde à situação desta investigação.

Nos casos considerados neste trabalho procuro criar uma estrutura descritiva, factual do objecto de estudo, em que se expressa os acontecimentos e ao mesmo tempo se problematiza o seu objecto, interpreta dados da observação, analisa os problemas, confrontando com outras análises. A natureza desta investigação é empírica, dado que se baseia fortemente no trabalho de campo e se estuda cada uma das variáveis no seu contexto real, procurando tirar partido das múltiplas fontes de dados.

Este estudo de caso vive de uma abordagem essencialmente quantitativa. Os dados quantitativos são usados na análise e interpretação do caso e permitiram ver as tendências maioritárias.

As actividades são realizadas por todos os participantes, inclusive por aqueles que não tinham sido seleccionados para a recolha de dados. Nunca se pretendeu, nem parece adequado em investigações desta natureza, ter grupos de controlo.

O estudo de caso não tem características de intervenção, exigindo mesmo um certo distanciamento em relação ao objecto em análise, condições respeitadas em relação ao caso tratado que são actividades, apesar de considerar estar inserido num projecto de investigação-acção, logo de intervenção, com os participantes no estudo.

Como o objecto deste estudo são sistemas puxados de produção com procura nivelada do cliente através de um estudo de caso implementado. Mas como seleccionar o caso?

Segundo (Quivy & Campenhoudt, 2008) o investigador examina vários interesses no fenómeno, seleccionando um caso de um certo objecto, que ofereça oportunidades para aprender. O potencial para aprender é um critério diferente e algumas vezes superior ao carácter representativo – é frequente aprender-se mais através de um caso atípico que através dum caso típico.

### **3.1.2 A recolha de dados e análise de dados**

Neste trabalho, obtêm-se dados sobre a forma como determinadas variáveis influenciam os sistemas de produção. O modo principal de recolha de dados é a

observação (directa ou participante) em vários contextos: sala de Workshop, fora da sala de Workshop, nas sessões de trabalho no piso de fábrica.

E a análise documental?

Ao mesmo tempo realiza-se uma profunda análise documental que possibilita uma maior compreensão dos conceitos essenciais ao desenvolvimento deste trabalho, ao mesmo tempo que fomenta a discussão e a inquietação face ao desenvolvimento de determinados modelos de actuação.

Para a realização do projecto na empresa, pedi autorização ao responsável do departamento de engenharia e gestão industrial.

Neste trabalho o momento de análise realiza-se à medida que os dados são recolhidos. A análise a efectuar ao longo da transcrição da observação dos dados das variáveis, permite começar a organizar ideias, clarificar os objectivos e concretizar as questões do estudo. No entanto, a decisão maior, como a sua estrutura, só é tomada após terminar a recolha dos dados.

### **3.1.3 Fontes bibliográficas**

A pesquisa bibliográfica é fundamental para a elaboração de um trabalho de Projecto. A bibliografia é uma etapa essencial para a realização de um relatório de tese, já que é a partir dela que se seleccionará o material dos relatórios.

O relatório procura uma pesquisa exaustiva na bibliografia disponível, sendo que inicialmente se pesquisou nas fontes mais próximas. A biblioteca da universidade foi de grande valia para a busca de fontes bibliográficas para a realização do relatório uma vez ter sido possível analisar as teses relacionadas com o tema escolhido e já apresentadas pela instituição, a formatação das mesmas e, muitas vezes, a selecção de autores.

A internet também se revelou uma mais valia na selecção de bibliografias para o relatório, já que é cada vez mais comum a existência de bancos de dados de artigos científicos ou livros online.

Para que este relatório tenha sucesso, é essencial que sua bibliografia seja formada por fontes autênticas que possam ser acreditadas. Toda afirmação ou declaração fundamental que se capte de uma fonte bibliográfica será citada através do modelo apropriado a partir do estabelecido na formatação.

A actualidade deste relatório de tese é um ponto-chave, assim, sempre que possível, procurou fontes bibliográficas actuais, sendo que se socorreu de fontes primária tais como teses de mestrado já publicadas e fontes secundárias como livros que não sejam cinco anos anteriores à realização deste relatório.

No entanto, esta afirmação é variável pois para os temas tratados, foi essencial procurar as fontes bibliográficas mais eficazes e reconhecidas, e estas muitas vezes são mais antigas. De facto, o tema da pesquisa deste relatório requereu algum estudo da evolução do assunto, como histórico e mesmo da construção conceitual, fontes bibliográficas mais antigas estão presentes.

A bibliografia foi lida atentamente para seleccionar o texto para dar confiança ou não às ideias a demonstrar no relatório. Procurou-se o cruzamento de ideias de diferentes autores e antes mesmo de escolher o tema do projecto procurou-se ler bastante sobre o assunto para não encontrar dificuldades futuras.

## **3.2 Revisão crítica da literatura**

### **3.2.1 *Lean production* – a origem do termo**

(Womack, Jones, & Roos, 1992), estudaram os processos de produção de diversas organizações do mundo e relataram o resultado deste estudo de *Benchmarking* no livro “A Máquina que Mudou o Mundo”. Eles encontraram “uma forma melhor de organizar e gerir as nossas relações com clientes, cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção” e utilizaram o termo produção magra (*lean production*), para denominar essa abordagem.

Hoje o paradigma da produção magra é discutido amplamente na literatura. É considerado como aplicável à maioria dos processos de produção, trazendo benefícios à melhoria da produtividade, maior valor agregado aos produtos, redução de desperdícios e maior satisfação dos clientes. Baseia-se no pioneirismo do TPS.

Em 1950 Eiji Toyoda, engenheiro da Toyota, visitou a fábrica Rouge da Ford em Detroit, até então o maior e mais eficiente complexo fabril do mundo. Depois de ter estudado esta fábrica, Eiji concluiu que era possível melhorar o sistema de produção da Toyota, mas que copiar e aperfeiçoar o modelo americano não seria suficiente. Voltando ao Japão, Eiji e Taiichi Ohno (pioneiro na introdução deste sistema na Toyota), chegaram a conclusão de que a produção em série nunca funcionaria no Japão e, a partir

daí, nascia o que a Toyota veio a chamar de TPS cujos princípios magros podem ser resumidos como valor – valor para o cliente, fluxo de valor – onde realmente se cria este valor, fluxo – fazer com que as etapas que criam valor fluam, puxar – produzir apenas o que os clientes ou os processos seguintes solicitam e a perfeição – a busca pela melhoria contínua, removendo cada vez mais os desperdícios (Womack, Jones, & Roos, 1992).

De acordo com (Monden, 1984) , *“o TPS é um método racional de produção pela completa eliminação de elementos desnecessários na produção com o objectivo de reduzir os custos. A ideia básica neste sistema é produzir as unidades necessárias no tempo necessário e na quantidade necessária. Com a realização deste conceito podem ser eliminados os inventários intermediários e os de produtos acabados, então desnecessários”*.

### **3.2.2 Eliminação do desperdício “muda”**

*“Perfeição não se atinge quando não há mais para acrescentar, mas sim quando não há nada mais para remover”*

(Antoine de Saint-Exupéry)

O pensamento *lean*, na sua essência, procura identificar e eliminar todos os desperdícios, ou *muda*, como se diz no Japão, existentes na cadeia de produção, concentrando esforços nas actividades que criam valor para o cliente. De acordo com (Womack, Jones, & Roos, 1992), desperdício é “qualquer actividade humana que absorve recursos, mas não cria valor”. Para (Ohno, 1988), desperdício refere-se a todos os elementos de produção que só aumentam os custos sem agregar valor – por exemplo, excesso de produção, *stocks* de materiais e transporte.

Segundo (Rother & Shook, 2003) a aplicação do TPS, inicia-se analisando o processo de produção a partir da perspectiva do cliente. A primeira questão no TPS é sempre “o que o cliente quer com esse processo?” (tanto o cliente interno, dos próximos passos da produção, quanto o cliente final). Isso define valor. Pelos olhos do cliente, podemos observar um processo e separar os passos que agregam valor, dos que não o fazem. Isto pode ser aplicado a qualquer processo – produção, informação ou serviço.

A Toyota identifica sete grandes tipos de perdas sem agregação de valor em processos administrativos ou de produção (Oliveira, 2008).

1. Produção em excesso. Produção de itens para os quais não há procura, o que gera perda com excesso de colaboradores e de *stocks* e com custos de transporte devido ao *stock* excessivo.
2. Espera (tempo sem trabalho). Colaboradores que servem apenas para vigiar uma máquina automática ou que aguardam pelo próximo passo no processamento, ferramenta, peça, etc., ou que simplesmente não têm trabalho para realizar devido a uma falta de *stock*, atrasos no processamento, interrupção do funcionamento de equipamentos e constrangimentos de capacidade.
3. Transporte ou movimentação desnecessários. Movimento de *stock* em processo por longas distâncias, criação de transporte ineficiente ou movimentação de materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou fora do *stock* ou entre processos.
4. Sobre processamento ou processamento incorrecto. Passos desnecessários para processar as peças. Processamento ineficiente devido a uma ferramenta ou ao projecto de baixa qualidade do produto, causando movimento desnecessário e produzindo defeitos. Geram-se perdas quando se oferecem produtos com qualidade superior à que é necessária.
5. Excesso de *stock*. Excesso de matéria-prima, de *stock* em processo ou de produtos acabados, causando *lead-times* mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazém e atrasos. Além disso, o *stock* extra oculta problemas, como desbalanceamento de produção, entregas atrasadas dos fornecedores, defeitos, equipamentos em reparação e longo tempo de *setup*.
6. Movimentos desnecessários. Qualquer movimento inútil que os colaboradores têm que fazer durante o trabalho, tais como procurar, pegar ou empilhar peças, ferramentas, etc. Caminhar também é *Muda*.
7. Defeitos. Produção de peças defeituosas ou reparação. Reparar ou retrabalhar, descartar ou substituir a produção e inspeccionar significam perdas de manuseio, tempo e esforço.

(Liker, 2005), inclui um oitavo desperdício, o desperdício da criatividade dos funcionários tais como perda de tempo, ideias, competências, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver os colaboradores das organizações.

(Ohno, 1988), considera a produção em excesso como sendo o principal *Muda*, pois gera a maioria dos outros tipos de *Muda*. Produzir mais do que o cliente deseja em qualquer operação do processo de fabricação leva necessariamente à formação de *stock* em determinado local: O material fica por lá, esperando para ser processado para na próxima operação.

Os produtores em massa ou de grandes quantidades poderiam perguntar: “Qual é o problema, desde que as pessoas e equipamentos produzam peças?” O problema é que grandes *buffers* levam segundo (Monden, 1984) a um outro comportamento indesejado, como diminuição da motivação para melhorar continuamente as operações. Porquê se preocupar com manutenção preventiva do equipamento quando as paragens não afectam imediatamente a montagem final? Porquê se preocupar com alguns poucos erros de qualidade quando se pode simplesmente sucatar as peças defeituosas? Porque, quando uma peça com defeito chega na operação em que o colaborador tenta monta-la, podem ter-se passado semanas com peças defeituosas em processo á espera de processamento (Womack, Jones, & Roos, 1992).

A eliminação de todo desperdício existente nos processos das organizações leva a uma maior eficiência. Analisando todas as fontes de desperdícios identificadas anteriormente, não existem dúvidas sobre os resultados que podem ser alcançados com a implementação da produção magra. O desenvolvimento da compreensão dos gestores e supervisores em relação ao que é desperdício e as suas causas, é fundamental para o sucesso de uma iniciativa *lean* (Torga, Montevechi, & Pinho, 2008).

### **3.2.3 Produção puxada “*pull production*”**

*“Quanto mais stock uma empresa tem,...menos provável  
é que tenha o que precisa” (Ohno, 1988)*

Mais especificamente, para se entender o funcionamento do sistema de produção puxado é necessário ver o fluxo de produção inversamente; em outras palavras, o colaborador de um certo processo vai ao processo precedente retirar as unidades necessárias na quantidade necessária e no tempo necessário. Assim, o processo precedente tem que produzir somente a quantidade suficiente de unidades para repor aquelas que foram retiradas. Neste sistema, a quantidade e o tipo de unidades necessárias são descritos num cartão pequeno chamado *kanban*. O *kanban* é enviado

para os colaboradores de um processo precedente através do processo subsequente. Tal mecanismo é chamado de produção puxada. Como resultado, muitos processos na organização são interligados uns aos outros (Monden, 1984).

Na produção empurrada, as peças armazenadas em cada etapa são previstas, considerando o tempo e o fluxo total para a finalização do processo na etapa final (The productivity press development team, 2002).

Tabela 3 - Produção puxada versus produção empurrada

Sistemas de produção	<p><u>Empurrar</u>: Prevêem a procura de itens armazenados ou material em processo em cada etapa, considerando o tempo de fluxo até a etapa final. Todas as etapas são controladas, justificando os <i>stocks</i> de produtos finais e peça em cada processo.</p> <p><u>Puxar</u>: Possui certa quantidade de <i>stock</i> (buffer) em cada etapa. Uma operação posterior pede e retira peças da operação anterior apenas na proporção e na hora em que consome tais itens.</p>
Problemas	<p>A maioria dos sistemas convencionais corresponde ao de empurrar. E quanto maior se torna o sistema, mais aparecem os seguintes problemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Quando ocorrem <i>mudanças</i> drásticas de procura ou problemas na produção, torna-se impossível renovar os planos para cada processo. Além disso, é provável que tais dificuldades causem <i>stocks</i> em excesso ou mesmo inventário morto.</li> <li>· Torna-se impossível para os funcionários do controle de produção inspecionar todas as situações relativas ao índice de produção e ao nível de <i>stock</i>. Assim, um plano de produção deve ter um <i>stock</i> com excesso de segurança.</li> <li>· Melhorias relativas ao tamanho de lote e tempo de processamento podem não progredir, porque torna-se muito incómodo processar em detalhe os planos ótimos de produção.</li> </ul>
Soluções	<p>O sistema de puxar tem sido idealizado como um meio de resolver tais problemas. Deve-se obter melhorias constantes (<i>kaizen</i>), de maneira simples e confiável, e repor os itens na medida em que a área posterior os consome.</p>

O *stock* em muitos casos é necessário para permitir um fluxo uniforme e é também perceptível que em departamentos individuais que produzem produtos segundo um planeamento num sistema empurrado de produção naturalmente produzem em excesso e criam grandes *stocks* (Morreira & Alves, 2006).

Num sistema empurrado a produção de itens baseia-se num planeamento feito com antecedência, o que significa que a produção e os pedidos de compra são iniciados pela procura do cliente prevista. A operação continua a produzir de acordo com o cronograma e origina desperdícios. Mas a procura do cliente pode alterar, e as coisas podem não dar certo. O que acontece com o planeamento então? (Takeda, 1999)

Quase todos os departamentos de produção em serie tentarão minimizar os *setups* (trocas de equipamentos) necessários para produzir diferentes tipos de produtos. Como resultado, um determinado departamento poderá produzir todos os itens de maior volume logo no início da semana, antes da troca. Como cada departamento produz o que deseja ao longo da semana, não haverá nenhuma coordenação real entre eles. Para manter os departamentos sempre a funcionar, criar-se-ão *stocks* amortecedores entre departamentos. Desta forma, os departamentos, trabalhando de acordo com planeamentos independentes, estarão empurrando material para esses *stocks* (Takeda, 1999).

Como compromisso entre o ideal do fluxo unitário de peças e o sistema empurrado, criam-se pequenos *buffers* de itens entre operações para controlar o *stock*. Quando o cliente retira determinados itens, estes são respostas. Se um cliente interno ou externo não desejar utilizar um item, este permanece no armazém, mas não é repostado. Não Haverá produção em excesso maior do que a pequena quantidade na prateleira, e há pelo menos uma conexão directa entre o que os clientes querem e o que a empresa produz (Ohno, 1988).

### **3.2.4 Produção puxada com procura nivelada do cliente**

*A lenta – mas mais coerente – tartaruga causa menos perda e é muito mais desejável do que a lebre veloz que corre na frente e pára de vez em quando para descansar. O Sistema Toyota de produção só pode funcionar quando todos os funcionários se tornam tartarugas*  
(Ohno, 1988)

As empresas que tentam “produzir por pedido” estão na verdade solicitando aos clientes que esperem por exemplo de seis a oito semanas pelo seu produto “feito sob encomenda”. Alguns clientes “especiais” podem furar a fila e conseguir que sejam atendidos à custa da grande maioria de clientes, mas isso arruína o ritmo das operações para produzir uma encomenda hoje quando o cliente só obterá o produto dentro de seis semanas observou (Takeda, 1999).

Alguns autores tais como (Ohno, 1988) sugerem que as empresas acumulem pedidos e nivelem o plano de produção reduzindo assim os *leads times* de produção, eliminando *stocks* de itens e oferecem prazos de produção muito menores para todos os clientes, resultando em maior satisfação geral do que uma abordagem de produção por pedido que “acelera e desacelera”.

No seu estudo ao TPS (Monden, 1984) refere que é usado o termo japonês *muda* quando se fala sobre desperdícios/perdas, e a eliminação de *muda* constitui o foco da maioria dos esforços para a produção magra. Mas refere dois outros Ms que são também importantes para a produção magra, e todos encaixam-se como um sistema.

Na verdade também refere (Liker, 2005), o foco exclusivo em apenas oito tipos de *muda* pode realmente prejudicar a produtividade dos colaboradores e o sistema de produção e enuncia que o documento sobre o modelo Toyota refere-se à “eliminação de *Muda, Muri e Mura*”. Os três Ms são:

- *Muda* – nenhuma agregação de valor. O M mais conhecido inclui segundo (Liker, 2005) os oito tipos de perdas já mencionados anteriormente neste trabalho. Tratam-se de actividades supérfluas que aumentam os *lead times*, causam movimentos desnecessários para obter peças ou ferramentas, criam excesso de inventário/*stocks* ou resultam em alguma forma de espera.
- *Muri* – sobrecarga de pessoas ou de equipamentos. Em alguns aspectos, este M encontra-se na extremidade oposta á do *Muda*. *Muri* significa colocar uma máquina ou uma pessoa além dos seus limites naturais. A sobrecarga do equipamento causa interrupções e defeitos.
- *Mura* – desnivelamento. Pode ser visto como a resolução dos outros dois Ms. Em sistemas de produção normais, ás vezes há mais trabalho do que as pessoas ou máquinas podem realizar e outras vezes a falta de trabalho. O desnivelamento resulta de um programa de produção irregular ou de volumes de produção flutuantes devido a problemas internos, como paragens, falta de material ou

peças, ou defeitos. *Muda* é o resultado de *Mura*. O desnivelamento da produção significa que será necessário ter a mão o equipamento, os materiais e as pessoas para o mais alto nível de produção (pico de produção) – mesmo se as exigências normais forem muito menores.

Para (Oliveira, 2008) o nivelamento da produção procura distribuir a produção de forma homogénea ao longo do tempo disponível de trabalho. Por exemplo numa linha de montagem de antenas para automóveis, o número total de antenas a serem produzidos no mês será dividido pelo número de dias disponíveis para produção, nivelando o número de antenas a serem produzidos por dia de trabalho. Observa-se em alguns sistemas não nivelados, a produção mais apertada em alguns períodos do mês, implicando trabalhar em horário extraordinário na proximidade da data de entrega do pedido e uma ociosidade após a entrega.

A fim de evitar flutuações na produção, precisamos tentar manter a flutuação na linha de montagem final em zero” (Ohno, 1988)

O nivelamento da produção em volume e em combinação (*mix*) de produtos não consiste na produção de itens de acordo com o fluxo real de pedidos dos clientes, o que pode subir e descer drasticamente, mas toma o volume total de pedidos em um período e nivela-os para que a mesma quantidade e combinação sejam produzidas a cada dia. A abordagem do TPS consiste em manter os lotes pequenos e produzir o que o cliente (interno ou externo) deseja (Monden, 1984)

Segundo (The productivity press development team, 2002) os benefícios que decorrem do nivelamento do plano de produção são:

- ✓ Flexibilidade para produzir o que o cliente deseja quando ele deseja. Esta medida reduz o *stock* da organização e os problemas correlacionados.
- ✓ Redução do risco de não vender os produtos. Se a organização produz apenas o que o cliente solícita, não necessita reduzir aos custos de posse e de armazém do *stock* em matéria-prima, de produtos semi-acabados ou de produtos acabados.
- ✓ Uso balanceado da mão-de-obra e de máquinas. A organização pode definir um trabalho standard e nivelar a produção levando em conta que alguns itens exigem menos trabalho do que os outros. Se a organização tomar isso em consideração e mantiver o nível do plano de produção, poderá ter uma carga de trabalho flexível e balanceada ao longo do dia.

- ✓ Procura uniformizada para os processos e fornecedores da organização. Se a organização utilizar um sistema JIT para os processos e se os fornecedores fizerem varias entregas em um dia, estes terão um conjunto nivelado e estável de pedidos. Assim sendo, permitir-lhes-á reduzir o *stock* e até mesmo facultar descontos para o cliente, de forma que todos poderão usufruir dos benefícios do nivelamento.

Estes autores ressaltam no entanto que estes benefícios só são possíveis se a organização eliminar/reduzir o tempo para preparação das máquinas (setup) aquando das actividades de *mudança* de produtos.

Segundo (The productivity press development team, 2002) os “sistemas puxados”, tradução Portuguesa para a designação genérica do *pull System* originária do TPS, pressupõe que existe unicamente produção quando existe consumo, quer de matéria-prima, produtos intermédios ou produtos acabados e classificam-nos em:

- ✓ Sistemas puxados puros do consumo do cliente - o consumo invariavelmente pressupõe que uma determinada quantidade consumida origina um pedido de produção na mesma quantidade no *pacemaker* do processo. Para que o sistema puxado puro, possa ser colocado em prática, é necessário que os conceitos de SMED; Orientação ao processo e flexibilidade de processos estejam totalmente implementados na organização.
- ✓ Sistemas puxados da procura nivelada do cliente – são por definição, sistemas de produção que pressupõem que para um período (normalmente semana ou mês) o plano de produção é nivelado (produzindo a mesma quantidade no período), sendo a flutuação do cliente durante o período absorvida pelo *Stock*, calculado de acordo com o *lead time* e pico de procura do cliente no período em estudo.

O sistema Puxado de produção denominado por (Imai, 2000) como modelo *pull flow* (Figura 5) está associado a várias ferramentas/componentes:

- Contrato produção-logística – Acordo formalizado entre a produção e a logística referente ao *mix* e quantidade a ser produzido num período mínimo de um mês. Tem por objectivo proporcionar condições de estabilidade a produção. Tem como implicações para logística: O dimensionamento da cadeia logística; Encomendas diárias (*mix*) correspondentes ao contrato; Garantia de fornecimento de componentes. Para a produção tem como implicações o cumprimento do contrato independentemente das ocorrências.

- Tempo de *takt* (*tack time*) – O ciclo de produção deve obedecer ao tempo de *takt*, ou seja, deve corresponder ao ciclo de consumo (tempo de *takt* = tempo disponível para produção/Necessidade do cliente) .
- Produção nivelada – Significa produzir regularmente o volume e o *mix* durante o tempo disponível reduzindo assim as perturbações causadas pela produção irregular e permitindo ainda suavizar o consumo de componentes e matérias-primas.
- Supermercado – Num sistema *pull* os *stocks* devem estar disponível num supermercado: localizado junto do respectivo fornecedor para permitir visualizar o consumo; com capacidade limitada e dimensionada de acordo com a procura permitindo a sua gestão visual e garantindo o princípio FIFO.
- O *kanban* – O *kanban* (cartão) é um meio de comunicação visual, simples e rápido de gestão diária da produção. Controla o *stock* em curso e despoleta a reposição de materiais. É uma ferramenta do *gemba* (piso de fabrica). Existem dois tipos de *kanban*: *kanban* de produção – Ordem para produzir os materiais consumidos no supermercado e *kanban* de movimentação – Ordem para retirar materiais do supermercado.
- A caixa logística – Apresenta os *kanban* de acordo com o prazo de entrega, permite obter um controlo visual da carteira de encomendas. É um *buffer* antes da caixa de nivelamento (as encomendas não vêm em geral niveladas).
- *Heijunka board* (quadro de nivelamento) – localizada na preparação da expedição respeita a capacidade da linha/célula de produção traduzindo o contrato produção-logística (volume, *mix*) impondo o ritmo a linha/célula. Cada período horário também define o ciclo do *mizusumashi*.
- Sequenciador (da produção) – Está localizado no início da linha ou célula de produção. Garante o FIFO dos *kanban* e é abastecido pelo *mizusumashi* permitindo o controlo visual da produtividade da linha /célula ajudando à tomada de decisão de reforçar a capacidade.
- *Milkrun* ou *mizusumashi* (abastecedor com circuito normalizado) – realiza um trabalho normalizado/standard. No mesmo ciclo logístico executa o abastecimento de componentes e a recolha de produto acabado (duplica a produtividade por não ter ciclos vazios). Movimenta ainda os *kanban* no fluxo

Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência de informação e expulsa da célula/linha o *Muda* – micro paragens para abastecimento.

- Caixa de construção de lote – Recebe os *kanban* da caixa de nivelamento até formar um lote para o sequenciador. O objectivo segundo (Imai, 2000) é eliminar este dispositivo, passando a produzir em lote unitário (*one-piece-flow*).

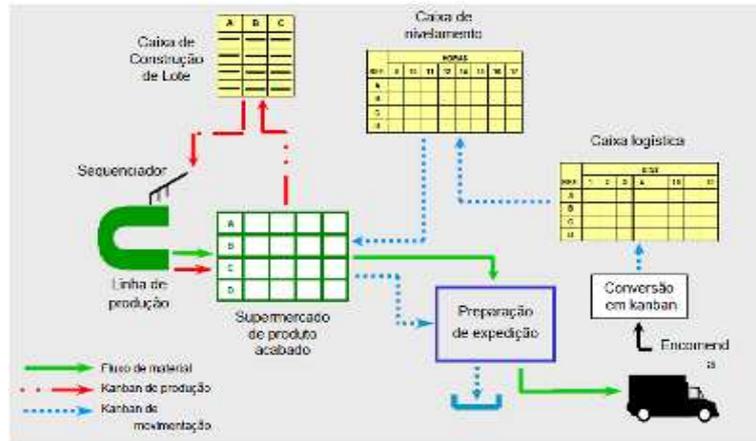


Figura 5 - O modelo *pull flow*

(Rother & Shook, 2003) descrevem ainda a integração do método do *kanban* no *pull flow* (Figura 6) que segundo estes autores à primeira vista parece simples, tanto no funcionamento como na compreensão. Contudo é difícil a sua implementação para se alcançar o êxito. Existe nas empresas uma grande resistência à *mudança* e este é um dos maiores problemas que a metodologia *lean production* encontra. No entanto, depois de implementado, as empresas ganham uma grande facilidade de se ajustarem às *mudanças* dos mercados.

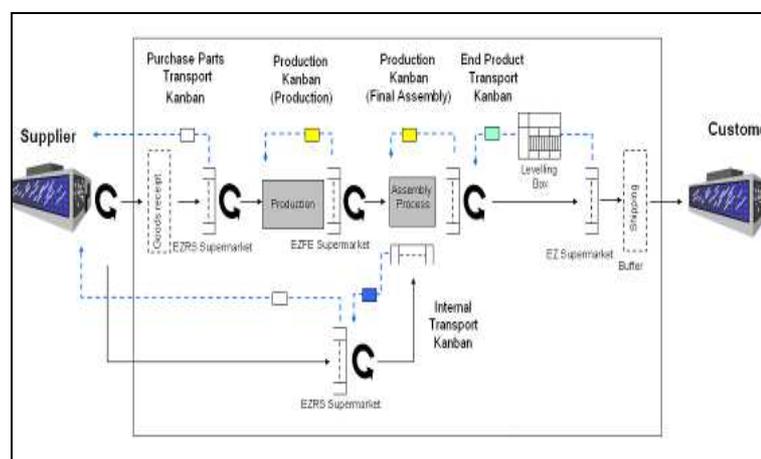


Figura 6 - Integração do *kanban* no *pull flow*

Na Figura 6 pode-se verificar um fluxo unidireccional de produção da esquerda para a direita. Este é o fluxo directo. No entanto este fluxo só se inicia devido a um fluxo de informação que se verifica no sentido inverso, começando com o pedido por parte do cliente. Assim o fluxo de informação vai “puxar a produção”.

De acordo com a Figura 6, ao ser colocada a encomenda por parte do cliente será feito o seu nivelamento, enviando um pedido para a montagem final mostrando que é necessário produzir um determinado número de peças. Por sua vez a montagem final pede à produção o número de componentes necessários para satisfazer a encomenda do cliente. Assim começa a produção na injeção “puxada pelo cliente”. Durante o fluxo de informação o cartão *kanban* encontra-se nos quadros de produção. Posteriormente acompanha as peças até ao armazém de produto final, sendo retirado aquando da expedição e regressando aos quadros de produção.

Assim verifica-se o contrário das antigas filosofias, em que se tentava aproveitar o tempo ao máximo, e estar sempre a produzir, o que levava a “empurrar a produção” e excesso de *stocks*.

### **3.2.5 BOSCH Production System**

De forma a situar o projecto quanto aos princípios base que este deve respeitar e incorporar descreve-se o método de trabalho da MotoMeter.

A MotoMeter utiliza o Sistema de Produção BOSCH (*BOSCH Production System*) que começou a ser introduzido na MotoMeter em Março de 2004. O sistema baseia-se na filosofia *lean production* cujos objectivos passam pela optimização do processo e/ou recursos utilizados, através da eliminação de todos os elementos que não acrescentam valor à cadeia de produção, que segundo (Womack & Jones, 1996) é “qualquer actividade humana que absorve recurso mas que não cria valor”.

Este conceito foi adoptado do sistema de produção da Toyota (*Toyota Production System, TPS*) inicializado nos anos 60 na *Toyota motors company* (Monden, 1983).

#### **3.2.5.1 Objectivos do BPS**

O BPS aposta na melhoria dos processos através do seguimento sistemático de princípios. Pretende-se, desta forma, uma melhoria dos indicadores, assim como uma melhor orientação dos processos. Consequentemente, faz sentido efectuar, em

simultâneo com a avaliação dos indicadores, uma avaliação da maturidade dos processos tendo em conta os princípios do BPS. Segundo o manual de BPS (Manual BPS, 2002) só se melhora os indicadores melhorando a qualidade dos produtos.

### 3.2.5.2 Princípios BPS

Como já foi dito o sistema BPS assenta num conjunto de princípios. Estes são relacionados com indicadores de análise de resultados.

O objectivo do modelo BPS é avaliar os processos com base nos princípios a serem apresentados de seguida. A aplicação do grau de maturidade tem como objectivo fazer uma avaliação crítica dos processos, que permite identificar áreas nas quais se possa realizar um desenvolvimento e melhoramento contínuo integrado. O grau de maturidade deve também permitir a avaliação do progresso assim como a melhoria contínua.

#### Princípio de Puxar

Este princípio tem como característica principal produzir e fornecer ao cliente apenas o que este necessita, uma vez que os *stocks* geram custos elevados e causam problemas. Juntando este princípio em simultâneo com a produção em fluxo orientado e a sincronização da produção e logística é possível reduzir o tempo dos artigos em processo e os níveis de *stocks*.

Os sistemas baseados no princípio de puxar simplificam o planeamento e controlo da produção. A simplificação resulta da aplicação de uma série de medidas operacionais que se apresentam de seguida:

- ✓ Produção segundo as necessidades do cliente;
- ✓ Controlo de *Stocks* por limites inferiores e/ou superiores;
- ✓ Inexistência de buffers, isto é, não existe *stock* intermédio entre processos (fornecimento directo);
- ✓ Transporte de material ou produção iniciados com base nas necessidades do processo seguinte;
- ✓ Material acabado de um processo mantido no próprio processo até que o processo seguinte inicie o consumo e/ou transporte desse material;
- ✓ Utilização de cartões *kanban* de 2 recipientes (*two bin system*) ou sistema andon (sinal de aviso visual e/ou sonoro).

### **Orientação ao Processo**

A orientação ao processo visa a melhoria global e não apenas a optimização de uma função particular. A orientação ao processo tende para a criação, optimização e controlo de processos globais orientados aos clientes.

Tendo esta ideia como base, o objectivo a atingir é simplificar e acelerar todos os processos negociais desde o pedido do cliente até à execução da encomenda.

Caracterizando um sistema orientado ao processo, encontra-se:

- ✓ Com o objectivo de atingir *stocks* baixos e diminuir os fluxos inversos, controlo do transporte assim como do armazenamento;
- ✓ Controlo do “fluxo” de materiais ao longo do processo produtivo;
- ✓ Concentração em todas as acções desenvolvidas durante todo o fluxo de valor acrescentado (do fornecedor ao cliente).
- ✓ Prevenção de Defeitos ou Qualidade Perfeita

Outro dos princípios do sistema BPS é orientar a produção de modo a obter “zero defeitos” no produto final. Este princípio dita que a prevenção de defeitos é prioritária à sua detecção. Sempre que necessário é aplicado um controlo sistemático do processo produtivo. As acções preventivas juntamente com os ciclos de controlo rápidos evitam defeitos repetitivos.

São necessárias algumas acções e medidas para prevenir defeitos. Estas medidas são apresentadas de seguida:

- ✓ Criação de zonas sem retrabalhos;
- ✓ Implantação de acções preventivas entre as quais se encontram: TPM, 5S, *Poka Yoke*;
- ✓ Concentração na disponibilidade de todos os recursos presentes no sistema, em vez de apenas na disponibilidade de máquinas;
- ✓ Disponibilidade total de máquinas.

### **Normalização**

Para se identificar se um processo ou um produto está ou não dentro das conformidades é necessário definir um padrão. Os elementos essenciais na definição de

um padrão são: a uniformização de processos e a utilização de métodos e ferramentas testadas e eficazes.

Estes padrões são orientados pelo “*best-in-class*”, que significa melhor na classe. A definição de um padrão é um requisito que deve ser compatibilizado com a flexibilidade.

Uma vez que a normalização é um elemento importante na organização do trabalho em todas as áreas da produção e da logística, implica que:

- ✓ Exista melhoria contínua nos processos padrão;
- ✓ Os desvios aos padrões estabelecidos identifiquem os problemas nos processos.

### **Transparência**

Tendo em conta que o objectivo a cumprir é melhorar os processos de uma forma contínua, estes devem ser simples e directos. Os desvios do objectivo deverão ser imediatamente visíveis e todos os elementos da empresa deverão conhecer as suas tarefas e objectivos. Todos estes pontos facilitam a orientação rápida em todas as áreas e melhoram o entendimento global.

Um processo transparente caracteriza-se por:

- ✓ Identificar facilmente o estado da produção, fluxo e *stock* de materiais;
- ✓ Permitir a fácil percepção de desvios através de um *layout* orientado ao fluxo, que possibilita uma visão rápida e clara do progresso dos trabalhos;
- ✓ Ser importante para reconhecer zonas onde se deva actuar (zonas problemáticas sujeitas a melhoria).

### **Flexibilidade**

Princípio que assenta na facilidade e rapidez de adaptação de ferramentas e organização do trabalho face a pedidos inovadores por parte do cliente. As ferramentas de trabalho devem ser fiáveis, rapidamente ajustáveis e os operadores devem ser flexíveis para executar qualquer tipo de produção.

De forma a ter flexibilidade os equipamentos da empresa deverão ser concebidos tendo em conta o ciclo de vida do produto. As ferramentas deverão ser reutilizáveis em novos processos desenvolvidos para que a variação das necessidades de transformação devido à inovação dos produtos não implique qualquer problema.

De forma a atingir a flexibilidade dever-se-á ter em conta:

- ✓ A produção de lotes pequenos, repetindo várias vezes a produção de cada lote;
- ✓ A afectação dos operadores a postos permitindo assim a adaptação da taxa de produção;
- ✓ A redução dos tempos de *mudança* de produto;
- ✓ A fácil implementação para a criação de produtos com características novas;
- ✓ O estabelecimento de um padrão e criação de documentação nos processos de *mudança*.

### **Auto-Responsabilidade ou Envolvimento**

Tendo em conta que todos os elementos pertencentes à empresa contribuem para o sucesso dos processos produtivos de forma competente e responsável, utilizam-se os conhecimentos e a criatividade de todos os colaboradores.

As áreas de responsabilidade têm que ser claras e conhecidas. Todos conhecem a sua contribuição para o sucesso da empresa e existe motivação para participar activamente nos processos de melhoria.

### **Melhoria Contínua (*Continuous Improvement Process*)**

Este princípio foi referenciado na caracterização do princípio normalização e fundamenta-se basicamente na premissa de que “não existe nada que não possa ser melhorado”. Este princípio assenta em atingir valores padrão melhorados e assegura processos dominados através da melhoria contínua e consequente prevenção de defeitos (eliminar *Muda*).

Este princípio é caracterizado pela:

- ✓ Orientação dos operadores de acordo com o objectivo do procedimento CIP;
- ✓ Organização e realização contínua de *Workshops* CIP (Processo de Melhoria Contínua);
- ✓ Através da realização de *Workshops*, obter um controlo do seu planeamento e conteúdo, demonstrando o modo de funcionamento de determinada tarefa;
- ✓ Colaboração activa nos *Workshops* CIP das chefias de departamento e das chefias intermédias;
- ✓ Integração de operadores nos *Workshops* e nas sugestões de melhorias.

### 3.2.5.3 Ferramentas

De seguida faz-se uma descrição das ferramentas utilizadas pelo BPS, e que foram relevantes para a elaboração do projecto:

- ❖ *Value stream mapping e value stream design;*
- ❖ Implantação ou *layout* orientado ao fluxo;
- ❖ *Just in time, lean production;*
- ❖ *Sete Mudras;*
- ❖ *Milkrun;*
- ❖ Sistemática *kanban;*
- ❖ *Leveling* (nivelamento);
- ❖ Supermercado;
- ❖ QCO (*Quick Change Over*);
- ❖ CIP (*Continuous Improvement Process*).

#### ***Value Stream Mapping e Value Stream Design***

Fluxo é a realização progressiva das tarefas ao longo da cadeia de valor, e na melhor das hipóteses, sem interrupções ou refugos (fluxo contínuo).

Dentro da empresa, podem existir dois tipos de fluxo:

1. Fluxo de projecto de produto (projectar), que abrange desde a concepção até o lançamento de um produto;
2. Fluxo de produção, que abrange o fluxo de material e de informações desde a matéria-prima até o consumidor (pedir e produzir).

O segundo fluxo é o objecto de estudo do mapeamento. O mapeamento fornece uma visão global de todas as etapas pelas quais o produto passa dentro da empresa até chegar ao cliente, em termos de fluxos físicos e de informação. É possível então, com o mapa em mãos, identificar mais facilmente os pontos onde há desperdício.

O mapeamento é uma ferramenta qualitativa que consiste na representação destes fluxos de forma simples e de fácil compreensão, por meio de desenhos, não havendo necessidade do uso de computadores ou softwares especializados. Os ícones usados no mapeamento são facilmente identificáveis (por exemplo, um triângulo indica um ponto de *stock*).

O mapeamento divide-se basicamente em 4 etapas:

1. Escolher uma família de produtos, pois mapear todos os produtos de uma só vez pode ser muito demorado e cansativo. A escolha deve ser feita pensando-se na importância e no valor para o consumidor: os produtos mais vendidos, mais caros, etc.;
2. Desenhar o estado actual (*Value Stream Mapping*), ou seja, como a empresa encontra-se no momento. A primeira representação a ser feita é a do cliente, no canto superior direito da folha. O próximo passo é adicionar os processos, inclusive a expedição.
3. O terceiro passo é incluir o fornecedor, representando apenas uma ou duas matérias-primas principais. O quarto passo trata do fluxo de informação. No último passo acrescentam-se os respectivos *lead Times* de cada etapa na parte inferior da folha;
4. Desenhar o estado futuro (*Value Stream Design*), uma idealização de como a empresa pode ser com a eliminação de todos os desperdícios encontrados. Para uma transformação em *Lean Production*, os 7 passos são:
  1. Determinar o *tackt time*;
  2. Determinar se os produtos finais serão dispostos em supermercados ou produzidos directamente para a expedição;
  3. Identificar os processos que têm tempos de ciclo próximos e que podem ser colocados em fluxo contínuo;
  4. Estabelecer onde será usado o *pull system*;
  5. Determinar qual será o processo puxador (*pacemaker*);
  6. Fazer o nivelamento de produção (*leveling*);
  7. Determinar as melhorias necessárias para atingir tal estado. Escrever o plano de trabalho, dividido em etapas, as quais devem ter objectivos, metas e datas necessários para se atingir ao máximo possível o estado determinado na etapa anterior.

A melhor maneira de representar o mapa é em uma folha de papel grande e a lápis, pois permite a correcção de erros e a reavaliação de ideias mais facilmente. A partir do momento em que o plano de trabalho é concluído, faz-se um novo mapa actual, com menos desperdício, mas que ainda pode ser melhorado. Dessa forma entra-se numa espiral de melhoria contínua. Este trabalho pode ser feito por uma pessoa apenas, que

deve ter a liberdade de transitar por todos os departamentos da empresa na procura de informações, para que haja uma compreensão do fluxo completo de material e de informação do produto. É importante ter sempre em mente que se deve desenhar o fluxo de produtos dentro da empresa, e não a empresa.

No Anexo A pode-se encontrar alguns exemplos da simbologia utilizada num *Value Stream*.

### **Implantação ou *layout* orientado ao fluxo**

Este tipo de implantação caracteriza-se por o equipamento ser instalado de forma a permitir o mínimo de necessidade de transporte ou manuseio durante os processos de produção. O *layout* em causa deverá permitir uma boa visibilidade do desperdício e promover uma comunicação eficaz. Os *lead times* (tempo que medeia a encomenda e a produção) de produção são mínimos, utiliza-se um número baixo de *stocks-em-curso* (WIP- *Work In Process*) e processam-se pequenos lotes de produção.

As vantagens deste tipo de implantação são a:

- ✓ Redução de *lead times* de produção em todo o sistema;
- ✓ Rápida comunicação;
- ✓ Minimização da área de trabalho usada para operações de valor acrescentado;
- ✓ Redução da distância de transferência de material (do cais para o processo e de processo para processo);
- ✓ Minimização da área logística;
- ✓ Redução do *stock* entre processos e dentro do processo.

### ***Just in Time* - JIT**

A filosofia JIT tem como pressupostos:

- ✓ Redução de defeitos;
- ✓ Redução de *lead times*, através da redução de tempos de organização, tempos de espera e tamanhos de lote;
- ✓ Possuir apenas o necessário (*stocks* mínimos).

Por essa razão o sistema JIT visa:

- ✓ Reduzir defeitos;
- ✓ Equilibrar o consumo dos processos, diminuir a instabilidade na produção;
- ✓ Minimizar WIP;

- ✓ Minimizar flutuações no WIP de forma a controlar facilmente o controlo de *stocks* e o fluxo de materiais;
- ✓ Descentralizar a gestão fabril de forma a controlar melhor as operações.

De forma a implementar um sistema JIT numa empresa dever-se-á seguir as seguintes condições:

- ✓ Produção por Células;
- ✓ Formação polivalente por parte dos operadores;
- ✓ Adequada orientação da empresa a objectivos bem definidos;
- ✓ Tempos de preparação dos meios de produção reduzidos;
- ✓ Implementação do sistema puxado (*pull system*);
- ✓ Entregas de materiais e componentes organizadas de forma JIT;
- ✓ Aplicação do sistema de controlo de *kanban*.

### ***Lean production***

Esta abordagem foi adaptada do sistema de produção Toyota, e é definida como produção magra. O seu propósito é aumentar a qualidade e a flexibilidade do processo, aumentando a capacidade de produção e competição no cenário internacional.

No manual BPS refere-se que no desenvolvimento de um produto novo o *lean production* relativamente à produção em massa utiliza metade do esforço, metade do espaço de produção, metade dos investimentos em ferramentas e metade do tempo.

Um sistema de produção assente na abordagem *lean production* pressupõe cinco elementos fundamentais:

#### 1. *Foco na criação de fluxos de valor rentáveis.*

A concepção do produto a ser produzido deverá visar um resultado satisfatório, optimizando os recursos. Com esta abordagem dever-se-á obter uma maior produtividade, com menos espaço e outro tipo de recursos.

Os desperdícios deverão ser evitados, garantindo a rentabilidade económica, tentando aproximar as características daquilo que é produzido com o que é pretendido pelos clientes, de forma a criar valor para os mesmos.

#### 2. *Liderança empreendedora sistémica*

Deverá haver dois líderes. Um deverá conhecer bem as necessidades do cliente, para que seja produzido aquilo que este pretende. O outro líder deverá

conhecer bem as dimensões do processo produtivo. A versatilidade e experiência dos líderes devem ser elevadas.

### 3. *Cadência, fluxo contínuo e puxado*

Deverá existir uma divulgação do fluxo de informações e conhecimentos durante todo o desenvolvimento da produção. Isto deve acontecer porque a informação deve estar disponível no momento e lugar certos com a devida quantidade. Toda a informação e conhecimento deverão portanto fluir de forma compassada, contínua (sem esperas, sem retornos) e puxada (de acordo com as necessidades da próxima etapa).

### 4. *Equipas de especialistas responsáveis*

Os especialistas que pertencem a estas equipas são responsáveis pela criação e divulgação de novos conhecimentos a todos os elementos envolvidos no projecto. Os especialistas são responsáveis por quebrar barreiras tecnológicas e de conhecimentos envolvidos na busca de valores rentáveis.

### 5. *Engenharia simultânea baseada num conjunto de possíveis soluções*

Num processo participativo, diversos colaboradores da empresa com diferentes competências e funções deverão ser reunidos com o objectivo de gerarem ideias e alternativas possíveis para a resolução de problemas. Como se pretende um resultado eficaz de qualidade é feita a avaliação das ideias. Mesmo que as informações recolhidas estejam incompletas estas deverão ser transmitidas aos fornecedores, de modo a que estes também participem. Estes podem apresentar soluções com interesse para que se possa obter resultados de qualidade.

De modo a eliminar diversos tipos de perdas ou “*muda*”, como se apresentará em sete “*mudas*” há várias acções que podem ser tomadas:

- ✓ Criação de fluxo de valor acrescentado eliminando qualquer tipo de perdas;
- ✓ Especificar actividades que criem valor;
- ✓ Produção das necessidades para cada momento;
- ✓ Eliminar funções sem valor acrescentado, projectando, organizando e produzindo produtos em fluxo directo;
- ✓ Eliminação de desperdícios, atingindo elevado nível de qualidade.

De forma a satisfazer as acções acima descritas é necessário cumprir uma série de requisitos que se apresentam de seguida:

- ✓ Diminuição do número de fornecedores, aumentando assim a compra de peças a terceiros. A empresa e os fornecedores passam a ter uma relação a longo prazo e de parceria;
- ✓ Os salários dos operadores são definidos de acordo com o tempo de serviço, estando parte do salário reservada à atribuição de bónus tendo em conta a rentabilidade da empresa. Passa a existir a garantia de emprego permanente para o operador, no entanto este terá de aceitar uma redução do seu salário caso a rentabilidade da empresa seja baixa;
- ✓ As linhas de produção apenas produzem os produtos que têm procura no mercado real, não dependendo de previsões de mercado feitas por departamentos internos;
- ✓ Consciencialização dos operadores da importância da obtenção de um nível superior de qualidade dos produtos finais através de formações. Esta medida permite diminuir o número de trabalhadores encarregados do controle de qualidade do produto final assim como aumentar a qualidade do produto final;
- ✓ Existe bastante flexibilidade da linha de montagem no que toca à configuração de equipamentos e troca de ferramentas de produção;
- ✓ No projecto do novo produto engloba-se também as engenharias de fábrica (criação de produtos) e de manufatura, projectando todos os recursos necessários para a produção do novo produto. Existe uma redução do tempo total de projecto de um novo produto;
- ✓ Eliminação de *stocks*, utilizando-se a abordagem JIT, produzindo em pequenos lotes. Deve haver um ajuste da produção de materiais provenientes do fornecedor às necessidades da empresa.

### **Sete “*mudas*”**

A palavra “*muda*” de origem Japonesa tem significado diferente da mesma palavra do dicionário português. O significado dessa palavra é desperdício ou perda tornando-se bastante vulgar na linguagem de melhoria contínua de processos. A informação dos desperdícios no processo produtivo permite a identificação dos seus processos críticos.

O BPS aponta as sete “*mudas*” que são:

1. Desperdício por excesso de produção;
2. Desperdício pelo próprio processo;
3. Desperdício pelos *stocks*;
4. Desperdício pelos movimentos;
5. Desperdício por produtos defeituosos;
6. Desperdício por transportes;
7. Desperdício por tempos de espera.

### **Descrição do sistema *milkrun***

Para uma empresa funcionar correctamente todos os processos devem obedecer aos princípios adoptados pela empresa. Nesta Secção será feita a descrição do sistema de abastecimento que se pretende implementar, diferenciando o sistema *milkrun* do sistema convencional, apontando vantagens e requisitos para a sua implantação.

#### *Sistema milkrun vs Sistema Convencional*

O sistema de abastecimento definido como convencional é o sistema em que as linhas são abastecidas pelos seus próprios operadores, ou seja, são estes que, quando constatarem a necessidade de material para manter a produção, vão ao armazém fazer a recolha do material. No sistema conhecido como *milkrun* existe um ou mais operadores do armazém encarregues de fazer a recolha de material no armazém e a entrega do mesmo pelas diferentes linhas.

Neste sistema de abastecimento programado de linhas, os comboios logísticos têm o objectivo de maximizar a sua utilização e otimizar a rota, minimizando assim os custos de transporte de material.

Utilizando o sistema *milkrun*, o transporte do material para as linhas de produção será realizado num período fixo, para que a produção não seja interrompida por falta de material. Definida a janela temporal, cada operador de cada linha de produção faz a indicação do material necessário para o funcionamento adequado da linha de produção. O operador do comboio logístico tendo a lista de material necessário faz a recolha do mesmo no armazém e abastece as linhas de produção nesse período fixo.

O desafio da implementação do sistema é juntar valor na cadeia de abastecimento, reduzindo assim *stocks* e perdas. As empresas que utilizam este sistema procuram obter soluções que aumentam a sua competitividade, reduzindo assim os

custos da cadeia de abastecimento, reduzindo *stock* e minimizando os custos de transporte. Ao utilizar este método de trabalho, reduzindo o *stock* na cadeia de abastecimento, as empresas obtêm maior controlo sobre as peças que realmente são necessárias à produção e maior frequência de abastecimento, o que dá capacidade às empresas de acompanhar as flutuações de produção.

*Vantagens do sistema milkrun*

O sistema *milkrun* é utilizado habitualmente quando se fala em Produção Magra que normalmente se denomina no idioma anglo-saxónico por *lean production*. Este tipo de produção é feito a partir dos pedidos dos clientes (sistema de puxar). Por essa razão o sistema de abastecimento *milkrun* tem como vantagens:

- ✓ Estabelecer um nível de fluxo de materiais do armazém para a área de produção, permitindo assim um maior controlo de custos relacionados com a aquisição de matérias-primas.
- ✓ Optimizar a operação de carregamento e descarregamento de materiais, de modo a eliminar todos os tempos ociosos durante o *picking* no armazém assim como no abastecimento das linhas.
- ✓ Reduzir o número de comboios logísticos (diminuição do congestionamento), melhorando a coordenação dos mesmos dentro do *Layout* da área de trabalho.
- ✓ Normalizar o ciclo de *stocks* e disciplinar os pedidos por parte dos operadores das linhas. Aumentar a frequência de abastecimento, fornecendo apenas as peças necessárias, nas quantidades necessárias, na altura necessária (Normalização).
- ✓ Redução de danificações de material no transporte. Com veículos, que possuem características específicas para o transporte dos materiais, reduz-se o problema de danos no abastecimento das linhas.
- ✓ Reduzir o nível de *stock* a nível do armazém e dos buffers de materiais nas próprias linhas. Com a noção da quantidade de produção em cada linha, permite-se determinar a quantidade de material proveniente do armazém, dando então possibilidade para proceder à programação do material a ser recolhido no armazém assim como o nível de *stock* das linhas.
- ✓ Minimizar o custo de cada ciclo de abastecimento, utilizando para isso a melhor programação de rotas possíveis para a recolha de material e entrega do mesmo.

- ✓ O *milkrun* basicamente é um exemplo do processo para a implantação do sistema JIT entre fornecedor e cliente interno.

*Requisitos necessários para a implantação do sistema milkrun*

Para assegurar o sucesso da nova filosofia de trabalho e aumentar valor na logística operacional a empresa deverá reunir um conjunto de requisitos que se consideram essenciais para a implantação do sistema *milkrun*. Estes são apresentados de seguida:

- ✓ A entrega dos componentes por parte dos operadores dos comboios logísticos deverá ser feita dentro das especificações de qualidade estipuladas pelas linhas de produção, pois este sistema visa a redução do inventário e custos na cadeia logística. Caso esta condição não seja cumprida poderá haver paragens nas linhas de produção, geração de produto final com defeito. Nesta situação será necessário o transporte extra dos componentes dentro das especificações de qualidade presentes no armazém até às linhas de fabrico;
- ✓ A quantidade e referências dos componentes para uma determinada janela temporal deverão ser transmitidas pelos operadores das diferentes linhas aos operadores dos comboios logísticos. Estes deverão ter a informação dos componentes de uma forma atempada, para procederem à recolha respectiva;
- ✓ O operador logístico deverá cumprir a janela de tempo para a recolha dos componentes, assim como para a entrega dos mesmos nas linhas de produção respectivas. Caso contrário, poderá provocar a paragem da produção, pois os componentes necessários não chegarão ao seu destino no horário estipulado;
- ✓ Os comboios logísticos deverão entregar as peças na quantidade programada pelo operador da linha de produção. Se a quantidade ultrapassar o previsto, o veículo poderá não ter capacidade para transportar todos os componentes, quer em termos de peso ou volume;
- ✓ A necessidade de se ter um conhecimento muito apurado das necessidades de material por parte das linhas de produção, de forma a evitar grandes flutuações ao longo dos pedidos programados da recolha de material.

*Particularidades do sistema JIT utilizadas no sistema milkrun*

Num sistema de produção industrial é importante encontrar o ponto de equilíbrio entre trabalhar sem *stock*, mantendo o funcionamento adequado nas linhas de produção,

ou seja sem interrupções por falta de peças (matérias-primas) e assegurar a satisfação do mercado que a empresa possui, na medida em que produza apenas o que é solicitado acompanhando a flutuação da procura. A filosofia JIT pretende eliminar desperdício no sistema de produção.

As empresas procuram obter informações relativamente à necessidade de material de cada linha de produção. Essas informações são bastante úteis na medida em que permite dimensionar a quantidade de material necessária para a produção num determinado período de tempo.

As linhas de produção estão dependentes de materiais necessários para o processo de fabrico dos seus produtos. Neste processo de abastecimento de mercados é muito importante ter um controle das matérias-primas necessárias em toda a cadeia, para evitar custos desnecessários com *stock* de materiais, produtos intermédios e produtos finais que não satisfazem as necessidades do mercado.

Deste modo é necessário utilizar um sistema de abastecimento que entregue apenas as quantidades necessárias na altura exacta que garanta a não existência de *stocks* desnecessários. O sistema *milkrun* permite alcançar este modo de funcionamento.

### **Sistemática *kanban***

*Kanban* é uma palavra japonesa que significa “etiqueta”, “anotação visível” ou “placa visível” sendo de um modo geral conhecida por “cartão”. É usualmente um cartão rectangular, de dimensões reduzidas, habitualmente plastificado, que é colocado num contentor, embora possam ser utilizadas outras formas de sinalização de necessidade de produção, como por exemplo quadrados marcados no chão que quando vazios significam que é necessário produzir.

Na metodologia *lean production*, a produção é puxada pelo cliente, e através do cartão *kanban* desde a linha de montagem até à primeira operação na fábrica, de forma a produzir apenas o correspondente às necessidades do cliente, evitando assim os excessos de produção, que leva a elevadas quantias empatadas em inventários.

Não são utilizadas previsões de necessidades nos sistemas *kanban*. É a oposição ao tradicional *push system*, em que tudo é realizado de modo a corresponder à procura estimada.

Tendo isto em mente, torna-se evidente que uma determinística dos méritos relativos dos sistemas *pull* e *push* será a qualidade das previsões de procura. Sendo elevada, o sistema *kanban* irá efectivamente desperdiçar informação útil, onde um bom

sistema *push* irá produzir exactamente as quantidades necessárias nas alturas correctas. Em contextos onde a procura é difícil de prever, o mais eficaz é responder rapidamente à observação de requerimentos. É exactamente isso que um sistema de *kanban* faz, sinalizando imediatamente as necessidades e propagando-se pela cadeia de abastecimento inteira.

Este método foi desenvolvido pela Toyota *company*, fazendo corresponder a cada cartão *kanban* uma determinada quantidade de peças.

A aplicação deste método requer uma procura estável, participação dos empregados, melhoria contínua, controlo total de qualidade e lotes de tamanho reduzido.

Com este método a empresa obtém:

- Sincronização e alinhamento da produção e abastecimento entre os diversos departamentos;
- Flexibilidade de programação;
- Aumento da capacidade produtiva;
- Controle visual, em “tempo real” da situação de cada área e cada material ou produto;
- Redução de inutilizados ou perdas;
- Detecção imediata de problemas de produção ou abastecimento;
- Detecção precoce de problemas de qualidade.

O segredo para um bom sistema *kanban* é o cálculo de quantos cartões são necessários para cada produto. Além disso, muitas fábricas utilizam o sistema de quadro com cartões coloridos *heijunka board* (Quadro de nivelamento).

### ***Leveling* (Nivelamento)**

Para o BPS a forma ideal de produção é aquela que produz a mesma quantidade e as mesmas peças todos os dias. Contudo, frequentemente as peças necessárias são produzidas em lotes, de uma forma não normalizada. O resultado desta forma de produção é o aparecimento de uma grande quantidade de imprevistos, provocando trabalho extra, ou levando mesmo à necessidade da contratação de novos colaboradores. Torna-se assim claro, que esta forma de produção leva a custos adicionais. Deve portando tornar-se claro que a produção da mesma quantidade e de uma forma

padronizada, traz vantagens para a eficácia da empresa. O nivelamento (Figura 7), termina com incertezas quanto à produção, tendo por objectivos:

- ✓ Estabelecer um fluxo constante na produção;
- ✓ Assegurar o ritmo;
- ✓ Permitir trabalho padronizado;
- ✓ Tornar os desvios aos padrões transparentes e portanto identificar os problemas;
- ✓ Reduzir *stocks*;
- ✓ Aumentar constantemente a flexibilidade.

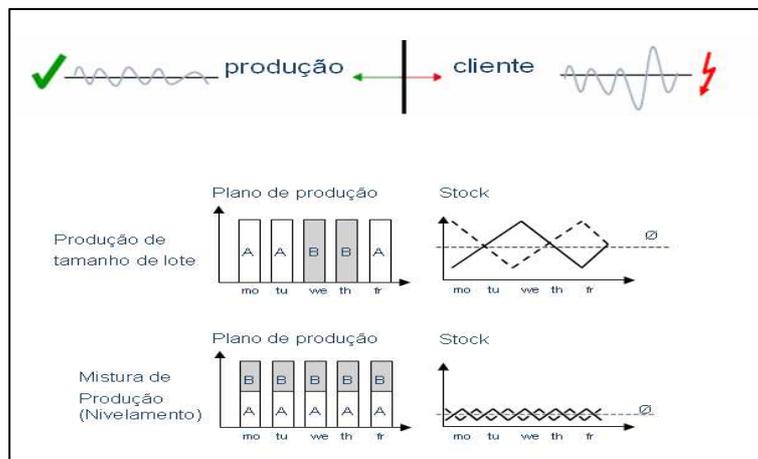


Figura 7 - Nivelamento da produção

Com o correcto nivelamento da produção a empresa fica preparada para as normais flutuações do mercado, já que produz diariamente, em pequenas quantidades sendo a produção feita com uma frequência coerente baseada na exigência do cliente. A análise das flutuações das exigências do cliente é crucial para o dimensionamento do *stock* de segurança do produto, para obter desacoplamento (*decoupling*) do cliente.

Flutuações nas exigências do cliente podem diferenciar-se da seguinte forma:

- Flutuações de volume (levantamentos);
- Flutuações de tempo (tempo de levantamento).

Os períodos de nivelamento têm que ser ajustados em intervalos predefinidos em relação às flutuações na exigência do cliente. Devendo-se diferenciar entre:

- Horizonte de planeamento – consideração de tempo longo;
- Períodos de nivelamento – consideração de tempo curto.

Com o nivelamento torna-se mais fácil o acompanhamento do Processo de Melhoria Contínua, fundamental nos dias de hoje para a competitividade empresarial, implicando uma redução do tamanho do lote e portanto do *lead time*.

Para que o nivelamento seja efectuado de forma correcta a redução de tempo de troca tem papel crucial, para que seja possível um grande número de trocas frequentes realizadas de forma eficiente. O tamanho de lote de produção é definido dependendo da capacidade de trocas disponível.

Para inibir interferência no padrão de nivelamento, desvios do plano devem ser nivelados utilizando *stocks*, capacidade disponível, alterações de tempo de *tackt* da linha de produção.

### **Supermercados**

Supermercados de abastecimento são células logísticas de abastecimento à produção, por ciclos normalizados (*milkrun* ou *mizusumashi*) baseados na cadência de produção, e foram criados com o objectivo principal de aumentar a produtividade. O conceito implica que em cada célula de produção existam os materiais necessários, atempadamente e sem falhas. Nestes casos os *kanban* funcionam como uma encomenda interna colocada à produção e como guia de remessa quando acompanham o produto.

Com a definição do sistema de supermercados pretende-se garantir uma eficiente gestão de *stocks* e, simultaneamente, obter ganhos de produtividade pela rápida disponibilização do material, eliminando desperdícios de tempo na produção.

#### *Supermercados de abastecimento*

As vantagens do recurso a supermercados de abastecimento na MotoMeter são bastante evidentes e são consequência da eliminação de inúmeros desperdícios. Em termos logísticos permite um maior controlo sobre rupturas de *stock* e a implementação de abastecimentos normalizados dependentes das necessidades produtivas.

Na realidade, o recurso a supermercados de abastecimento é mais vantajoso sobre itens cuja procura seja estável. Um dos benefícios mais patentes deste sistema corresponde à disponibilização dos materiais sempre que estes são necessários e nas quantidades necessárias. Isto significa, que a quantidade de material por contentor em supermercado deve ter em consideração:

- A cadência de produção;
- Factor de incorporação;

- Os recursos humanos disponíveis para o processo de abastecimento à linha e para o reabastecimento do supermercado;
- O custo unitário dos materiais;
- O prazo de entrega do fornecedor.
- Dimensionamento e fluxos iniciais dos supermercados

Os pontos-chave para um correcto funcionamento dos supermercados são:

- ✓ A existência de uma localização específica dos itens em bordo de linha;
- ✓ A existência de um sinal eficiente de reposição de *stock - kanban*;
- ✓ A resposta imediata à necessidade;
- ✓ A existência de um sistema de reposição frequente – *milkrun*;
- ✓ Um dimensionamento eficaz dos contentores de supermercado.

#### **QCO (*Quick Change Over*)**

O BPS entende por *Change Over* o tempo decorrido entre a produção do último produto A e o primeiro produto bom B, ou seja, dentro dos padrões especificados pela qualidade.

O objectivo do *Quick Change Over* (QCO) é reduzir/eliminar actividades sem valor acrescentado do processo produtivo, permitindo que as empresas mudem rápido e eficientemente de um produto para o outro (Figura 8).

Tempos curtos para a preparação da linha, quando existe troca de produção, constitui um pré-requisito para a concretização do *pull system* que é caracterizada pela alta diversidade e baixo volume. Como a produção precisa estar de acordo com a procura, é totalmente inviável a fabricação de grandes lotes. Perante essa necessidade, Shingo (1989) desenvolveu a técnica *Single Minute Exchange of Die* (SMED).

Na MotoMeter, utiliza-se a técnica SMED como método suporte para a redução do tempo de *mudança* de uma linha ou posto.

Para a implementação da técnica SMED é necessário, primeiramente, fazer uma distinção das operações que envolvem o *Setup*, separando-as em internas e externas.

- Operações internas: realizadas com a máquina parada;
- Operações externas: realizadas com a máquina em funcionamento.

A implementação das técnicas SMED, são de extrema relevância, elas podem proporcionar: aumento da produtividade, aumento da capacidade produtiva, produção de pequenos lotes com a redução do tempo de *Change Over* e melhoria da qualidade. Isso é possível através de um processo mais estável e equipamentos em boas condições, reduzindo custos com refugos e retrabalho.



Figura 8 - Metodologia QCO

### ***CIP – Continuous Improvement Process***

O BPS está alicerçado no processo de melhoria contínua tendo como princípios:

- ✓ Aspirar sempre à melhoria do estado actual. Aquilo que já se obteve é a base para se melhorar. Como o nome indica o processo de melhoria não tem fim;
- ✓ Realização do trabalho em equipa, tendo como prioridade o lema: “ouvir e deixar falar”, aceitando assim os argumentos de todos;
- ✓ Eliminação das causas dos defeitos e desperdícios de todos os tipos. É dada prioridade à prevenção em vez da correcção;
- ✓ Atribuição da responsabilidade de implementação dos princípios do CIP às chefias;
- ✓ Valorização da contribuição de ideias provenientes do envolvimento de todos os colaboradores ou membros para o planeamento e resolução de problemas.

#### **3.2.5.4 Conclusões**

O sistema de produção puxado implementado respeita todos os princípios enunciados nas secções anteriores.

O objectivo da orientação ao processo a atingir é simplificar e acelerar todos os processos negociais desde o pedido do cliente até à execução da encomenda. O sistema de produção puxado ajuda a atingir esses objectivos, uma vez que considerando o seu funcionamento adequado, este elimina o deslocamento dos operadores presentes nas

linhas ao supermercado para aquisição de material para a produção, uma vez que este transporte de material é feito automaticamente pelo *milkrun*.

Uma vez que a produção é orientada ao cliente, o transporte de material é feito com base nas necessidades das linhas de produção para uma determinada janela temporal (20 minutos), na medida em que não se criam *buffers* de componentes em cada linha (existência de controlo de *stocks* e eliminação de *WIP*).

De forma a prevenir atrasos na entrega durante o abastecimento das linhas de produção, este sistema precisa de ter total disponibilidade das máquinas necessárias para a realização do processo, assim como a concentração em todos os recursos presentes no sistema de abastecimento.

O sistema de produção precisa de ser flexível à produção de diferentes componentes. Isto implica que o padrão de funcionamento deste processo esteja definido para a produção de uma gama de produtos. O processo precisa de se adaptar quando o tipo de produtos *Muda*, uma vez que a mudança destes pode provocar uma alteração das necessidades de material a ser abastecido nas linhas de produção.

A melhoria contínua revela-se importante uma vez que é necessário efectuar o controlo do ciclo de abastecimento de forma a verificar as *muda* existentes no processo, e encontrar uma solução para a eliminação das mesmas.

Quanto à transparência do sistema de produção puxado, este permite verificar o fluxo de pedido de materiais, se estes são entregues ou não. Permite assim a fácil percepção de desvios do progresso de trabalhos.

### **3.2.6 A simulação**

Segundo (Harrel, Ghosch, & Bowden, 2000), simulação computacional é a imitação de um sistema real ou hipotético, modelado em computador, para avaliação e melhoria de seu desempenho. Ou seja, simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições, sem riscos e/ou grandes custos envolvidos. Já (Banks, 2001) afirma que a simulação computacional envolve a criação de uma abstracção da realidade e, com base nesta história artificial, são realizadas observações e inferências nas características de operação do sistema real representado.

A simulação, segundo (Torga, Montevechi, & Pinho, 2008) é uma actividade que reproduz uma condição real, mas tem uma aparência realística, sendo usada para testar qualquer coisa. Ou seja, simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições, sem riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos.

A simulação computacional é um processo de modelar um sistema no computador e experimentar então como esse modelo responderia a pergunta "o que aconteceria se"? É uma ferramenta de apoio a decisão excelente porque provê meios de responder as actividades de projecto e operação de processos ou sistemas complexos de produção, com a visualização de sistemas do "mundo real". Devido a sua flexibilidade e facilidade de uso comparadas a outras técnicas de modelação, o uso de simulação tem se expandido rapidamente e constitui uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de novas tecnologias (Hum, 1998).

Segundo (Banks, 2001), a simulação é uma das ferramentas mais amplamente utilizada em sistemas de produção do que em qualquer outra área. Algumas razões podem ser enumeradas:

- a) O aumento da produtividade e qualidade na indústria é um resultado directo da automação. Como os sistemas de automação são cada vez mais complexos, estes só podem ser analisados pela simulação;
- b) Os custos de equipamentos e instalações são enormes;
- c) Os custos dos computadores estão cada vez mais baixos e mais rápidos;
- d) Melhorias nos softwares de simulação reduziram o tempo de desenvolvimento de modelos;
- e) A disponibilidade de animação resultou em maior compreensão e utilização dos gestores da produção.

O tópico seguinte abordará a simulação em sistemas puxados através de uma revisão bibliográfica.

No seu estudo de processos através da simulação computacional, (Oliveira, 2008) apresenta como principais vantagens:

- Simulação de um sistema que ainda está em fase de projecto, antes de sua construção, para observação do comportamento operacional;

- Suporte à análise económico-financeira de investimentos em projectos envolvendo novos equipamentos e processos;
- Teste de novas políticas e procedimentos operacionais sem interrupção do sistema real;
- Teste de condições de segurança associadas às *mudanças* a serem implementadas; Aplicação de técnicas de simulação em projectos de produção magra;
- Determinação e estudos de estrangimentos (*botleneck*) existentes no sistema;
- Determinação de como o sistema realmente funciona ao contrario de como as pessoas pensam que ele funciona;

Em consequência dos pontos acima tratados, (Oliveira, 2008) considera ainda que se tem um menor custo da simulação se comparado com o custo de experiências directas, que envolvem grandes quantias de dinheiro e de pessoas, nem sempre alcançando os resultados desejados.

O intuito de se associar as técnicas de optimização e simulação consiste em minimizar ou maximizar algumas medidas de desempenho de um sistema, e este sistema só poderá ser avaliado através da simulação computacional. Segundo (Fu, 2002), até à última década, a simulação e a optimização eram mantidas separadamente na prática. Actualmente, essa integração tem-se mostrado bastante difundida, principalmente pelo facto de alguns pacotes de simulação incluírem rotinas de optimização.

A simulação computacional é ainda uma importante ferramenta de visualização, comunicação, benchmarking, de treino e de apoio à decisão dos gestores (Hum, 1998).

### **3.2.6.1 A simulação em projectos de sistemas puxados de produção**

Importa, antes de mais dizer, que não existem muitas aplicações dessa ferramenta neste tipo de produção e uma das vantagens desta aplicação é a possibilidade de se realizar experiências e alcançar modelos que estejam em maior concordância com os conceitos do JIT, cujo sistema puxado é um dos principais fundamentos

(Treadwell & Herrmann, 2005) afirmam que existe grande complexidade na construção de modelos representativos de sistemas puxados. Os autores consideram também que os softwares de simulação em especial o *ARENA*, que será utilizado neste projecto, possui inúmeros módulos de sistemas de produção capazes de ajudar os

analistas na modelação, como estações e conveyors (esteiras transportadoras), mas não possuem nenhum atributo em relação a sistemas de puxar a produção.

Em projectos de produção magra, é comum realizar o mapeamento do fluxo de valor, tendo como resultado o VSM, que depois de analisado pela equipa de projectos, será redesenhado, apresentando o mapa VSD. São então programados os eventos *Kaizen* para implementação das melhorias (De meyer & Witenberg, 1992).

No entanto, (Oliveira, 2008) afirma que essa forma de analisar, propor e implementar melhorias entra normalmente num ciclo de tentativa e erro da experimentação directa, onde podemos identificar como principais falhas:

- ✓ As equipas *kaizen* nem sempre são conhecedoras do processo em estudo ou estão preparadas para análise de processos;
- ✓ O mapeamento do VSM é focado no momento, ou seja, são dados instantâneos e, quando recorrendo a dados históricos, utilizam a média, que não representa o comportamento estocástico do sistema;
- ✓ Os eventos *kaizen* são normalmente caracterizados por um envolvimento de grande número de pessoas de diversas áreas e por aquisições imediatas de equipamentos e serviços, alterando os processos, *layout*, criando sistemas à prova de erros (*poka yoke*). Como resultado de tudo isso, temos a implementação de projectos que custam caro e não trazem o retorno visualizado no VSD.

Portando, a utilização de simulação em projectos de produção magra, dará à gestão de topo e gerência, a base para a tomada de decisão consciente e consistente, eliminando as insatisfações e os altos custos associados aos projectos implementados através da tentativa e erro da experimentação directa.

Alguns autores pesquisaram os benefícios da implementação da produção magra nas organizações e, dentro de uma metodologia de pesquisa quantitativa, procuraram comparar as diversas estratégias através de simulação. A seguir são apresentados alguns destes trabalhos relacionados.

(Nomura & Takakuwa, 2004) realizaram um estudo das características de aplicação do JIT no sistema de produção de uma empresa, principalmente no que se refere ao sistema *kanban* no controle de materiais para o piso de fábrica (*gemba*) no ambiente JIT; além disso, estudou as abordagens desenvolvidas para ajuste do cálculo do sistema *kanban* modelando um sistema *kanban* baseado em um sistema de produção

real. Com a implantação da troca rápida de ferramenta obteve-se uma redução em torno de 100% no tamanho do lote, o que possibilitou a operação do sistema produtivo com um menor número de *kanban* em circulação. Esta redução depois de implementada proporcionou a empresa a possibilidade de uma redução proporcional do espaço físico na fábrica.

(Lee & Alwood, 2003) propuseram uma resposta *lean* para os problemas encontrados e interrupções de processos dependentes de temperatura, como forjas, cozinhas e processos químicos. Eles criaram um guião, implementado através de simulação de eventos discretos, que prevê uma forma de estabelecer práticas padronizadas para processos dependentes de temperatura, onde os colaboradores participam directamente do processo de tomada de decisão.

(Welgama & Mills, 1995) estudaram a importância do uso da simulação na fase de projecto de um sistema de produção JIT, envolvendo a *mudança de layout* em forma de células, a identificação de *bottlenecks*, as revisões dos postos de trabalho e dos sistemas de controlo através do uso de *kanban*.

(Standrige & Marvel, 2006) apresentam uma justificação para o uso de simulação em projectos de produção magra, destacando as deficiências de um projecto *lean* e como a simulação ajuda a superar tais deficiências.

(Grimard, Marvel, & Standrige, 2005), apresentaram a validação de um projecto de uma célula de trabalho através da simulação. Eles apresentaram os resultados que seriam alcançados em projecto de um sistema de montagem e calibração de injectores.

(Greasley, 2004), apresenta o uso da simulação numa grande unidade fabril e faz uma análise de como ela pode ser melhor e amplamente utilizada. Centrado no projecto do *layout* do produto, o estudo procurou simular o sistema de produção, para observar se ele garantiria os níveis requeridos de produção. Simularam o balanceamento das linhas de produção, os tempos de ciclo, os tempos de processamento total do pedido e produção semanal, disponibilizando aos gestores informações para melhoria do sistema de produção.

(Rajakumar, Arunachalan, & Selladurai, 2005), propuseram um modelo para resolver o problema de planeamento de operações paralelas de montagem, com relações de precedência, numa indústria têxtil. O objectivo era determinar estratégias de sequenciar (aleatório, pelo menor tempo de processamento ou pelo maior tempo) para

alocar operações de montagem aos colaboradores, de forma a obter o melhor balanceamento de suas cargas de trabalho.

(Chakravorty & Atwater, 1995), compararam através de simulação a performance entre linhas de produção com balanceamento baseado nos conceitos ocidentais e com balanceamento baseado no conceito JIT. Nos conceitos ocidentais, o tempo total de produção de um determinado número de peças a produzir será dividido pelo tempo de ciclo planeado, determinando o número de postos de trabalho. Eles desenvolveram um modelo de simulação para ambas as formas de desenho de linhas. Este trabalho apresentou como resultado após simulação, que as linhas JIT têm melhor desempenho quando a variabilidade no sistema é baixa e com um nível maior de inventário, apresentando maior volume de produção.

Para (Torga, Montevechi, & Pinho, 2008) o uso da simulação proporciona a resolução de questões complexas sem os custos elevados das tentativas da vida real. Aliando-se a otimização a simulação pode-se assegurar que as soluções implementadas são ou estão próximas dos resultados ótimos.

Para (Fu, 2002) a otimização deve ser encarada como uma ferramenta complementar à simulação. Fornecendo as variáveis de uma possível solução (inputs) à simulação, e esta última, fornecendo as respostas (outputs) para a situação proposta. A otimização gera novas variáveis, utilizando técnicas de otimização específicas, que serão novamente testadas pela simulação.

### **3.2.7 Ferramenta de Simulação - ARENA**

A possibilidade de estudar um sistema real, manipular as suas variáveis e poder obter resultados de otimização muito úteis são algumas das vantagens fornecidas pelos softwares actuais relacionados com a simulação.

A simulação permite uma avaliação dos recursos necessários assim como o tempo que estes estão a ser utilizados e o tempo em que estes se encontram inactivos, através da definição de um tempo de simulação, que pode ser curto ou longo. Desde que todos os pormenores do processo real estejam considerados no modelo de simulação, as conclusões a serem retiradas têm um elevado grau de confiança.

A criação de uma simulação tem a necessidade de uma ferramenta de trabalho que possibilite a inserção dos parâmetros reais no modelo de simulação. O software seleccionado para a simulação neste projecto foi o ARENA. Trata-se de um software

bastante polivalente com a capacidade de simular qualquer tipo de processo num curto espaço de tempo. A escolha deve-se ao facto de este possuir um ambiente gráfico de fácil implementação, permitindo uma visualização de resultados em tabelas e gráficos bastante pormenorizada.

A rápida evolução da informática nos últimos anos e a sua implementação em todos os processos no mundo actual tornou o computador num importante aliado da simulação. Este facto é mais evidente quando o software possui as propriedades e características semelhantes às de um sistema real, criando um ambiente “virtual” que é usado para testar as teorias desejadas.

O *ARENA* é um software que contém ambiente gráfico integrado de simulação. O ambiente gráfico do *ARENA* permite a modelagem de processos assim como desenhos e animação, análise estatística e análise de resultados. O *ARENA* une os recursos de uma linguagem de programação à facilidade de uso de um simulador em ambiente gráfico integrado, porque todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual.

Além de permitir a construção de modelos de simulação, o *ARENA* possui ainda ferramentas relacionadas com o modelo de simulação que facilitam quer a criação do modelo quer a análise de resultados gerados por este. Estas ferramentas são:

- Analisador de dados de entrada (*input analyser*);
- Analisador de resultados (*output analyser*);
- Visualizador da simulação: *ARENA viewer*.

O software *ARENA* possui *templates*, ou seja, uma colecção de objectos/ferramentas de modelagem, que permitem ao utilizador descrever o comportamento do processo em análise. Todos estes processos são feitos sem recurso à programação. A Figura 9 mostra a imagem de apresentação do software.

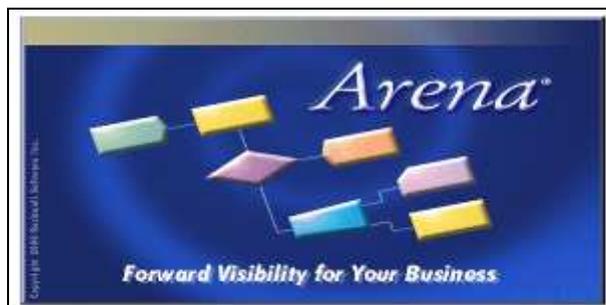


Figura 9 - O software *ARENA*

Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência

No historial do *ARENA* destacam-se as seguintes datas e eventos:

- ❖ 1982, ano em que foi lançada a primeira versão da linguagem de simulação SIMAN pela *Systems Modeling Corporation* (EUA);
- ❖ 1990 e 1993, aparecimento de novas versões do software;
- ❖ 1995, ano em que foi lançado o *ARENA* for Windows 95, sendo a primeira ferramenta de simulação a trabalhar em versão 32 bits;
- ❖ Actualmente, o *ARENA* encontra-se na versão 13 possuindo grandes melhorias em termos de linguagem e interface gráfica.

### 3.2.7.1 Templates do Painel de Projecto

O software *ARENA* tem a capacidade da representação gráfica da programação de um modelo de simulação, o que faz com que a compreensão dos modelos de simulação criados seja mais acessível a qualquer utilizador.

Como se verifica na ilustração seguinte, existe uma barra de projectos que possui diferentes separadores com diferentes módulos, facilitando a implementação do modelo pretendido. Os separadores são respectivamente o *basic process*, *advanced transfer*, *advanced process*, *reports* e *navigate*.

O *basic process* é a categoria principal, uma vez que nesta categoria estão presentes os blocos essenciais para a criação de um projecto de simulação.

A Figura 10 mostra os diferentes módulos disponíveis no painel *basic process*.

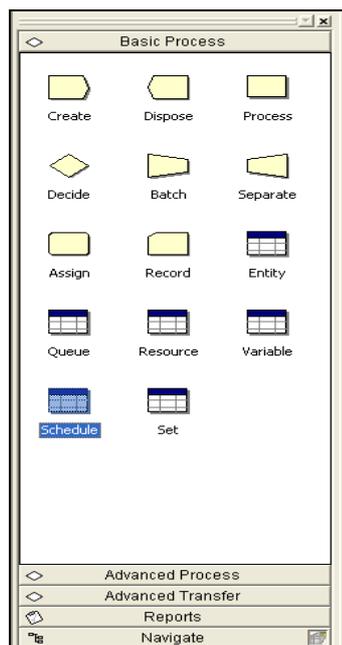


Figura 10 - *Basic process*

Quanto aos módulos do *advanced transfer* a sua utilização é feita apenas para as animações de simulação, de forma a tornar o modelo menos abstracto e perceptível a qualquer utilizador. O grau de importância destes módulos é inferior ao do *basic process*, uma vez que é neste que a base do modelo é criada. A Figura 11 apresenta os módulos contidos nos painéis *advanced transfer* e *advanced process*.



Figura 11 - Advanced transfer e advanced process

O separador *navigate* permite o fácil acesso a diferentes partes dos modelos implementados, como se verifica na (Figura 12).

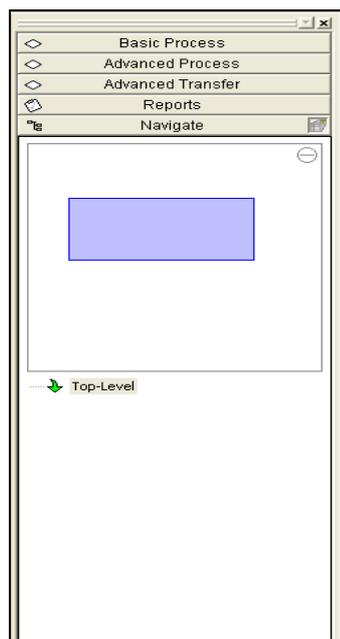


Figura 12 - Separador *navigate*

Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência

Os relatórios mais úteis para o presente trabalho são os recursos (*resources*). Estes relatórios permitem tirar conclusões a todos os níveis: recursos utilizados, recursos inactivos, tempo de execução do projecto, etc. O separador *reports* fornece uma análise estatística, através de informação registada em relatórios.

Na Figura 13 são mostrados os relatórios que o software *ARENA* permite criar.



Figura 13 - Relatórios

Visualizando a Figura 14, pode-se observar uma área de grande dimensão que é onde se constroem os modelos de simulação. A zona inferior a essa área é onde se pode editar dados tais como características de recursos, custos, blocos de tempos e entidades.

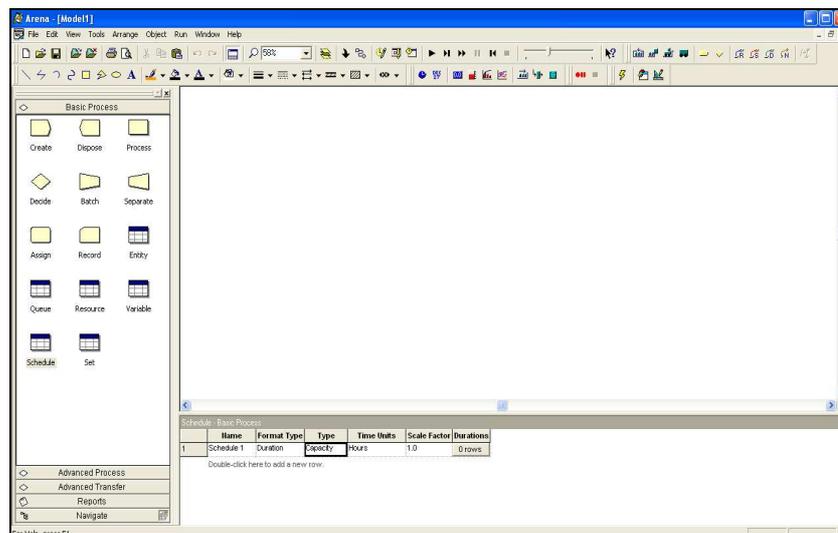


Figura 14 - Ambiente de trabalho do ARENA

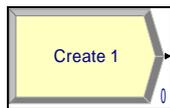
### 3.2.7.2 Blocos do ARENA utilizados

Segue-se uma descrição dos blocos mais utilizados na elaboração deste projecto.

#### *Basic process*

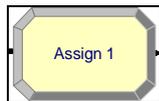
Dentro dos separadores anteriormente apresentados, estão inseridos vários blocos básicos e importantes para a resolução do projecto de simulação com que somos deparados. No texto que se segue é feita a definição dos processos mais importantes. Junto de cada um deles está a Figura que o identifica no software ARENA.

#### *Create*



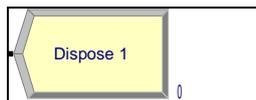
O início de qualquer simulação é feito a partir deste bloco, visto ser neste ponto que as entidades são criadas. As informações inseridas neste bloco são de extrema importância para o processo de simulação, uma vez que se define o intervalo de tempo com que são criadas as entidades e o tipo das mesmas.

#### *Assign*



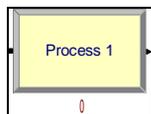
A utilização comum deste bloco destina-se à classificação de alguma entidade, variável ou atributo de uma forma específica.

#### *Dispose*



É necessária a presença deste bloco para determinar o fim de todo o processo de simulação, da mesma forma que o bloco *create* determina o início do processo de simulação. É através deste bloco que as entidades desaparecem no sistema.

#### *Process*



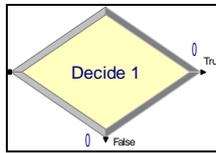
Neste bloco faz-se a atribuição do tipo de recursos utilizados numa determinada acção, bem como a especificação dos tempos e ou distribuições de tempos associadas à acção. É neste ponto que se irão acumular as entidades definidas, criando as filas de espera. É importante referir que é normalmente seleccionada a acção lógica: “*seize delay release*”, de forma a fazer sempre:

1. A reserva do recurso atribuído a esta acção (*seize*);

Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência

2. O processamento (*delay*), demora;
3. O libertar da entidade presente para que a próxima entidade possa ser processada (*release*).

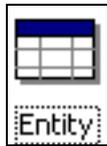
### *Decide*



A utilização deste bloco pode ser feita de inúmeras formas, uma vez que este bloco permite a tomada de decisões no sistema. Com base na decisão, as entidades seguem pelo caminho correspondente.

Em seguida identificam-se alguns módulos de dados.

### *Entity*



Neste módulo definem-se as informações importantes relativas às entidades utilizadas no projecto de simulação.

### *Queue*



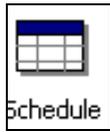
Neste módulo é definido o controlo das filas de espera existentes no modelo. Indica-se a regra de ordenamento da fila; se esta segue os critérios FIFO, LIFO, *lowest attribute value* ou *highest attribute value*. Neste projecto o critério utilizado foi o FIFO.

### *Resource*



No módulo *resource* faz-se a edição das características dos recursos utilizados. As alterações que podem ser feitas estão relacionadas com a capacidade e o tipo do recurso, assim como a inserção de outros parâmetros que permitam calcular, por exemplo, os custos associados à utilização de cada recurso.

*Schedule*



Este módulo permite a definição de padrões de tempo. Os padrões de tempo podem ser utilizados para simular a chegada de entidades ou para provocar variação da capacidade de um determinado recurso.

**3.2.7.3 Reports**

Neste separador, localizado no lado esquerdo do painel principal da barra de projecto como já foi previamente apresentado, é listado um conjunto de relatórios com os resultados estatísticos das simulações. Dos relatórios presentes salienta-se o mais importante para este estudo:

*Resources* é o relatório onde se faz a avaliação dos recursos disponíveis no processo de simulação. Pode-se ter em conta a quantidade ocupada (*number busy*) que refere a média de utilização de determinado recurso que se manteve ocupado. A taxa de utilização (*utilization*) refere o tempo no qual o recurso foi utilizado e o tempo que este se manteve parado, assim como o número de vezes que este foi usado, (*number times used*). Na Figura 15 estão presentes todos os tipos de relatórios que o software *ARENA* permite criar.



Figura 15 - Relatórios do ARENA



## 4 ESTUDO DO PROBLEMA

Este capítulo serve para explicar todos os procedimentos e decisões que foram tomadas ao longo deste projecto para alcançar os objectivos definidos.

### 4.1 Descrição do Problema

Inicialmente, foi realizado o VSM (Figura 16) para descrever a situação actual do fluxo de material e de informação e aí registados os *Muda* e oportunidades de melhoria para se implementar o sistema de produção puxado.

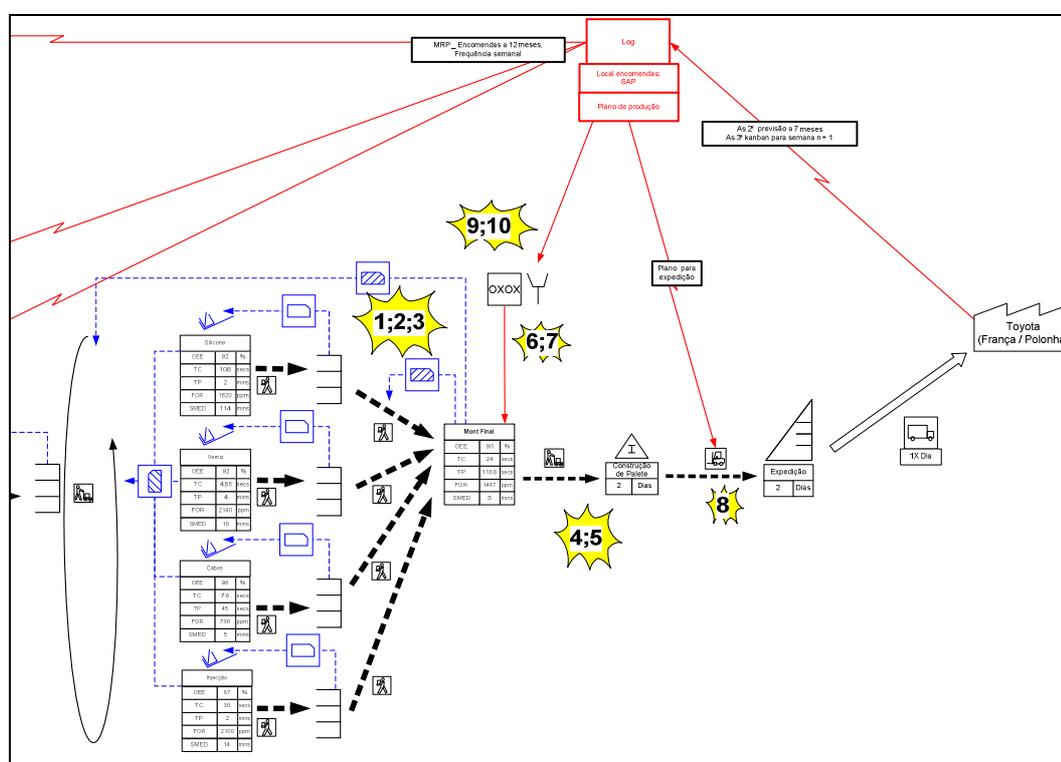


Figura 16 - Value stream mapping do processo

Posteriormente realizou-se o VSD (Figura 17) onde se desenhou o fluxo de material e de informação e as respectivas actividades a realizar necessárias para a implementação do sistema de produção puxado (Tabela 4). No Anexo A pode-se encontrar alguns exemplos da simbologia utilizada num *value stream* bem como consultar o VSM e VSD *dock to dock* da MotoMeter.

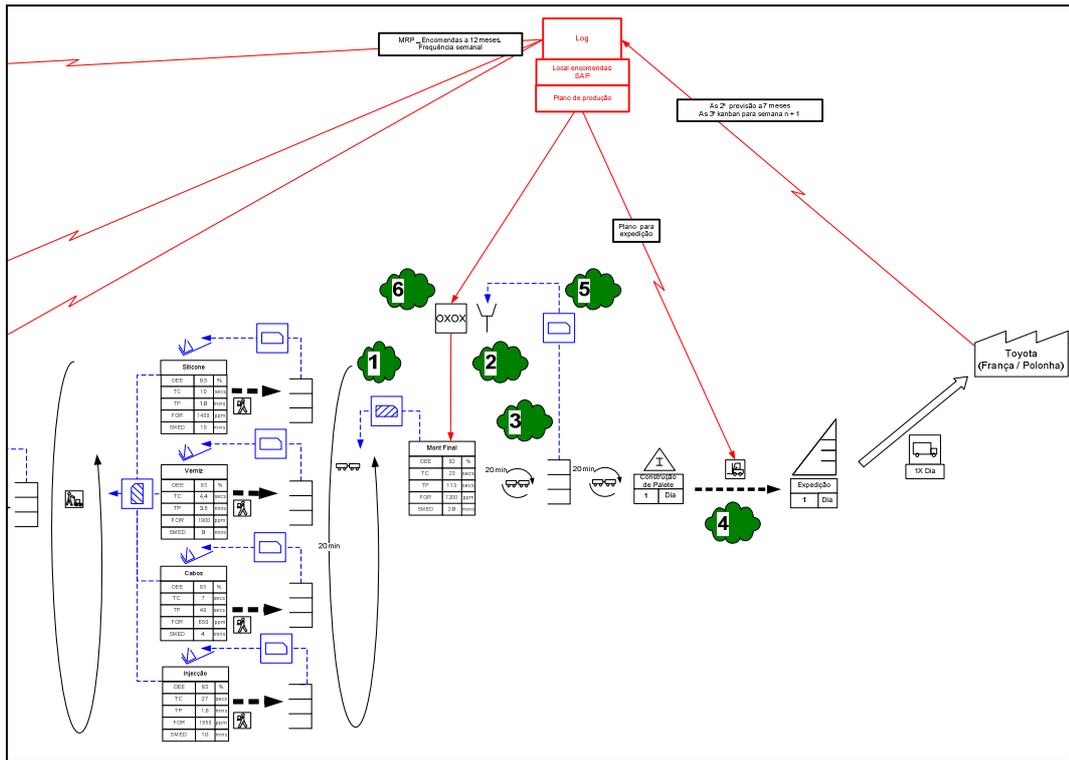


Figura 17 - Value stream design do processo

Tabela 4 - Plano de trabalho - lista de actividades

#	Descrição do problema (VSM)	#	Actividade de melhoria (VSD)
1	Não existe abastecimento normalizado do supermercado de matéria prima a Montagem Final (célula Toyota)	1	Criar abastecimento normalizado (trabalho standard) para <i>milkrun</i> com ciclo de 20 minutos
2	Realização de operações externas pelos colaboradores da linha para abastecimento a célula		
3	Não existe abastecimento normalizado do supermercado de pré-preparações Montagem Final (célula Toyota)		
4	Não existe abastecimento normalizado entre a Montagem Final (célula Toyota) e o supermercado de produto acabado		
5	Não existe abastecimento normalizado entre o armazém de produto acabado e a zona de construção de paletes		
6	A produção não é puxada a partir do consumo do supermercado de produto acabado	2	Implementar sistema puxado (produção despoletada a partir do consumo do supermercado de produto acabado)
7	Necessidade de definir/adaptar ao sistema de produção puxado as actividades do planeador da produção	3	Definir trabalho standard para o planeador de produção (planeamento da produção)
8	Necessidade de definir/adaptar ao sistema de produção puxado as actividades do operador de paletes	4	Definir trabalho standard para o operador de paletes (paletização)
9	Necessidade de definir/adaptar ao sistema de produção puxado o fluxo de <i>kanban</i> de produção e de movimentação	5	Definir fluxo de <i>kanban</i> (produção e de movimentação)
10	Necessidade de definir/adaptar ao sistema de produção puxado as actividades da produção (sequenciador da produção)	6	Definir trabalho standard para a produção (sequenciador de produção)

Seguidamente fez-se um levantamento do *layout* da área a ser estudada, de forma a ser possível estabelecer:

- Os percursos e rotas possíveis para a passagem do comboio logístico (*milkrun*);
- Os pontos de entrega e recolha de *kanban* (nomeadamente supermercado de produto acabado, quadro *heijunka*, área de paletização e sequenciador da produção).

Após a fase de levantamento do *layout*, o passo seguinte consistiu em detalhar o fluxo físico dos *kanban* do produto desde o levantamento dos *kanban* ao seu depósito no quadro *heijunka* relevante das actividades, baseado em diversas observações.

Da descrição da situação futura (VSD), verificou-se também a presença e a necessidade de definir ou adaptar ao sistema de produção puxado as actividades dos seguintes tipos de recursos e sistemáticas:

- Planeamento da produção;
- Sequenciador da produção;
- Comboio logístico (*milkrun*);
- Paletização;
- Fluxo de *kanban*.

Pelo que foram definidas as suas actividades relevantes caracterizadas para um ciclo de 20 minutos.

Foi feito um registo de todos os dados necessários e observações recolhidas para permitir a sua incorporação na construção do modelo de simulação de modo a representar fielmente o processo de produção puxado da empresa.

A área em estudo engloba um supermercado de componentes, um supermercado de produto acabado e uma zona de produção de montagem final (célula de produção Toyota) tendo sido necessário definir e dimensionar o supermercado de produto acabado.

#### **4.1.1 Modelação**

Construiu-se um modelo lógico – matemático, que representa a dinâmica do sistema *leveling* (nivelamento da produção) descrevendo sua aplicação num sistema de produção puxado através de um estudo de caso. Este modelo incorpora valores para tempos (produção da célula, tempo de percurso do abastecedor *milkrun*, distâncias,

recursos disponíveis) e parâmetros para a política de funcionamento do supermercado. A modelação (desenvolvida no software *ARENA*) foi feita visualmente com objectos orientados à simulação e segundo o *layout* da fábrica.

#### 4.1.2 Metodologia de Funcionamento

É possível consultar na Figura 18 um esquema da área de produção, assim como todos os pontos de entrega de material. A linha de produção está identificada no *layout*.(montagem final). No (Anexo B) está presente os componentes do sistema puxado implementado nomeadamente, o supermercado de componentes (pré-preparações) e o supermercado de produto acabado onde está o material a ser recolhido pelo *milkrun* e respectiva rota de abastecimento bem como a localização do sequenciador de produção, quadro *heijunka* e área de paletização.

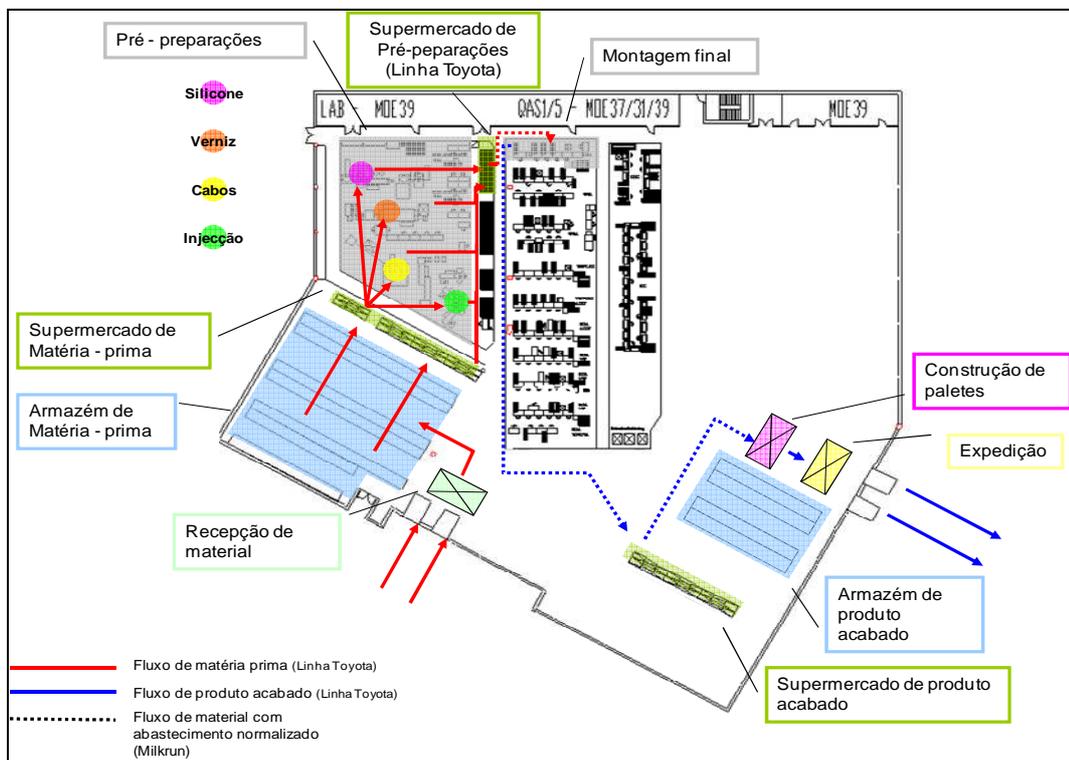


Figura 18 - Fluxo interno produtivo (depois de implementado o projecto)

## 4.2 Metodologias de Solução Adoptadas

Na criação de um modelo simulação que represente uma situação real de uma forma transparente é necessário obter todos os pormenores referentes aos processos que se pretendem representar. Desta forma, a partir da descrição dos processos da secção anterior, o objectivo é identificar adequadamente todos os processos do sistema puxado de produção.

### 4.2.1 Funcionamento do Sistema de produção puxado implementado

Como referido na secção 4.1 da descrição da situação implementada, verifica-se a presença dos seguintes tipos de recursos e sistemáticas:

- Planeamento da produção;
- Comboio logístico (*milkrun*);
- Sequenciador da produção;
- Paletização;
- Fluxo de *kanban*.

#### 4.2.1.1 Planeamento da produção

*Como proceder?*

1. O planeador da produção executa o planeamento de produção no quadro *heijunka* para o dia seguinte (Figura 19); NOTA: O plano tem que ser nivelado de acordo com a norma BOSCH (Anexo H) e fixo para a semana em questão.



Figura 19 - Quadro *heijunka*

2. Coloca cartão de *mudança* de produto 2 ciclos (40m) antes do *kanban* de movimentação do produto em questão e menciona no cartão do *kanban* a hora da *mudança* da célula (Figura 20);

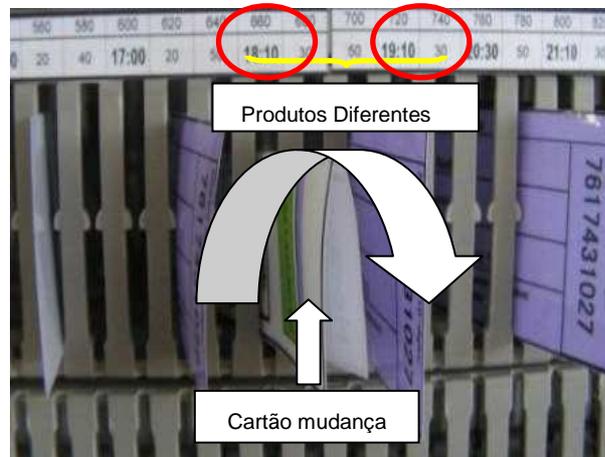


Figura 20 - Cartão de *mudança*

3. Recolhe o(s) *kanban* de produção em atraso do dia anterior (*kanban* de produção em atraso têm que ser recolhidos no final do 2º turno pelo chefe de linha). Os *kanban* em questão estão depositados em local próprio no quadro *heijunka*:
  - 3.1 Verifica o nível de *stock* dos produtos, sempre que haja *kanban* de produção em atraso;
  - 3.2 Acciona o plano de escalonamento (Anexo E) caso o nível do *stock* atinja o nível mínimo e fecha o ciclo PDCA (Anexo C);
  - 3.3 Analisa o motivo do atraso do(s) *kanban* de produção e respectivo plano de acções, juntamente com a produção;
  - 3.4 Replaneia o(s) *kanban* em atraso sem afectar o nivelamento diário;
4. O planeador(a) deverá efectuar uma análise quanto à conformidade do nº de paletes a expedir com a informação disponibilizada no quadro de construção de paletes (Figura 21).

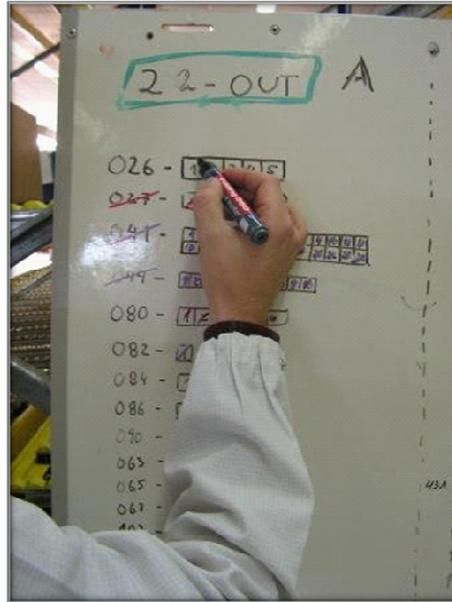


Figura 21 - Quadro de construção de paletes

4.1 Acciona o plano de escalonamento caso não se verifique conformidade acima descrita;

5. Recalcula mensalmente o supermercado em conjunto com a produção;

5.1 Efectua uma análise mensal com plano de actividades dos factores da fórmula de *kanban* (Anexo I).

#### 4.2.1.2 Comboio logístico (*milkrun*)

As figuras seguintes apresentam o modelo do comboio logístico, a ser utilizado pela empresa. A Figura 22 apresenta a imagem do modelo, a Figura 23 apresenta a vista lateral do comboio logístico e a Figura 24 apresenta a vista superior do comboio logístico.



Figura 22 - Modelo Colibri 600D - 600M

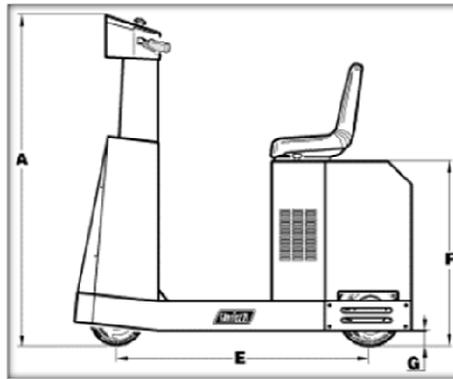


Figura 23 - Vista lateral do comboio logístico

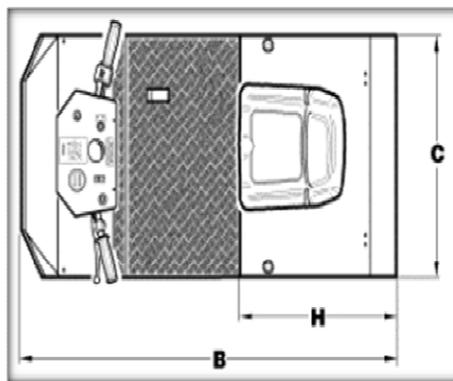


Figura 24 - Vista superior do comboio logístico

A partir da Figura 23 e da Figura 24 criou-se a Tabela 5 que apresenta o valor das medidas do comboio logístico (Características do modelo Colibri 600D-600M).

Tabela 5- Medidas do comboio logístico

Dimensões do Modelo Colibri 600D e 600M			
A	1210 mm	E	1420 mm
B	2160 mm	F	415 mm
C	815 mm	G	100 mm
D	530 mm	H	1205 mm
Espaço para Inversão de Marcha			
X	2900 mm		

Ao comboio logístico serão atreladas 2 carruagens para o transporte de material.

## ESTUDO DO PROBLEMA

### *Como proceder?*

1. Retira o *kanban* de movimentação do quadro *heijunka* (Figura 25) para a caixa de recolha de *kanban* de movimentação (Figura 26)

NOTA: O ciclo do *milkrun* está antecipado 2 ciclo em relação à linha.

REGRA1 (2º turno): Nos ciclos das 23h20m e 23h40m, os *kanban* de movimentação correspondem aos pedidos das 6h e 6h20m do dia seguinte, respectivamente.



Figura 25 – Remoção do *kanban* de movimentação do quadro *heijunka*



Figura 26 - Caixa de recolha de *kanban* de movimentação

REGRA2: Remover o cartão de *mudança* de produto do quadro *heijunka* (Figura 27) e colocar na caixa de recolha de *kanban* de movimentação (Figura 28).



## ESTUDO DO PROBLEMA

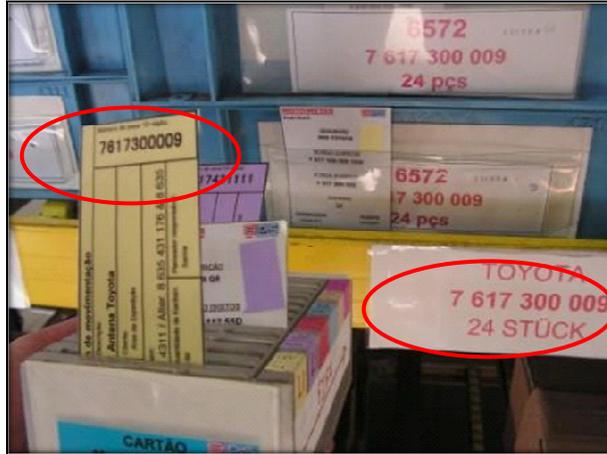


Figura 29 - FIFO no supermercado de produto acabado



Figura 30 - Levantamento no supermercado de produto acabado

4. Anexar os *kanban* de produção ao respectivo *kanban* de movimentação já existente no sequenciador da caixa de *kanban*, de forma a garantir o cumprimento de levantamento das caixas de produto do supermercado (Figura 31); Assim que cumpra o levantamento de todas as caixas, retirar os *kanban* de movimentação da caixa de *kanban* e colocar no depósito de *kanban* de movimentação colocado no *milkrun* (Figura 32);

NOTA: 1 *kanban* de produção = 1 caixa de produto

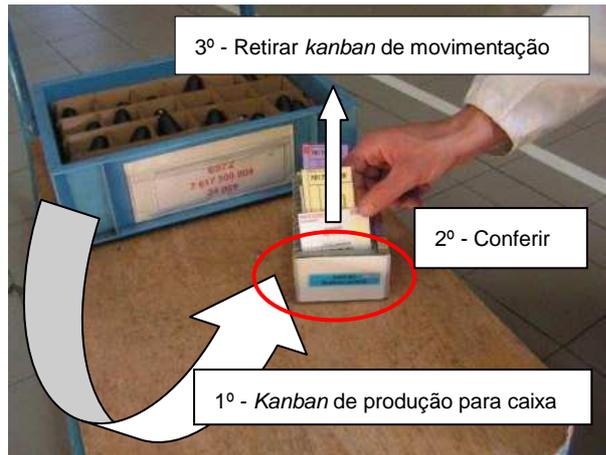


Figura 31 - Cumprimento do levantamento das caixas de produto acabado



Figura 32 - Depósito de *kanban* de movimentação

5. Colocar a caixa dos *kanban* de produção no suporte do comboio logístico (Figura 33);

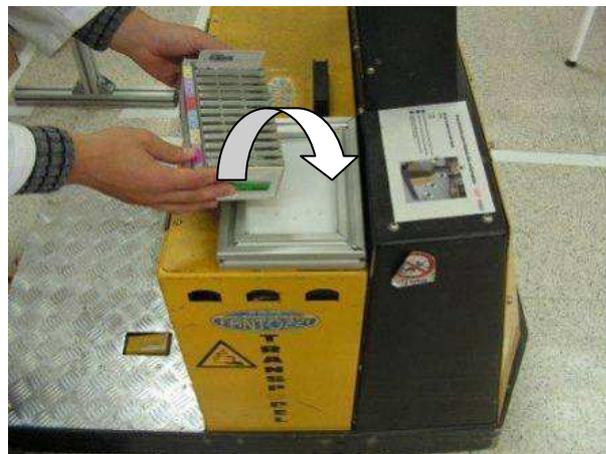


Figura 33 - Colocação da caixa dos *kanban* de produção

## ESTUDO DO PROBLEMA



Figura 34 - Suporte da caixa dos *kanban* de produção

- Colocar no sequenciador da respectiva célula de produção (Figura 35), os *kanban* de produção referentes aos produtos, cumprindo o FIFO dado pela caixa dos *kanban* de produção do comboio logístico (Figura 36);

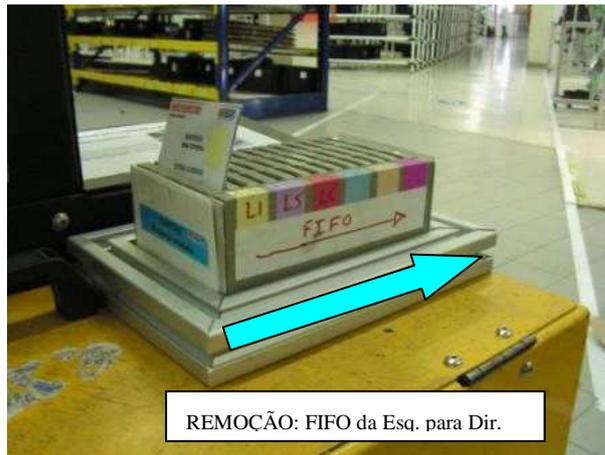


Figura 35 - FIFO na caixa dos *kanban* de produção



Figura 36 - Sequenciador da produção da célula

Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência

REGRA1 (Só para 2º TURNO): Nos 2 últimos ciclos do dia corrente, o *milkrun* deverá deixar os *kanban* de produção das 6h e 6h20m do dia seguinte, no local próprio sequenciador “KANBAN 6H e 6H20” (Figura 37).

NOTA IMPORTANTE: Os *kanban* de produção das 6h20m, são colocados no sequenciador “KANBAN 6H e 6H20” atrás dos *kanban* de produção das 6h, de forma a cumprir o FIFO do pedido de produção (Figura 37).

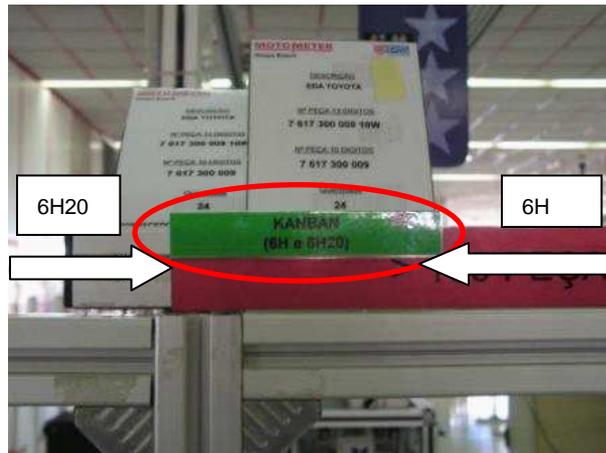


Figura 37 - Sequenciador *kanban* "6h e 6h20m"

#### 7. Levantamento das caixas de produto no final das linhas para o comboio logístico



Figura 38 - *Picking* (levantamento) do produto acabado na célula de produção

#### 8. Abastecer postos de trabalho (Figura 40) com material proveniente do supermercado das pré-preparações (Figura 39) e recolher caixas vazias para as rampas de retorno (Figura 41) do respectivo supermercado.

## ESTUDO DO PROBLEMA



Figura 39 - Supermercado de pré-preparações



Figura 40 - Bordo de linha da célula de produção



Figura 41 - Rampa de retorno do supermercado de pré-preparações

9. Colocar as caixas dos produtos no supermercado de produto acabado (cumprir o FIFO) (Figura 42);



Figura 42 - Colocação das caixas de produto acabado no supermercado

10. Deixar os *kanban* de movimentação (junto ao quadro *heijunka*) (Figura 43);

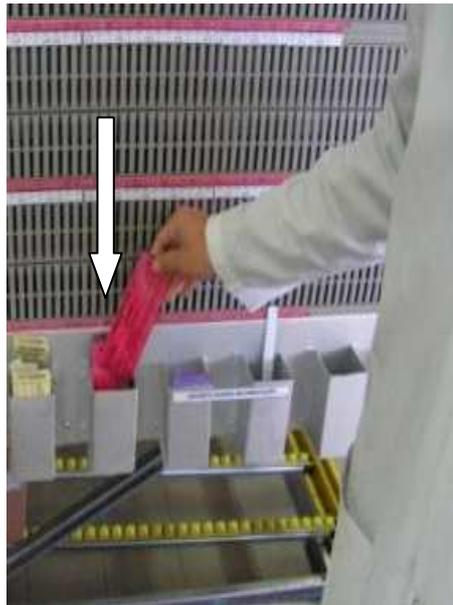


Figura 43 - Quadro *heijunka* (recolha de *kanban* de movimentação)

#### 4.2.1.3 Sequenciador da produção

Como proceder?

1. A 1ª operadora da linha, deve accionar limite de reacção caso se verifique que exista atraso no sequenciador da produção ou antecipação da produção em relação ao sequenciador (produção mais rápida que colocação de *kanban* de produção no sequenciador);

## ESTUDO DO PROBLEMA

A 1ª operadora deverá respeitar o FIFO na remoção dos *kanban* de produção do sequenciador da linha. A remoção deverá começar da esquerda (“KANBAN 0”) para a direita (Figura 44);



Figura 44 - Sequenciador de produção (FIFO)

REGRA1: Sempre que 1 caixa seja fechada deve ser anexado o respectivo *kanban* de produção à caixa.

REGRA2: Na eventualidade de atraso, o chefe de linha deve tomar ações imediatas para solucionar o problema.

REGRA3: Caso não seja possível produzir os *kanban* de produção devido a falta de material, implicações técnicas ou de qualidade deve o chefe de linha por em prática o plano de escalonamento.

A produção não pode alterar o plano sem o acordo da logística.

NOTA: O *kanban* de produção deverá acompanhar a 1ª peça na produção, até ao último posto de trabalho para posteriormente ser colocado na respectiva caixa de produção.

2. O chefe de linha no final do turno ( 2º Turno) deve colocar o(s) *kanban* de produção em atraso no local próprio (Figura 45), para que essa informação esteja imediatamente disponível para o(a) planeador(a);



Figura 45 - Deposito *kanban* produção em atraso

NOTA: O Chefe de Linha deve verificar se existe no final do turno ( 2º Turno) a existência dos *kanban* de produção para os ciclos das 6h00 e 6h20, no sequenciador “KANBAN 6H e 6H20”. Casos não existam, proceder à sua regularização, juntamente com o *milkrun*.

#### 4.2.1.4 Paletização

*Como realizar a construção de palete?*

1. O operador de paletes retira as caixas de produtos do carro, e colocá-las (Figura 46) na respectiva palete para construção (existem lugares definidos na zona de paletização para todos os produtos);

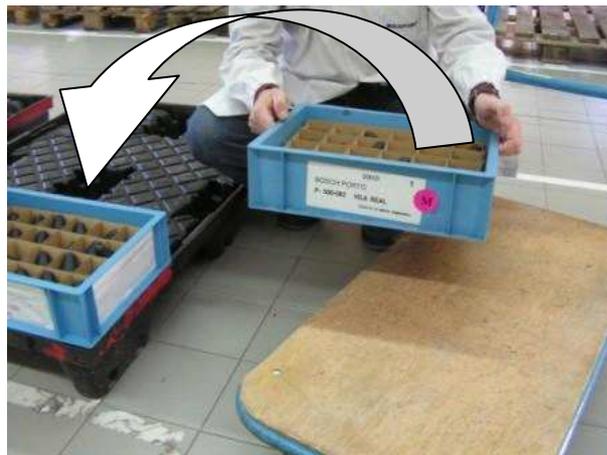


Figura 46 - Colocação das caixas de produto acabado em palete

2. Fazer a respectiva construção da palete, mediante informação disponibilizada no quadro de construção de paletes para os produtos (Figura 47) A instrução de

fechar a palete é dada quando a mesma atingiu o nº máximo de caixas descritas na informação disponibilizada pelo planeador.

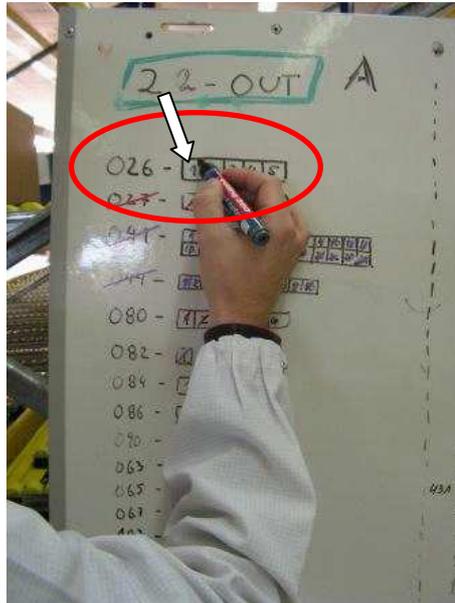


Figura 47 - Quadro de construção de paletes

REGRA1: Sempre que coloque a 1ª caixa de produto “A” na palete, deverá “pisca” na folha (Figura 47– ver círculo vermelho) do quadro o quadrado com o nº 1, como sendo a 1º caixa colocada na palete a construir, e assim sucessivamente;

REGRA2: Quando “pisca” na folha do quadro o último quadrado, significa que colocou a última caixa de produto “A” na palete, logo pode fechar a palete automaticamente, e enviá-la para a área de expedição.

#### 4.2.1.5 Fluxo de *kanban*

O Sistema de produção em causa engloba de uma forma geral o seguinte fluxo físico de *kanban* de movimentação/levantamento e de *kanban* de produção

Tabela 6 - Fluxo físico de *kanban*

Descrição	Fluxograma				
	R: Responsável	Milkrun	Produção	Planeador	
<p>O pedido do cliente activa um <i>Kanban</i> de Levantamento/movimentação no quadro <i>Heijunka</i> e é daí levantado e transportado pelo <i>Milkrun</i> na caixa de recolha de <i>Kanban</i> de levantamento/movimentação para o supermercado de produto acabado da produção.</p> <p>À chegada ao supermercado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. O <i>Milkrun</i> remove o <i>Kanban</i> de produção colocado na caixa de produto acabado que se encontra armazenada na respectiva estante do supermercado de produto acabado, anexa o <i>kanban</i> de produção ao respectivo <i>kanban</i> de movimentação já existente no sequenciador da caixa de recolha de <i>kanban</i> de movimentação de forma a garantir o cumprimento de levantamento das caixas de produto acabado do supermercado.</li> <li>. Assim que cumpre o levantamento de todas as caixas, retira os <i>kanban</i> de movimentação da respectiva caixa de recolha e coloca-lo no depósito de <i>kanban</i> de movimentação fixado no comboio logístico. Os <i>Kanban</i> de produção são transportados na caixa de recolha de <i>Kanban</i> de produção até a Célula onde são colocados no sequenciador de produção.</li> </ul> <p>Na célula a 1ª operadora remove o <i>kanban</i> de produção do sequenciador da linha. O <i>kanban</i> de produção acompanha a 1ª peça na produção, até ao último posto de trabalho para posteriormente ser colocado na respectiva caixa de produto acabado a ser levantada no final da célula para o comboio logístico e transportado para o supermercado de produto acabado.</p> <p>Chegado ao supermercado de produto acabado as caixas do produto são aí colocadas nas respectivas estantes (com <i>Kanban</i> de produção em anexo).</p> <p>Por último são retirados os <i>Kanban</i> de movimentação do depósito de <i>kanban</i> de movimentação fixado no comboio logístico e colocados no quadro <i>Heijunka</i></p>				R	

## 4.2.2 Tratamento de Dados

Depois de verificados todos os processos a ter em conta, foi feito um levantamento de dados e tempos em relação ao:

- Tempo de ciclo do *milkrun*;
- Tempo de ciclo da célula de produção;
- Calculo e dimensionamento do supermercado de produto acabado.

### 4.2.2.1 Determinação do tempo de ciclo do *milkrun*

O tempo foi definido após um BPS *assessment*, onde um dos requisitos no campo de abastecimento pede um tempo de ciclo menor ou igual a 30 min.

Os 20 minutos surgiram devido a um acordo mútuo entre logística (LOG) e a produção (MOE) onde LOG assumiu esse nível de serviço (que pareceu tempo aceitável para realização do conjunto de tarefas associadas ao processo de abastecimento).

#### Trabalho standard do *milkrun*

O trabalho normalizado/standard definido para o *milkrun* contempla diversas tarefas nos seguintes pontos do circuito:

- ✓ Quadro *heijunka* (1.1 minuto);
- ✓ Supermercado de produto acabado/levantamento do produto (4.5 minutos);
- ✓ Preparação para a paletização (4 minutos);
- ✓ Sequenciador da produção (5.5 minutos);
- ✓ Supermercado de produto acabado /abastecimento com produto (2 minutos).

No Anexo F podemos consultar o trabalho standard do *milkrun* em detalhe.

### 4.2.2.2 Determinação do tempo de ciclo da célula

O primeiro passo consistiu na recolha dos dados e da informação apresentados na Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 - Tempo de funcionamento

<b>Informação</b>	
OEE (%)	$\text{Peças boas produzidas} \times \text{tempo de ciclo} / (\text{tempo de trabalho por turno} - \text{paragens planeadas} - \text{manutenção planeada}) \times 100\%$
Dias de trabalho / ano	225
Nº de turnos (dia)	2
Tempo por turno (min):	Segunda / Sexta
1º / 2º turno	480
Paragens planeadas (min):	Segunda / Sexta
1º / 2º turno	5

Tabela 8 - Tempo de trabalho

<b>Dados</b>	
Tempo de trabalho (min. / dia)*	475
Tempo de trabalho (min. / turno)*	950
OEE (%)	92

\* *tempo de turno sem intervalos*

Com os dados recolhidos obteve-se os resultados da (Tabela 9) de acordo com a descrição e normas descritas no Anexo G.

## ESTUDO DO PROBLEMA

Tabela 9 - Tabela de resultados

<b>Resultados</b>	
Quantidade / dia (Nivelada)	1030,0
<i>Tackt</i> do cliente (sec/peça)	55,3
<i>Tackt</i> do cliente (sec/ <i>kanban</i> *)	1327.2
<i>Tackt</i> do cliente (min/ <i>kanban</i> *)	22.1
Tempo de ciclo planeado (sec/peça)	<b>50,8</b>
Tempo de ciclo planeado (sec/ <i>kanban</i> *)	<b>1219.2</b>
Tempo de ciclo planeado (min/ <i>kanban</i> *)	<b>20.3</b>

\*1 *kanban* = 1 caixa de produto = 24 peças

Conhecido o tempo de ciclo planeado, realizou-se a descrição e normalização das operações de trabalho bem como sua respectiva sequência como apresentado no Anexo G. Na Figura 48 apresenta-se o gráfico de balanceamento da célula para 2 colaboradores (as).

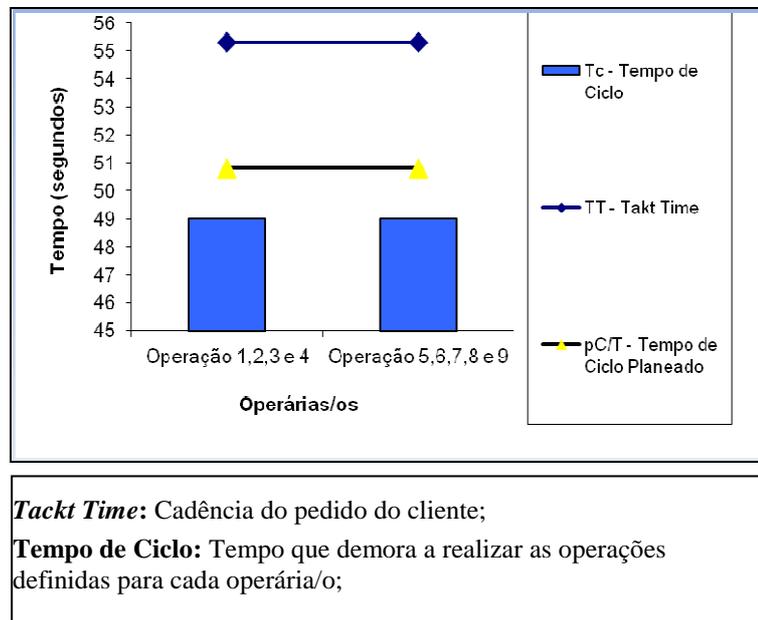


Figura 48 - Gráfico de balanceamento da célula de produção

#### 4.2.2.3 Calculo supermercado

Para realizar o correcto cálculo dos *kanban* de cada referência, é necessário que a produção de uma determinada referência esteja atribuída a apenas uma linha de montagem manual. Isto para que o trajecto efectuado pelo cartão *kanban* seja determinista, tornando possível determinar o correcto tempo de reabastecimento

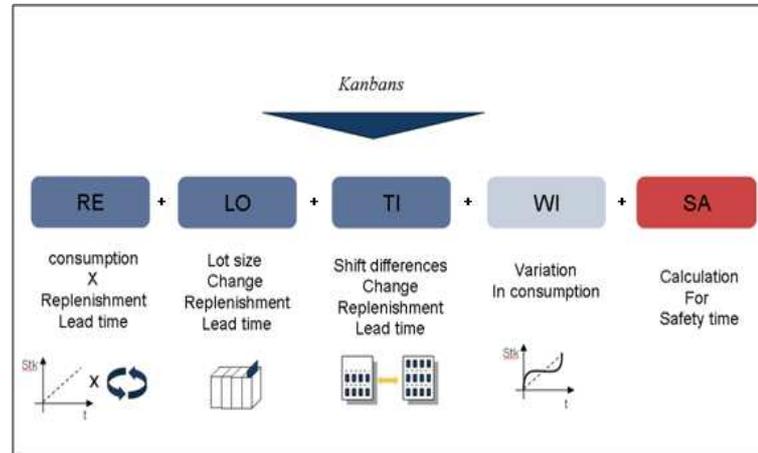


Figura 49 - Formula de cálculo *kanban* (BPS)

Os cálculos efectuados são baseados na fórmula de *kanban* (BPS) anteriormente enunciada.

Foi criada uma aplicação em Excel, que permite o cálculo do número de *kanban* tendo por base a fórmula enunciada na Figura 49 bem como o tamanho de Supermercado para cada referência.

A aplicação apenas necessita da introdução de alguns parâmetros relacionados com o processo de produção e a política de funcionamento dos supermercados.

Parâmetros necessários:

- ✓ Quantidade nivelada de produtos diários, pedidos pelo cliente;
- ✓ Capacidade do contentor (célula de produção);
- ✓ Tamanho do Lote de produção (célula de produção);
- ✓ Tempo de ciclo de produção (célula de produção);
- ✓ *Throughput Time* (célula de produção);
- ✓ Tempo de *mudança* de referência (célula de produção);
- ✓ Tempo de consumo do contentor (célula de produção);
- ✓ Tempo transporte de contentores desde a célula de produção até ao Supermercado de produto acabado;

## ESTUDO DO PROBLEMA

- ✓ Tempo transporte de contentores desde o supermercado de produto acabado até à célula de produção;
- ✓ Número de contentores consumidos no supermercado de produto acabado por ciclo;
- ✓ *Stock* de segurança;
- ✓ Duração dos turnos da montagem final (célula de produção).

Na Tabela 10 encontra-se o resultado da aplicação *excel* criada, com o cálculo referente aos produtos que foram escolhidas para o controlo por *kanban* ainda como o cálculo detalhado por factor (Tabela 11) e cálculo do factor tempo de reposição (Tabela 12). Obtendo-se o número de *kanban* necessários, tal como o tamanho do supermercado referentes a cada uma das referências.

Tabela 10 - Cálculo do nº de *kanban* (aplicação em excel)

Tempo de abertura dia (min)	950				
Tempo * OEE (min)	874	Cálculo Kanbans			
OEE	0.92				
		Limpar 1ª Ref.			
	▲	REF	REF	REF	Total
	▼	7617300009	7617300041	7617300042	
Procura Diária		510	264	256	1030
Capacidade container		24	24	24	
Tamanho Lote		18	18	18	
Tempo de ciclo (s)		50.8	50.8	50.8	
Throughput time (s)		1317.2	1317.2	1317.2	
Tempo de médio de C/O (s)		300	300	300	300.0
Tempo transporte até ao supermercado (s)		40	40	40	
Tempo Transporte Milkrun		1200	1200	1200	
Nº container consumidos por Milkrun		1	1	1	
Stock Segurança (h)		1	1	1	
Duração Turno Cliente (m)		950	950	950	
Duração turno Produtor (m)		950	950	950	
Tempo de produção Procura Diária (m)		431.8	223.5	216.7	872.1
Tamanho Lote Produção (pçs)		432	432	432	
<b>N.º Kanbans</b>		<b>48</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>114</b>

Tabela 11 - Calculo do nº de *kanban* detalhado por factores

	REF	REF	REF
	7617300009	7617300041	7617300042
RE	29	15	15
LO	17	17	17
WI	0	0	0
SA	2	1	1
TI	0	0	0

Tabela 12 - Calculo do factor tempo de reposição

	REF	REF	REF
	7617300009	7617300041	7617300042
RT1 (s)	0	0	0
RT2 (s)	44491.2	44491.2	44491.2
RT3 (s)	1200	1200	1200
RT4 (s)	300	300	300
RT5 (s)	23262.8	23262.8	23262.8
RT6 (s)	40	40	40
RTloop (s)	69294	69294	69294

No Anexo I podemos consultar o detalhe da Fórmula de cálculo de *kanban* e a fórmula de cálculo do tempo de reposição.

### **Estantes (área ocupada)**

Após a determinação de todos os materiais a alocar nas estantes do supermercado de produto acabado, iniciou-se a tarefa de dimensionar a área (m<sup>2</sup>) que passará a ser necessariamente ocupada pelo supermercado (Tabela 13). No Anexo I podemos consultar um cálculo mais detalhado do dimensionamento do supermercado.

## ESTUDO DO PROBLEMA

Tabela 13 - Área ocupada pelo supermercado de produto acabado

<b>Dimensão extra</b>	<b>2.00</b>	
Roletes/fila	4.00	un
<b>Largura SM:</b>	<b>200.00</b>	<b>cm</b>
<b>Comprimento SM:</b>	<b>294.14</b>	<b>cm</b>
Área	<b>5.88</b>	m <sup>2</sup>
Separador	0.02	m

No Supermercado cada item é colocado numa posição específica e fixa. Os “*clientes*” (colaboradores) vão à estante e seleccionam visualmente os artigos que precisam.

### 4.3 Construção do Modelo de Simulação

Com o objectivo de definir níveis de recursos necessários para o adequado funcionamento do sistema de produção, procedeu-se à construção do modelo de simulação que represente o processo do sistema de produção puxado implementado.

Para a construção desse modelo de simulação foi utilizado o software *ARENA*, previamente descrito, onde se implementou o fluxo de *kanban* descrito na secção 4.2.1.5.

Com a obtenção dos dados, recolhidos na secção 4.2.2, relativos a cada actividade necessária por parte de cada processo pelo qual o ciclo do *milkrun* passa, criou-se o modelo de simulação (Anexo J) que contém todos os dados importantes, permitindo assim identificar recursos e processos críticos. O modelo de simulação criado está abaixo apresentado, onde se identifica cada etapa do desenvolvimento do modelo.

### 4.3.1 1ª Etapa

A primeira etapa tida em conta foi a geração de pedidos nivelados do cliente através do quadro *heijunka*. Para a sua definição foram utilizados quatro blocos, do tipo *create*, *process*, *hold* e *separate*. A Figura 50 mostra esses 4 blocos.

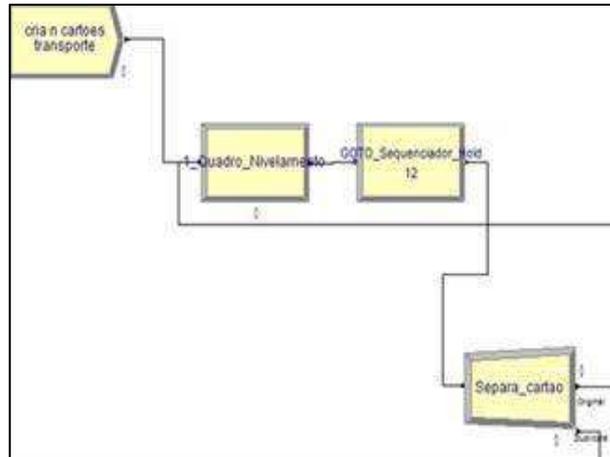
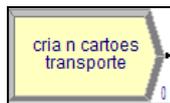


Figura 50 - Quadro *heijunka* (nivelamento da produção)



*Create* – Esta funcionalidade, nesta fase de nivelamento da produção, cria o nº de cartões de *kanban* que vão estar no processo, neste caso as definições do *create* são (Figura 51):

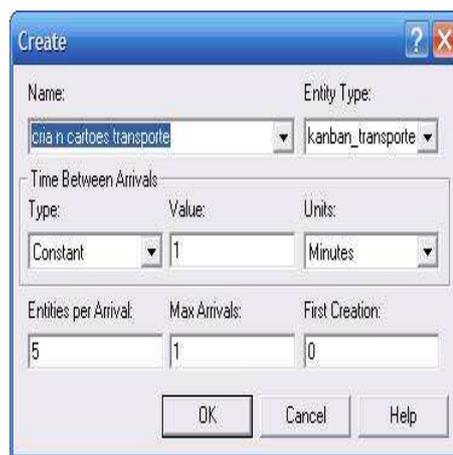
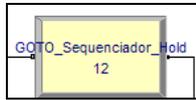


Figura 51 - Definições do *create*



*Process* – este processo controla as entradas dos *kanban* de movimentação. Este processo funciona como quadro de nivelamento da produção onde

se encontram os cartões *kanban*, que só são largados para o próximo ponto quando lá chegar o *kanban* que provêm do *milkrun* de 20 em 20 minutos (rota normalizada com ciclos de 20 minutos).



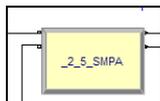
*Hold* – esta funcionalidade permite comunicar com um outro processo(*signal*) situado num fluxo de transporte paralelo, e assim permitimos o transporte entre as vários pontos de paragem do *milkrun*. Estes comandos permitem ao sistema uma maior flexibilidade no transporte entre entidades.



*Separate* – O *separate* faz uma cópia do pedido, cria um *kanban* de produção que é colocado no sequenciador de produção enquanto que o *kanban* de transporte segue pelo percurso original para o supermercado de produto acabado.

### 4.3.2 2ª Etapa

O segundo passo da criação do modelo de simulação refere-se à criação do supermercado de produto acabado. Neste segundo passo foi utilizado o bloco *match*.



*Match* – Para o supermercado a funcionalidade utilizada é o *match*, porque recebe a produção da célula (produto acabado) e mantém na em espera até chegar o *milkrun* com o *kanban* associado, ao mesmo tempo é lançado um *kanban* de produção para a célula para repor o *stock* mínimo. O nome do *match* é apenas para facilitar a compreensão na comunicação das funcionalidades *hold*.

### 4.3.3 3ª Etapa

Como terceira etapa encontra-se a fase de sequenciador da produção. Para a representação do sequenciador da produção foram utilizados 3 blocos, um do tipo *create*, um do tipo *process* e outro do tipo *match* como se apresenta na (Figura 52)

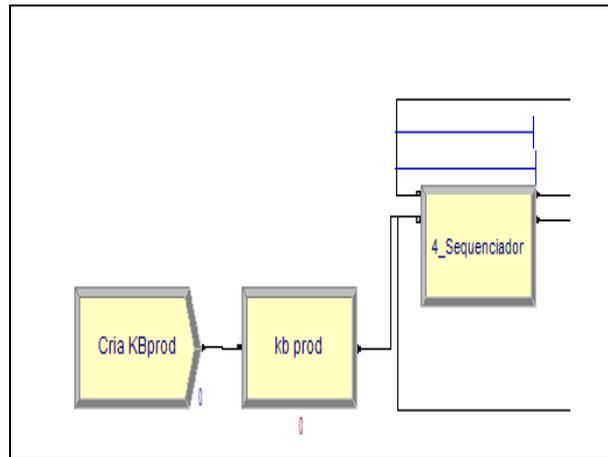


Figura 52 - Sequenciador da produção



*Create* - O *create* insere no sistema o nº de *kanban* que queremos associado ao nosso produto. Decidiu-se manter o mesmo nº que criamos para os *kanban* de transporte.



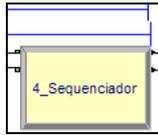
*Create* - Esta funcionalidade permitiu-nos criar no momento zero o *stock* inicial, pois este sistema só funciona na perfeição se o supermercado tiver pelo menos uma peça do nosso produto, então decidimos produzir inicialmente 5 peças para evitar a ruptura (Figura 53).

A janela de configuração 'Create' mostra os seguintes parâmetros:

Name:		Entity Type:	
cria stock ini		pedido do cliente	
Time Between Arrivals			
Type:	Value:	Units:	
Constant	0	Minutes	
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:	
5	1	0,0	

Botões: OK, Cancel, Help

Figura 53 - Definições do *create* (*stock* inicial)



*Match* – neste ponto do processo o *match* permite colocar em espera *kanban* de produção para serem produzidos aplicando o FIFO. Quando chega o *kanban* de transporte o *kanban* de produção é libertada para a célula de fabrico e dá-se início a produção.

#### 4.3.4 4ª Etapa

A quarta etapa contempla a célula de produção, tendo sido utilizados 4 blocos do tipo *create*, *process* e *assign* como se apresenta na (Figura 54)

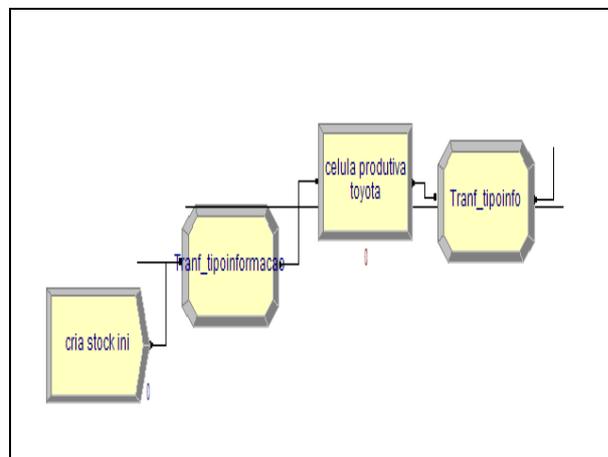


Figura 54 - Definições para célula de produção



*Create* - Esta funcionalidade permitiu-nos criar no momento zero o *stock* inicial, pois este sistema só funciona na perfeição se o supermercado tiver pelo menos uma peça do nosso produto, então decidimos produzir inicialmente 5 peças para evitar a ruptura (Figura 55).

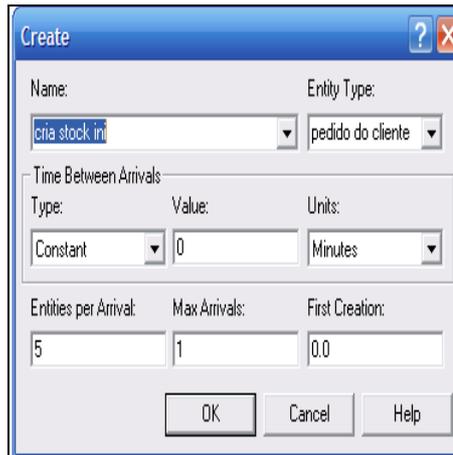
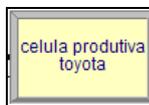


Figura 55 - Definições do *create* (stock inicial)



*Process* - Neste processo normal, permite produzir um *kanban* (caixa com 24 peças) numa média de 19.6 minutos, com um desvio de 0,5 minutos, para que não se permita desvios no ciclo do *milkrun* (Figura 56).

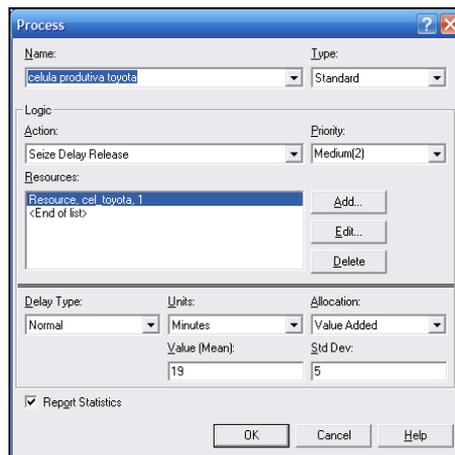
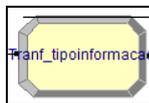


Figura 56 - definições do *process* (célula de produção)



*Assign* - Este *assign* permite transformar, a imagem no fluxo, o cartão *kanban* numa caixa com produto acabado e respectivos *kanban* de movimentação e produção.

### 4.3.5 5ª Etapa

A quinta etapa engloba a paletização, recorrendo a 2 blocos do tipo *process* e *separate* como apresentado na Figura 57

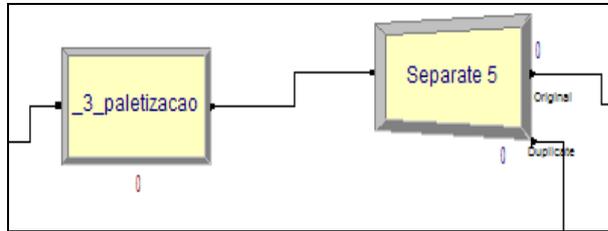
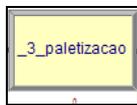


Figura 57 - Definições da paletização



*Process* - O processo de paletização é um processo simples em que a sua acção é acondicionar o produto enviar para a expedição todos os produtos vindos do supermercado no tempo marcado pelo *milkrun* (de 20 em 20 minutos). Este processo de mora em media 5 minutos (Figura 58).

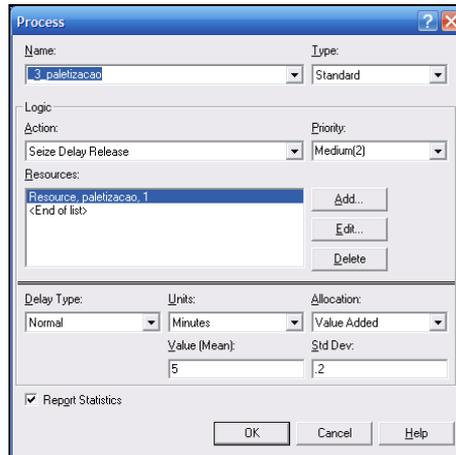
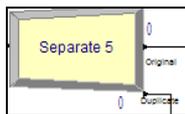


Figura 58 - Definições do bloco process (paletização)



*Separate* - Neste ponto o bloco *separate*, faz a separação do *kanban* de transporte relativamente ao pedido de cliente, continuando no circuito do *milkrun* e criando uma cópia para dar seguimento ao produto acabado para a zona de expedição.

### 4.3.6 6ª Etapa

Nesta etapa desenvolveu-se a expedição do produto para o cliente, com recurso a 3 blocos do tipo *assign*, *batch* e *station* como ilustrado na Figura 59

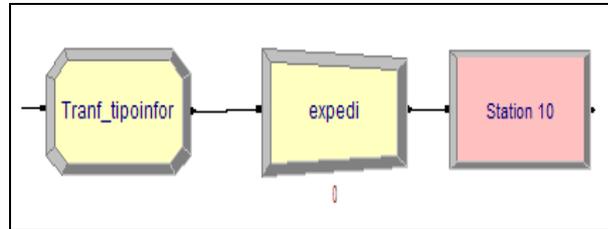


Figura 59 - Definições da expedição



*Batch* - O fluxo da expedição é controlado pela funcionalidade *batch*, este comando permite formar ou juntar lotes em quantidades definidas pelo utilizador para serem expedidas para o cliente ao mesmo tempo (Figura 60). No nosso caso, e com licença de software *ARENA* de estatuto académico é apenas permitido criar lotes de 3 unidades.

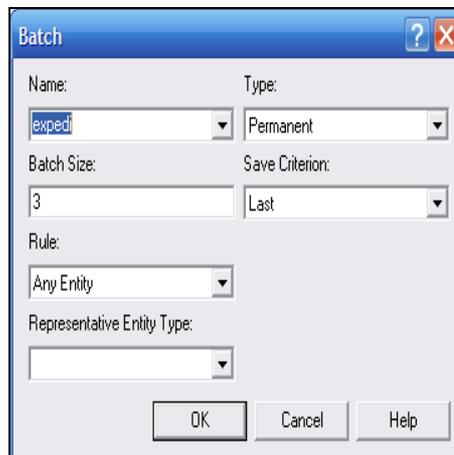


Figura 60 - Definições do bloco batch (expedição)

### 4.3.7 7ª Etapa

A definição do transporte para o cliente desenvolvida nesta etapa é realizada através de um conjunto de 5 blocos funcionais do tipo *assign*, *request*, *station*, *free* e *transport*. A Figura 61 mostra estes blocos:

## ESTUDO DO PROBLEMA

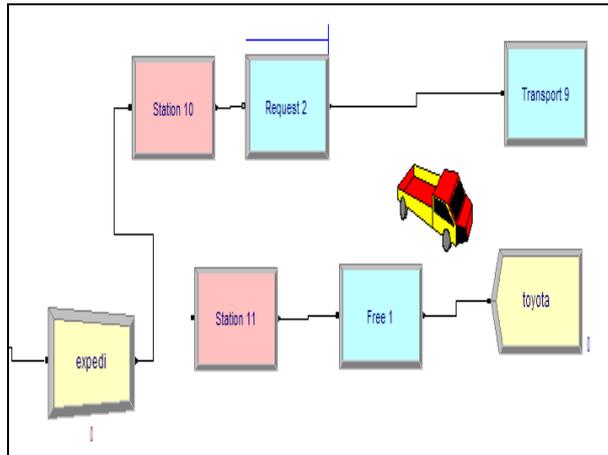
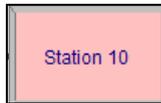


Figura 61 - Definições do transporte para o cliente



*Assign* - O *assign* permite alterar a imagem de mercadoria numa imagem de um meio de transporte (caminhão).

Posteriormente foram criados funcionalidades com blocos provenientes do *advanced transfer* do tipo:



*Station* - As *station* permitem identificar o local de saída e de entrada do transportador.



*Request* - O *request* permite identificar o transportador e definir a estação de saída para a estação seguinte. Quando o transportador está ocupado, a mercadoria espera na fila até que o transportador esteja disponível para o transporte. A funcionalidade que permite dar a informação ao sistema de que o transportador está livre é o *free*





*Transport* - O transportador é definido na funcionalidade *transport*. Esta é uma das formas de transportar objectos de uma estação para outra estação

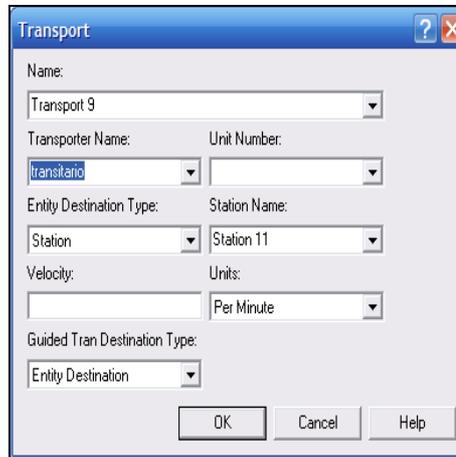


Figura 62 - Bloco transport (transporte para o cliente)

### 4.3.8 8ª Etapa

Para a definição do funcionamento do *milkrun* foi desenvolvido uma funcionalidade de processos interligados entre si através de sinais permitindo que o *milkrun* atravessasse todo o processo em ciclos de 20 minutos. Esta funcionalidade trabalha em paralelo com todo o sistema operacional, permitindo assim uma maior flexibilidade ao sistema (Figura 63)

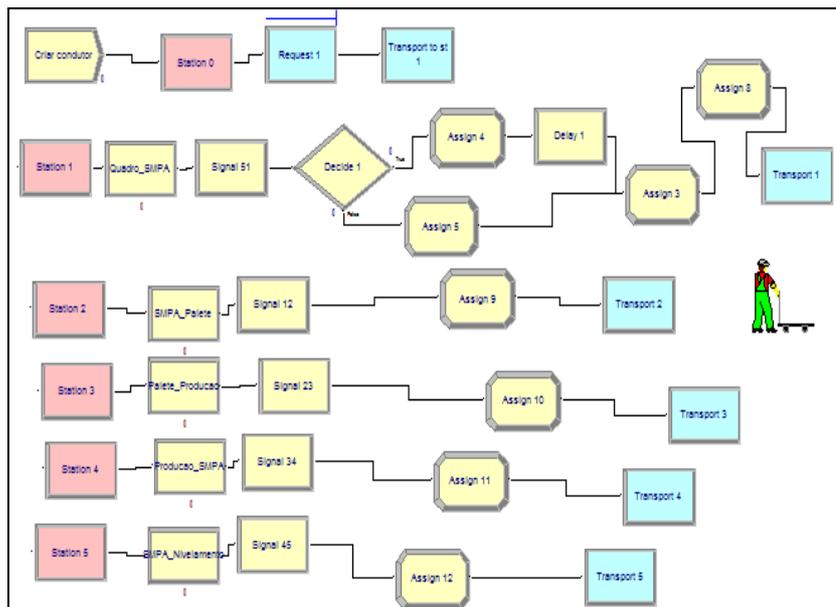


Figura 63 - Definição do *milkrun*

## ESTUDO DO PROBLEMA

O ponto-chave neste processo idêntico ao transporte que referimos anteriormente na secção 4.3.7 foi a introdução do bloco *signal* (Figura 64). O bloco *signal* permitiu comunicar com o *hold* de uma forma muito simples. O *hold* foi colocado no sistema no final de cada ponto onde passa o *milkrun* transmitindo o sinal definido no *hold* e o transporte dá-se para o processo seguinte. Este processo repete-se de 20 em 20 minutos.

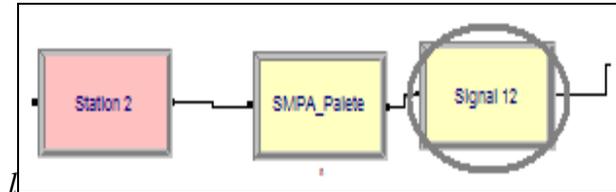


Figura 64 - Bloco signal (definição do *milkrun*)

A definição de início do *milkrun* foi feita de acordo com a Figura 65

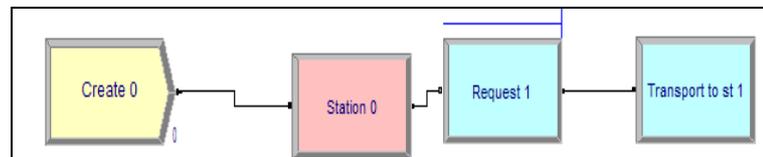


Figura 65 - Definição do *milkrun* (início)

Depois de dar início ao *milkrun*, foi necessário definir qual seria a sua decisão no quadro de nivelamento caso chegue tarde (fora do tempo de ciclo), ou antes do tempo como representado na Figura 66.

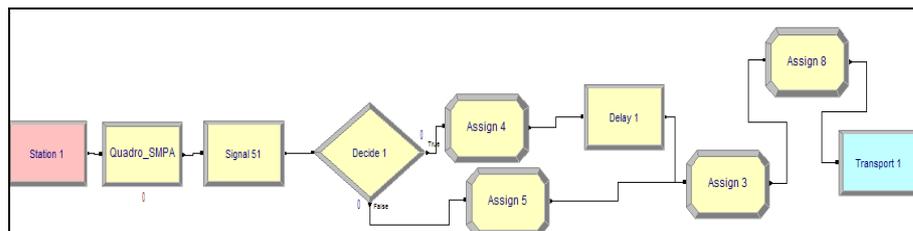


Figura 66 - Definição do *milkrun* (saída)

A definição da saída foi definida tendo em conta duas instruções:

1. Se chegar cedo espera pelos 20 minutos definidos;
2. Se chegar tarde arranca logo que chegue, para não ter uma espera muito grande e provocar elevado WIP.

Este controlo é feito através de expressões nas seguintes funcionalidades.

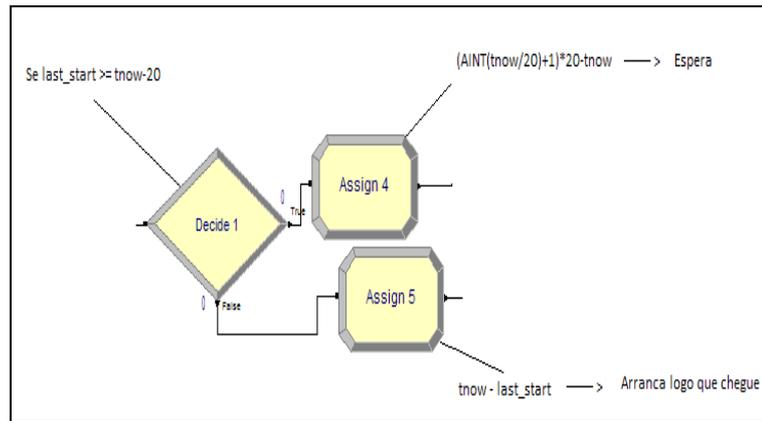
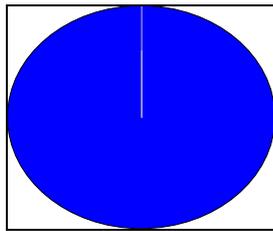


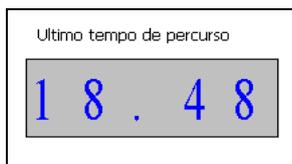
Figura 67 - Definição do *milkrun* (tempo de espera)

### 4.3.9 9ª Etapa

A penúltima etapa contemplou a criação de funcionalidades de controlo a visualizar no *layout* para confirmação do processo.



É um relógio e permite-nos visualizar e controlar o tempo em cada processo. Esta funcionalidade demonstrou-se ótima para verificar os processos quando estão a decorrer em simultâneo.



Esta funcionalidade permite-nos controlar o tempo de percurso que o *milkrun* demora a percorrer o circuito através da expressão: **(tnow)-(last\_start)**



Este contador indica-nos o tempo de espera ou o tempo de atraso do *milkrun* no local do nivelamento da produção. Expressão: **(AINT(tnow/20)+1)\*20-tnow**

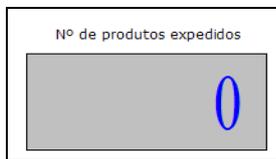
## ESTUDO DO PROBLEMA



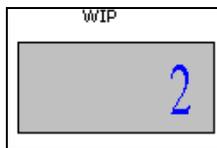
Este contador fornece-nos o momento de tempo que o *milkrun* passa pela última vez no quadro de nivelamento. Expressão: **(tnow) -20**



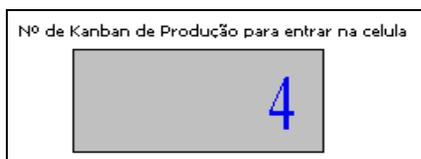
Tempo do *milkrun* normalizado para satisfazer o tack do cliente.



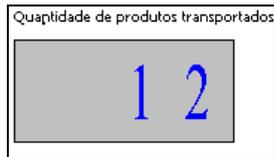
Número de produtos expedidos. Expressão: **(expedi.NumberOut) \*3**



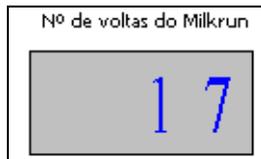
Números de produtos acabados na célula de fabrico para transportar para o supermercado. Expressão: **(célula produtiva Toyota.NumberOut1\_Quadro\_Nivelamento.NumberIn) +5**



Este contador permite-nos dizer quantos *kanban* de produção estão na fila para produzir. Expressão: **(celula produtiva Toyota.NumberIn) - (celula produtiva Toyota.NumberOut)**



Indicação do nº de produtos acabados transportados para o supermercado num determinado momento. Expressão: **(1\_Quadro\_Nivelamento.NumberIn) - (5)**



Nº de ciclos que o *milkrun* já percorreu num determinado momento de tempo. Expressão: **SMPA\_Nivelamento.NumberOut**

A (Figura 68) apresenta-nos um gráfico que nos indica em cada momento o nível de *stocks* no supermercado.

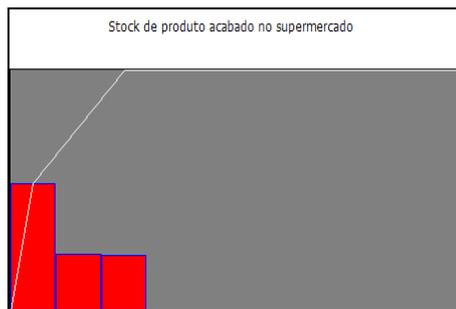


Figura 68 - Nível do *stock* no supermercado de produto acabado

De forma a identificar em que local (*station*) se encontra e controlar o nº de ciclos percorridos pelo *milkrun* num intervalo de 100 minutos criou-se um gráfico representado na Figura 69

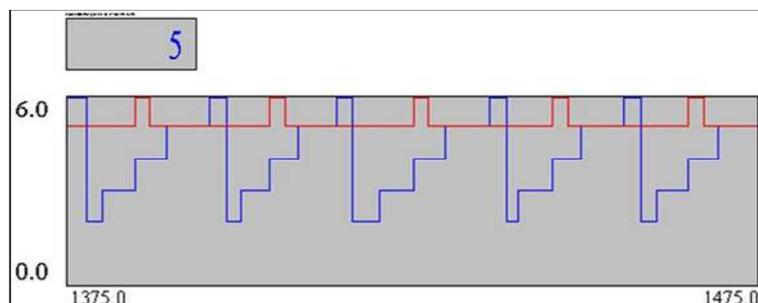


Figura 69 - Gráfico para localização e controlo do nº de ciclos do *milkrun*

Para controlo da evolução atraso do *milkrun* num intervalo de 100 minutos e do tempo de atraso no último ciclo do *milkrun* implementou-se o gráfico representado na Figura 70

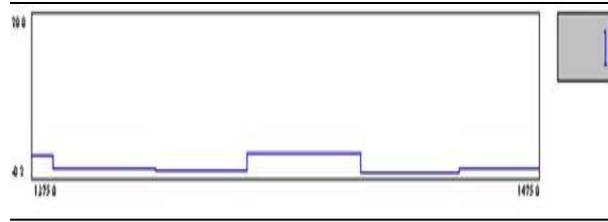


Figura 70 - Gráfico para visualização e dos atrasos do *milkrun*

### 4.3.10 10ª Etapa

A última etapa engloba a implementação no *layout* final (Figura 71).

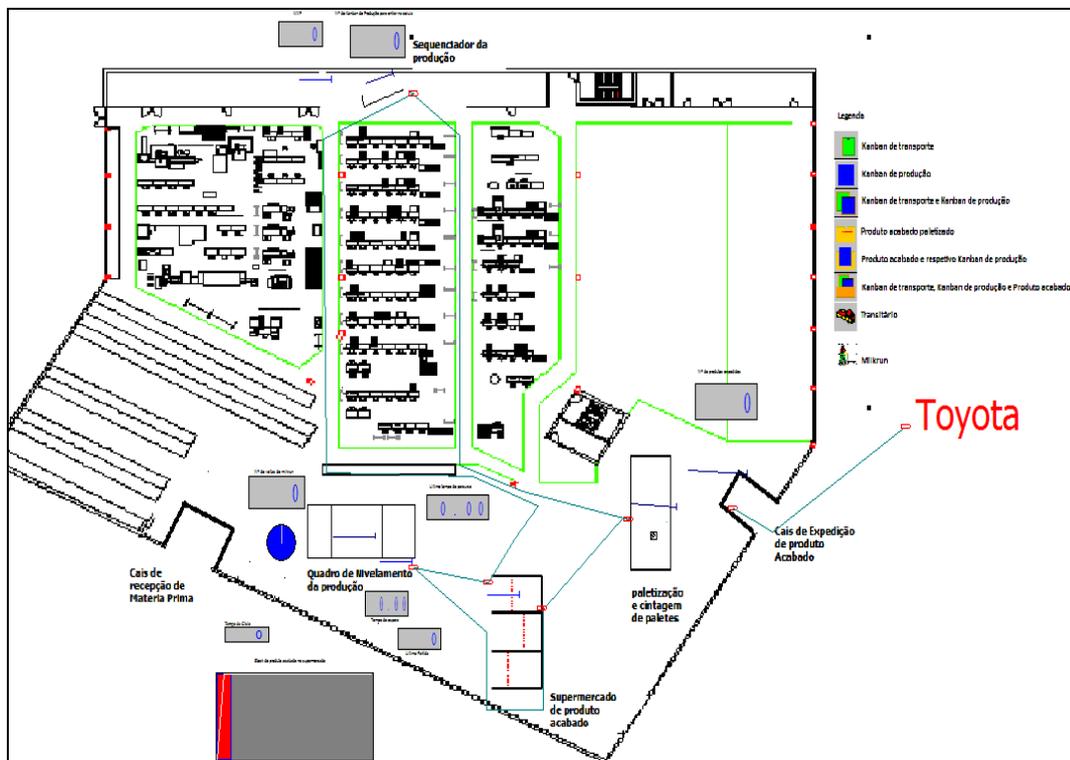


Figura 71 –Implementação no *layout* final

A implementação do sistema no *layout* foi feita através das funcionalidades *station* e *distance* associado a um meio de transporte (*transporter*) definido conforme as indicações do utilizador. Nesta funcionalidade (Figura 72) podemos ainda criar um meio de transporte a nossa imagem.

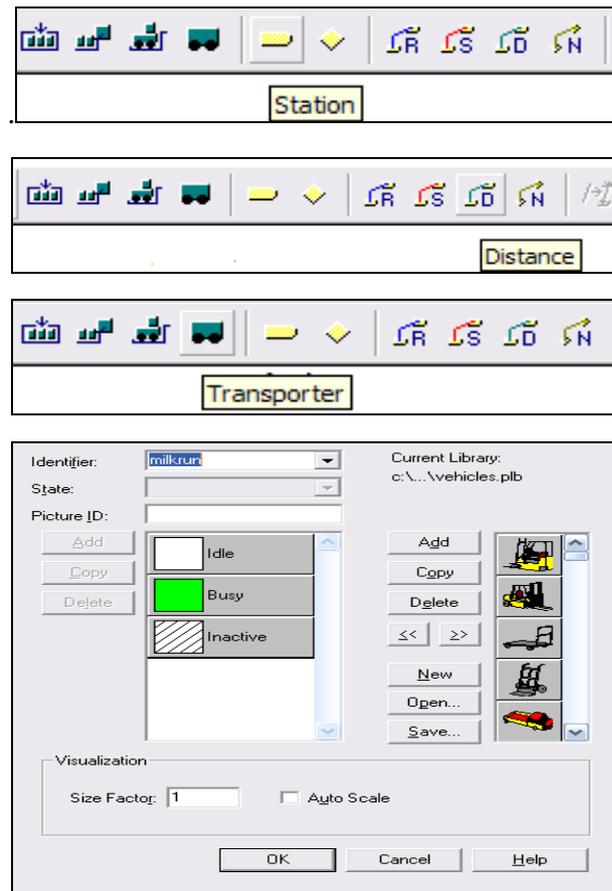


Figura 72 - Definição do meio de transporte

## **5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS (ENSAIO DE MELHORIAS)**

Com o modelo criado no software *ARENA*, foram feitas várias simulações para a alteração da capacidade da célula de produção e para alteração dos tempos de operação das tarefas do *milkrun*.

### **5.1 Resultados para a alteração da capacidade da célula de produção**

De seguida serão apresentados os resultados obtidos.

#### **5.1.1 Tempo de ciclo balanceado da célula**

Tempo de processamento (uma caixa de produto = 24 peças) balanceado da célula igual a 19.6 minutos, ou seja, aproximado do *tack time* do cliente:

Com o objectivo de se verificar se o modelo de simulação criado traduz de uma forma transparente a situação real (tempo de ciclo balanceado) da célula de produção, foi feita a simulação considerando-se parâmetros definidos na secção 4.2.2.2, verificando-se que:

1. O trabalho normalizado (balanceado para 19.6 mins. na célula de produção) não provocou esperas significativas na entrega de produto acabado pelo *milkrun* ao supermercado (Figura 73).

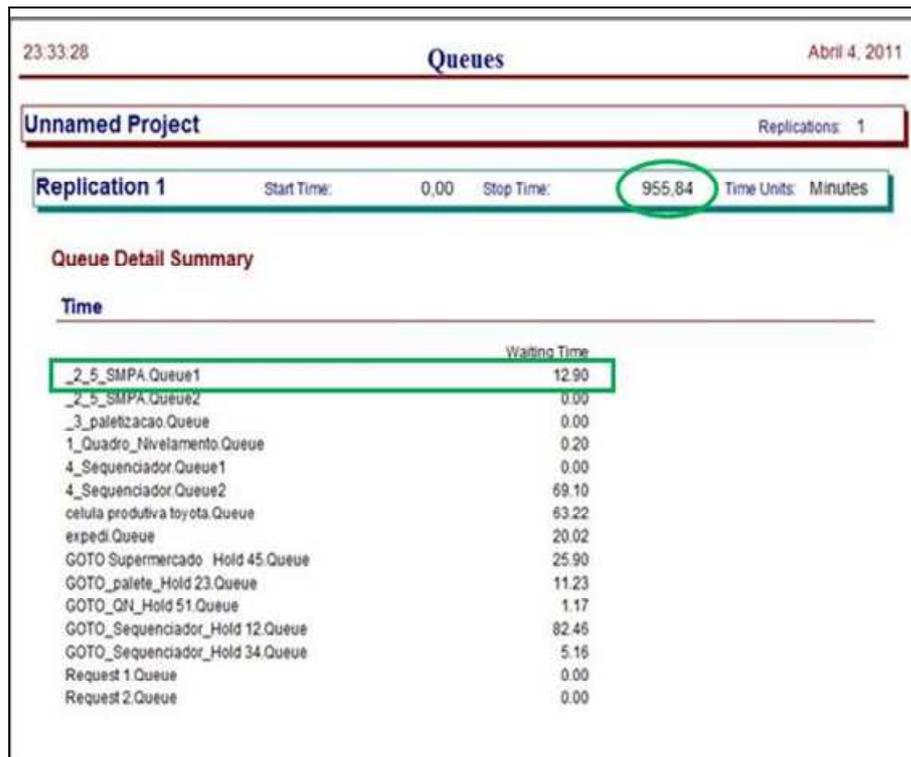


Figura 73 - Tempo de espera na entrega de produto no supermercado

2. O tempo (taxa) de utilização da célula é de 100% (Figura 74)



Figura 74 – Tempo de utilização da célula

3. O tempo de ciclo foi cumprido sem atrasos significativos, devido à inexistência de falhas (Figura 75)

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS (ENSAIO DE MELHORIAS)

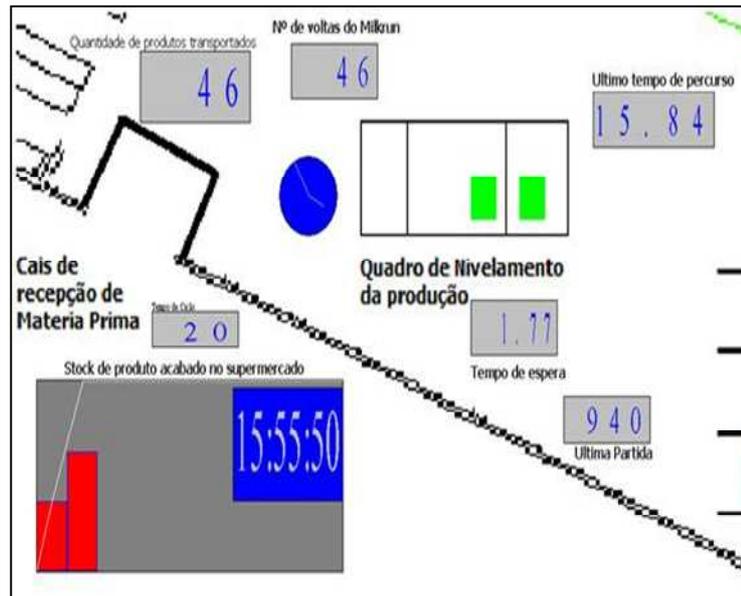


Figura 75 - Atrasos no tempo de ciclo

4. No final dos dois turnos (950 min) são entregues as quantidades pedidas pelo cliente (1030 peças = 43 *kanban*) (Figura 76)

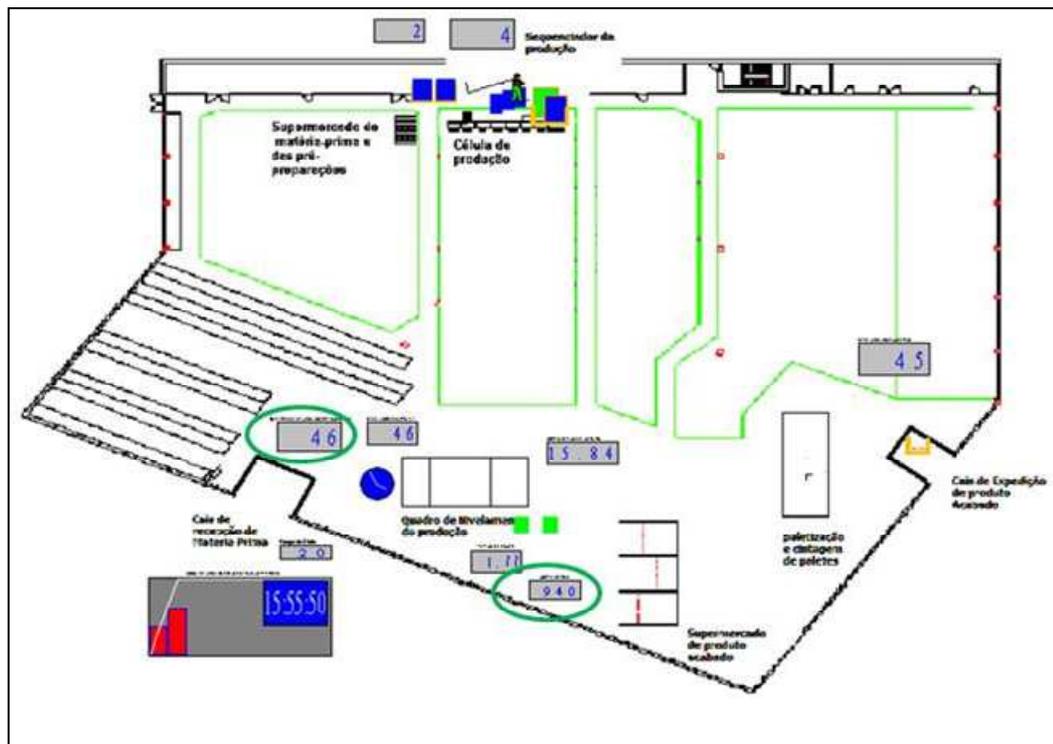


Figura 76 - Quantidades entregues no final de 2 turnos (950 min)

### 5.1.2 Tempo de ciclo desbalanceado da célula

Tempo de processamento desbalanceado da célula igual a 25 minutos, ou seja, sem trabalho normalizado para cumprir o *tackt time* do cliente.

Observando-se que:

1. O aumento de tempo de produção em 5.4 minutos provocou ao fim de aproximadamente 950 mins.(dois turnos) um atraso na entrega de produto acabado de 86.5mins (Figura 77).

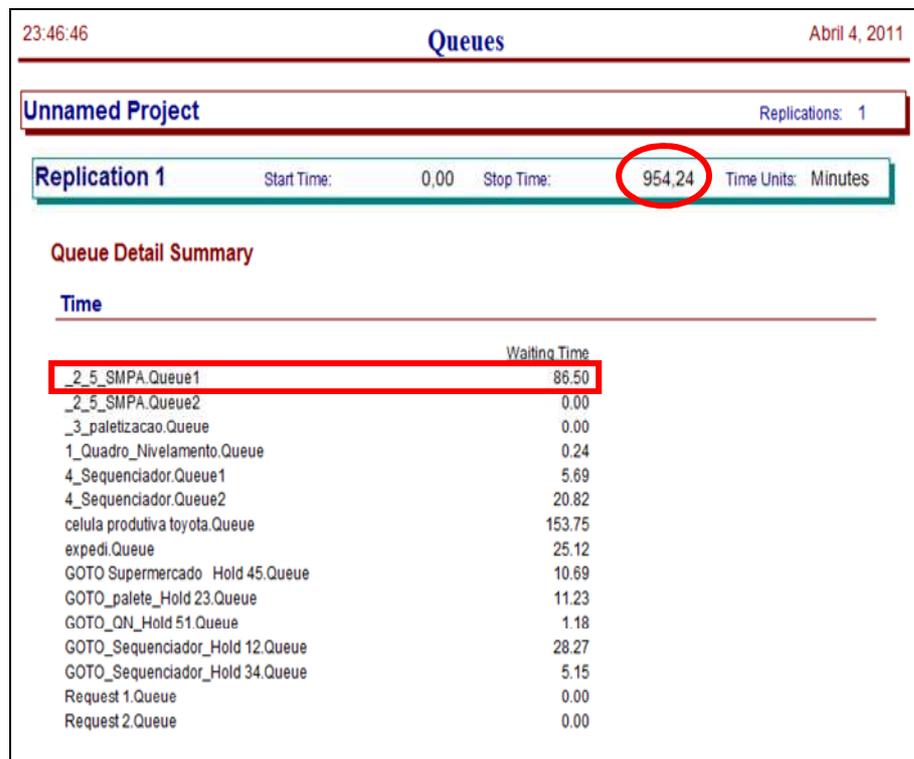


Figura 77 - Atraso de produto acabado no supermercado

2. Este cenário provoca ruptura de *stock* no ponto de levantamento de produto acabado, porque o tempo de produção de um *kanban* demora mais 5.4 minutos, logo não consegue abastecer o *milkrun* com um tempo de ciclo de 20 minutos. O WIP na célula de produção também é afectado de uma forma consequente (Figura 78). Podemos concluir dizendo que um aumento em 5.4 minutos na produção de um *kanban*, reduzimos em 30% o abastecimento de produto acabado (Figura 79).

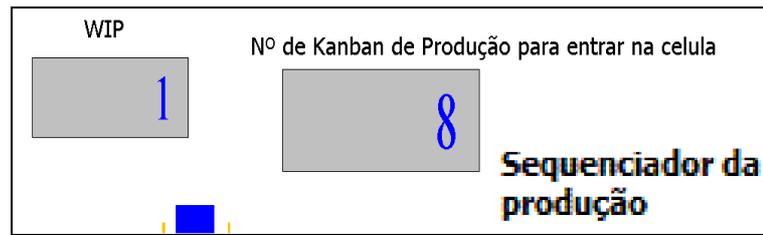


Figura 78 - Sequenciador da produção (WIP)

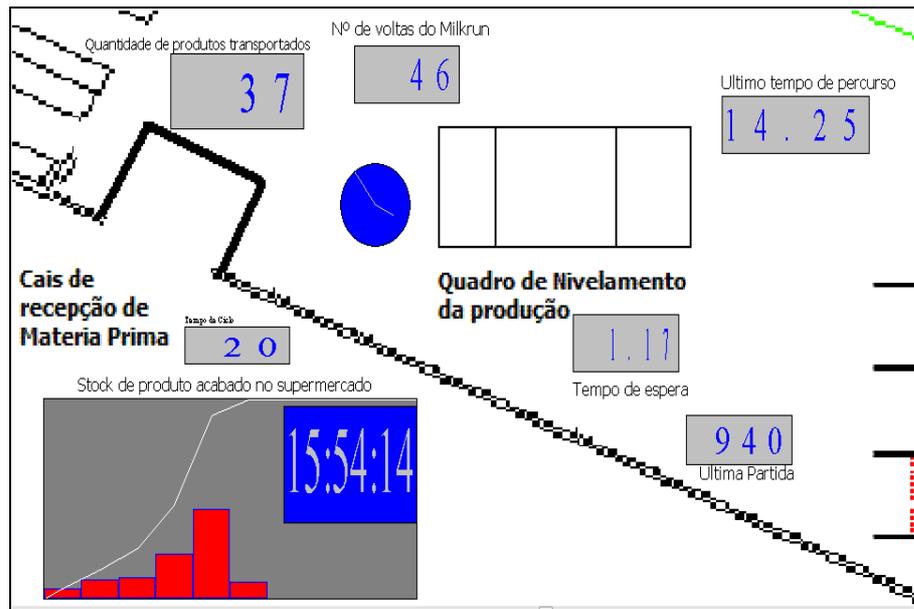


Figura 79 – Redução do abastecimento ao supermercado de produto acabado

## 5.2 Alteração dos tempos de operação das tarefas do *milkrun*

Da mesma forma que foram feitas as simulações anteriores foi feita a simulação para a alteração dos tempos de operação das tarefas do *milkrun*.

### 5.2.1 Circuito com tarefas normalizadas do *milkrun*

Com o objectivo de se verificar se o modelo de simulação criado traduz de uma forma transparente a situação real (circuito com tarefas normalizadas) do *milkrun* (Anexo F), foi feita a simulação considerando-se parâmetros definidos na secção 4.2.2.1.

- Quadro de nivelamento: 1.1
- Supermercado (levantamento de produto acabado): 4.5
- Paletização: 4

- Sequenciador da produção: 5.5
- Supermercado (Abastecimento de produto acabado): 2

Verificando-se que:

1. O tempo das tarefas (17,1min) do *milkrun* simuladas neste cenário não apresenta rupturas na entrega de produto acabado ao supermercado. Entraram no sistema 47 pedidos mais o *stock* inicial (5 unidades) e saíram 47 pedidos (Figura 80), o que significa que o *milkrun* fez sempre o ciclo com material (Figura 81) e no tempo de ciclo pedido sem atrasos (Figura 82).

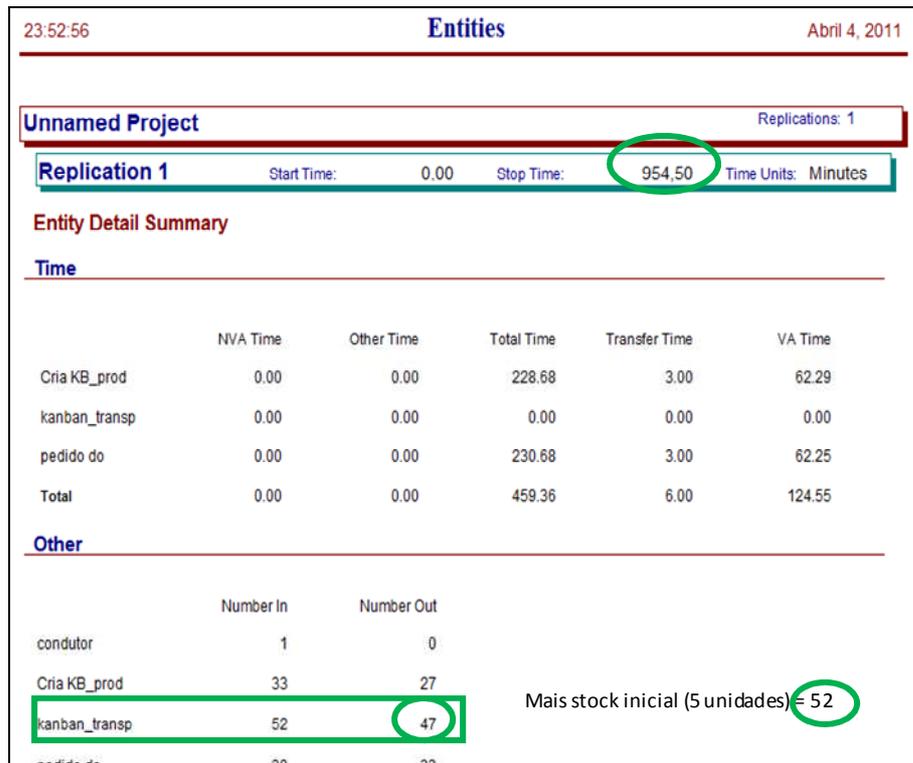


Figura 80 - Relatório das entidades

2. O *milkrun* realiza sempre 5 ciclos no espaço de 100 minutos (Figura 81).

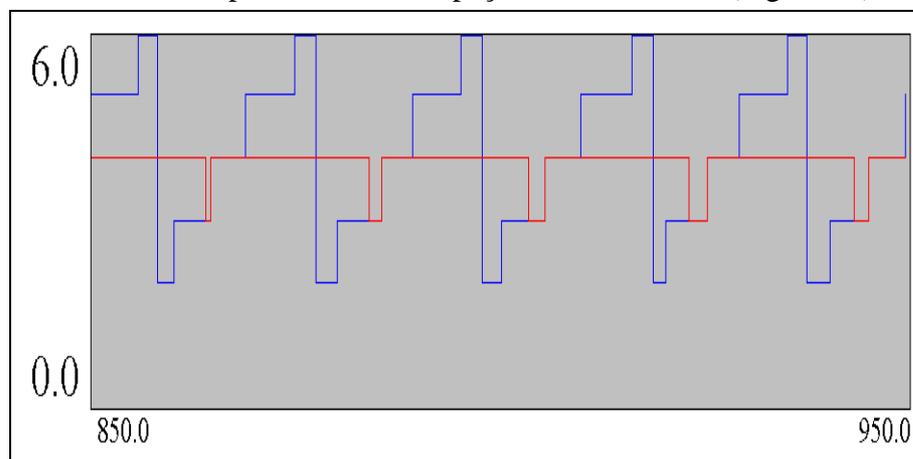


Figura 81 – Quantidades de ciclos do *milkrun*

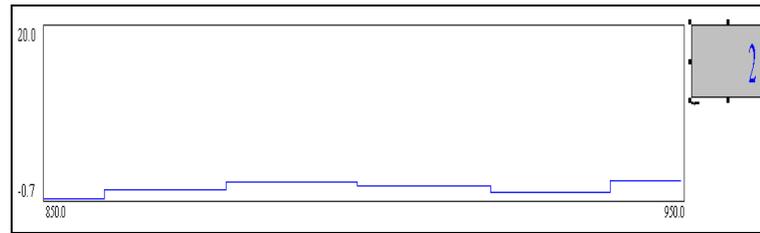


Figura 82 - Atrasos no tempo de ciclo do *milkrun*

### 5.2.2 Circuito sem normalização de tarefas do *milkrun*:

Para um a situação em que o conteúdo funcional do *milkrun* é aumentado em 5 minutos:

- Quadro de nivelamento:	1.1
- Supermercado (levantamento de produto acabado):	7
- Paletização:	8
- Sequenciador da produção:	6
- Supermercado (Abastecimento de produto acabado):	2

Verifica-se que:

1. Neste novo cenário (24,1 min) podemos dizer que aumentando 5 minutos nas tarefas do *milkrun*, o resultado é que o *milkrun* só consegue transportar apenas 20 produtos, ou seja, menos 23 produtos comparando com o cenário anterior (Figura 83).

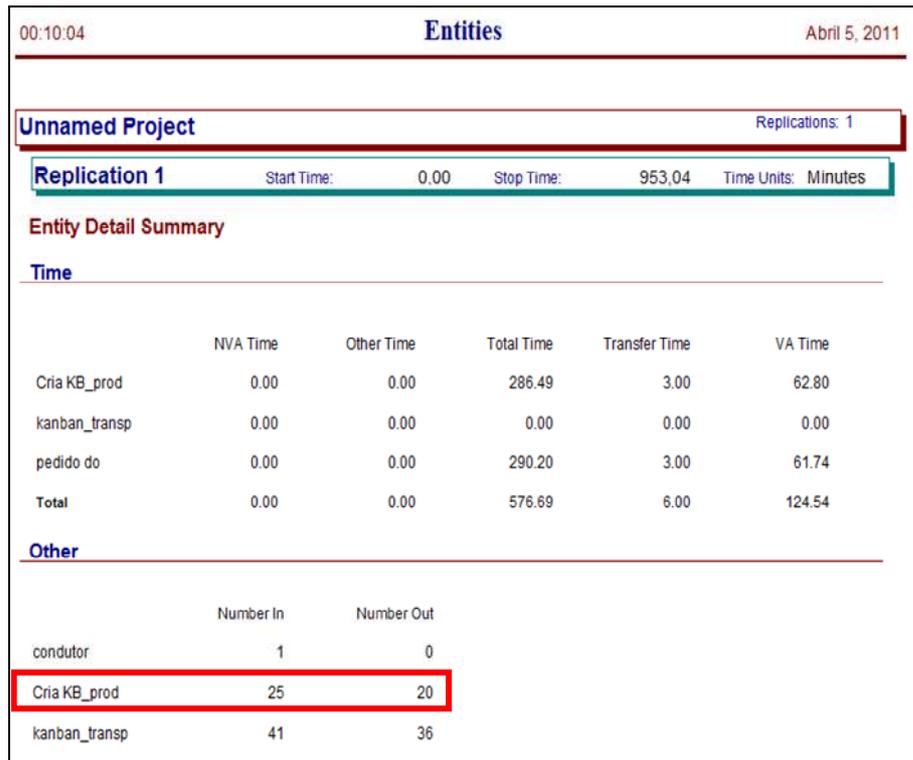


Figura 83 – Relatório das entidades

2. Com este cenário podemos também observar o aumento do WIP na produção, isto porque a célula está a produzir um *kanban* (24 peças) a cada 19.6 minutos, e o *milkrun* passa nesse posto de 24.1 em 24.1 minutos (Figura 84).

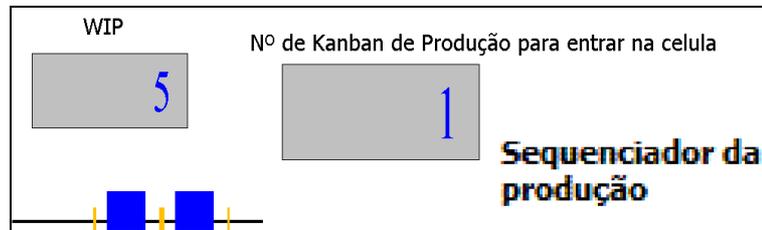


Figura 84 – Aumento do WIP na célula de produção

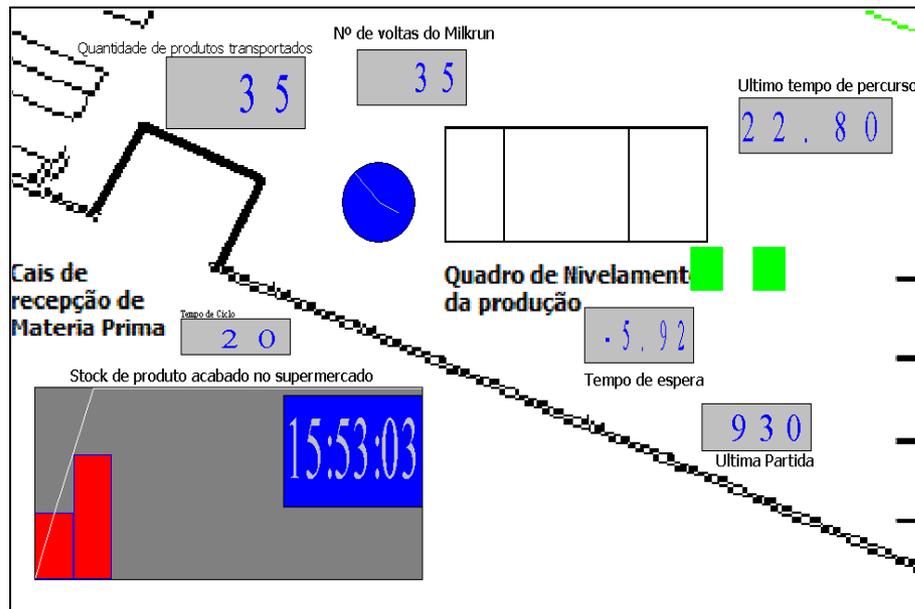


Figura 85 –Tempo de espera no inicio de um novo ciclo

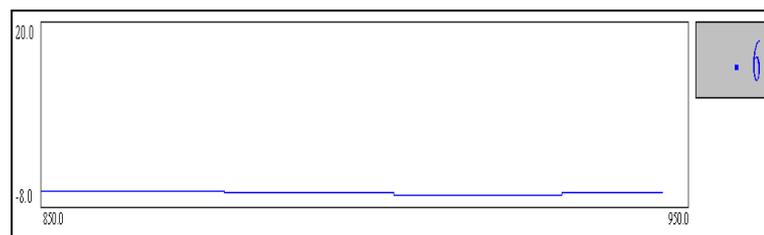


Figura 86 – Tempo de espera no inicio de um novo ciclo

3. O tempo de espera do *milkrun* (no inicio de um novo ciclo) não cumpre com os requisitos para implementação de um sistema puxado de produção (Figura 85) e (Figura 86) realizando apenas 4 ciclos no tempo de 100 minutos (Figura 87);

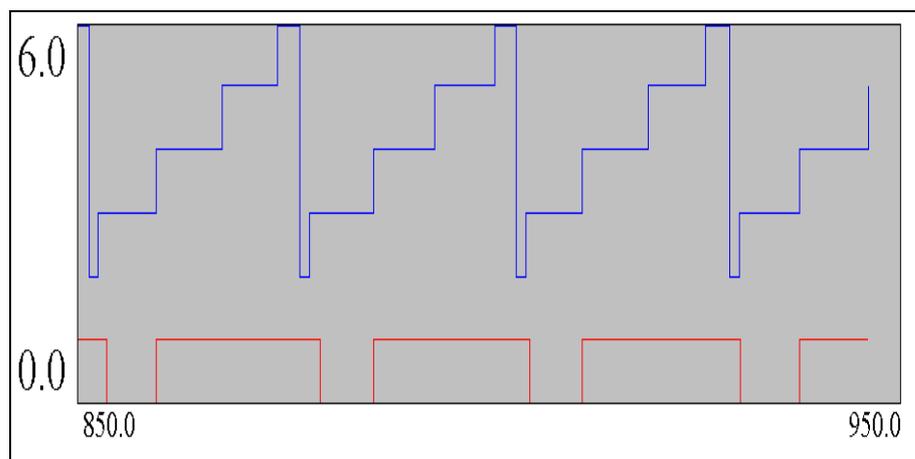


Figura 87 - Nº de ciclos realizados pelo *milkrun*

### 5.3 Conclusões gerais

Uma das grandes vantagens da utilização do software *ARENA* é a possibilidade de criar relatórios bastante completos sobre a simulação realizada. Estes relatórios permitiram avaliar a situação definida no modelo de simulação.

Uma das vantagens da utilização a simulação consiste na possibilidade de se responder a questões do tipo “o que aconteceria se?”, ou seja, avaliando os resultados do modelo para determinadas condições. Assim, para usar a simulação na avaliação e melhoria do desempenho de um processo, é necessário construir diferentes cenários. O passo seguinte é a execução da simulação para cada um deles, analisando os resultados encontrados. Os pressupostos que foram avaliados no modelo construído serviram como base para a aceitação ou rejeição dos ensaios simulados, quer através dos resultados numéricos do mesmo, quer através da sua ilustração/animação que foram facilmente validadas pelos agentes de decisão da empresa

Assim, torna – se efectivamente pertinente construir um modelo de simulação para pesquisa de configurações de sistemas de produção puxados mais eficientes com procura nivelada do cliente

O modelo lógico desenvolvido no *ARENA* permite ao gestores, nomeadamente de produção tomarem decisões baseadas em simulações de vários cenários. Estes cenários podem consistir na simulação de vários tipos e respectiva decisão, nomeadamente:

- Alteração de *layouts* (distancias, fluxos);
- N° de recursos afectos (maquinas, operadores);
- Tempos de operação (maquina, operadores, *milkrun*)

O Trabalho apresentado baseou-se em dois cenários:

1. Alteração da capacidade da célula de produção;
2. Alteração dos tempos de operação das tarefas do *milkrun*

Depois de realizadas todas as simulações com os resultados apresentados anteriormente, tiraram-se as conclusões gerais acerca do trabalho efectuado.

## 6 CONCLUSÕES

O objectivo primordial do estudo foi planear o sistema puxado de produção para uma linha piloto da MotoMeter. O sistema puxado foi uma escolha estratégica da empresa para substituir o actual sistema de produção. Neste projecto foi feita a caracterização e o dimensionamento do sistema puxado mais adequado para a empresa.

### 6.1 Conclusões e recomendações

A caracterização do sistema implicou a definição de rotas de abastecimento, quer os trajectos quer os horários, de modo a respeitar uma janela temporal de 20 minutos para cada ciclo imposto pela empresa. O dimensionamento do sistema de produção puxado consistiu na determinação dos recursos necessários para executar de forma eficiente o sistema de produção puxado.

A calendarização deste projecto implicou a definição de seis fases operacionais que foram executadas sequencialmente. Inicialmente foi elaborada uma revisão bibliográfica que abordou os conceitos e princípios em que o projecto se baseia. Posteriormente, fez-se um levantamento do estado actual da empresa nomeadamente *layout* da área de produção, verificaram-se as necessidades de funcionamento e registaram-se minuciosamente os tempos sobre cada processo/sistemática do sistema de produção puxado. Após a recolha e tratamento dos dados, fez-se a construção de uma réplica do sistema de produção puxado a implementar recorrendo à ferramenta de simulação *ARENA*. A partir do modelo de simulação criado, foram feitas simulações do sistema de produção segundo diferentes capacidades da célula e tempos de operação do *milkrun*. As simulações permitiram a identificação dos elementos a considerar na definição da política de funcionamento do sistema puxado de produção.

Observando as conclusões tiradas nas últimas secções verifica-se que para a implementação do sistema puxado de produção é necessário garantir duas condições:

1. Capacidade da célula de produção balanceado em 19.6 minutos;
2. Criação/existência de trabalho normalizado para o *milkrun*.

A escolha da solução mais adequada para o problema foi feita por ser a mais flexível à adaptação da política de funcionamento eficiente do sistema de produção puxado.

Durante a fase de implementação do sistema de produção puxado foi necessário efectuar um controlo inicial mais pormenorizado das sistemáticas estabelecidas de forma a verificar se a solução encontrada pelo modelo de simulação por um lado representa com o rigor necessário os fluxos de *kanban* (*transparência*), e por outro se a capacidade da célula de produção dimensionada é suficiente para o funcionamento adequado do sistema de produção puxado. Essa *melhoria contínua* estará sempre presente, segundo os princípios BPS, no funcionamento do sistema de produção puxado para que se possa proceder a alterações do funcionamento do sistema que conduzam a melhores resultados.

Para além dos princípios BPS, *melhoria contínua e transparência* verifica-se que a solução encontrada obedece aos outros princípios, nomeadamente:

- ✓ **Normalização**, existe a definição de sistemáticas com características específicas para o funcionamento do sistema de produção puxado;
- ✓ **Orientação ao processo**, o sistema criado permite simplificar e acelerar o processo de entrega de material pelos supermercados;
- ✓ **Princípio de puxar**, o transporte de material por parte do sistema é realizado com base nas necessidades do cliente;
- ✓ **Prevenção de defeitos**, o manuseamento do material é realizado em condições de maior segurança e menor risco de danificação;
- ✓ **Flexibilidade**, na medida em que o sistema permite o reajuste caso as necessidades por parte dos clientes se alterem.
- ✓ **Auto-responsabilidade ou envolvimento**, onde todos os elementos que de alguma forma estão relacionados com o sistema de produção (desde o operador da linha, planeadores que fazem os pedidos, passando pelos operadores que fazem a paletização, até ao operador que verifica se o funcionamento do *milkrun* é adequado) têm que saber qual a sua função de forma clara, contribuindo assim para o sucesso da empresa em geral e para o sucesso do sistema puxado de produção em particular.

Em jeito de recomendação e tendo em conta o *feedback* dos participantes no projecto sugere-se a difusão da utilização de simulação em projectos de produção magra. Com isto é necessário dar à gestão de topo e gerência, a base para a tomada de decisão consciente e consistente, eliminando as insatisfações e os altos custos

## CONCLUSÕES

associados aos projectos implementados através da tentativa e erro da experimentação directa típicos dos eventos *kaizen*.

Suportado pela simulação em ambiente *ARENA*, a elaboração de uma aplicação possibilita ao utilizador projectar e racionalizar os meios de produção disponíveis. A ferramenta deverá ser desenvolvida com carácter genérico, com flexibilização do ponto de vista da definição de políticas e estratégias na utilização dos recursos existentes dotando-lhe diversas estratégias de controlo, ao nível da gestão dos materiais e dos supermercados.

A parametrização deverá ser outra característica importante da ferramenta. O modelo deverá ser definido pelo utilizador, aumentando a participação, influência e responsabilidade deste no resultado final. A aplicação deverá ser elaborada com uma interface amigável e com o propósito de ser acessível a utilizadores não especialistas quer em simulação, quer em programação.

Todas as modificações ocorridas no estado do sistema durante a execução da simulação deverão ser registadas para possibilitar posteriores estudos e análises, bem como para permitir melhorias em simulações futuras.

### 6.2 Melhorias Futuras

Em termos de melhorias futuras, orientando o trabalho de forma adequada pode-se melhorar o sistema de produção puxado implementado de forma a ser necessário apenas 1 tipo de *kanban* (*kanban* de levantamento) Este sistema funcionaria baseado no seguinte ponto:

Recurso a um PDA (*Personal Digital Assistant*) para o *milkrun* aceder aos pedidos de levantamento num ciclo e à confirmação da recolha desses pedidos no supermercado de produto acabado. Este pedido transforma-se numa lista de pedidos impressos de produtos para o ciclo de abastecimento na célula de produção.

Para além desta, uma outra melhoria passaria pela redução da grande complexidade na construção de modelos representativos de sistemas puxados. Os softwares de simulação, em especial o *ARENA*, que é utilizado no projecto, possui inúmeros módulos de sistemas de produção capazes de ajudar os analistas na modelação, como estações e *conveyors*, mas não possuem nenhum atributo em relação a sistemas de puxar a produção.

Construção de modelo de simulação de sistema puxado de produção para melhorias de eficiência

Para trabalhos futuros e baseado em projectos deste tipo, sugere-se ainda a criação de novos módulos no *ARENA* para estender a semântica do módulo *process* para incorporar a dinâmica dos sistemas puxados de produção, que resultaria num melhor resultado final para qualquer modelo colmatando esta aparente lacuna. Contudo, isto depende do desenvolvimento do programa.

Estas melhorias teriam como vantagem a diminuição dos recursos necessários para garantir a política de funcionamento do sistema de produção puxado.

## BIBLIOGRAFIA

- Banks, J. (2001). *Panel session: The future of simulation*. Proceeding of the Winter Simulation Conference .
- Boudon, R. (1990). *Os métodos em sociologia*. Lisboa: Rolim.
- BOSCH, *Manual do BPS*, 2002
- Chakravorty, S., & Atwater, J. (1995). *Do JIT lines perform better than traditionally balanced lines?* International Journal of operations and Production Management.
- De meyer, A., & Witenberg, A. c. (1992). *Acrescentar valor aos produtos. Como colocar a produção na estratégia empresarial*. Londres: Financial Times.
- Fu, M. (2002). *Optimization for simulation: Theory vs. Practice*. Journal on computing..
- Greasley, A. (2004). *The case for the organizational use of simulation*. Journal of Manufacturing Technology Management .
- Grimard, C., Marvel, J., & Standrige, C. (2005). *Validation of the Re-Design of manufacturing Work Cell using simulation*. Winter simulation conference . Piscataway.
- Harrel, C., Ghosch, B., & Bowden, R. (2000). *Simulation using Promodel*. MacGraw-Hill .
- Hum, S. (1998). *JIT scheduling rules: a simulation evaluation*. Omega international journal management science .
- Imai, M. (2000). *Gemba Kaizen. Estratégias e técnicas do Kaizen no piso de fábrica*. São Paulo: IMAM.
- Lee, W., & Alwood, J. (2003). *Lean manufacturing in temperature dependent proceses with interuptions*. International journal of operations and productions management .
- Liker, J. K. (2005). *O modelo Toyota*. Porto Alegre: Bookman.
- Monden, Y. (1984). *Sistema Toyota de Produção*. IMAM.
- Morreira, R., & Alves, R. (2006). *A study on just-in-time implementaion in Portugal: some empirical evidence*. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Nomura, J., & Takakuwa, S. (2004). *Module-based modelling of flow type multistage manufacturing systems adopting dual-card kanban system*. Graduate school of economics and business administration, Nagoya, Japan.

- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. New York: Productivity press.
- Oliveira, C. (2008). *Application of simulation techniques in Lean Manufacturing projects*. Universidade Geral de Minas Gerais, Itaúna, Brasil.
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. V. (2008). *Manual de investigação em Ciências Sociais*. Lisboa: Gradiva.
- Rajakumar, S., Arunachalan, V., & Selladurai, V. (2005). *Simulation of workflow balancing in assembly shopfloor operations*. Journal of manufacturing technology management.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see*. Massachusetts: Bookline.
- Standrige, C., & Marvel, J. (2006). *Why Lean needs simulation*. Winter simulation conference . Piscataway.
- Takeda, H. (1999). *The synchronic production system: Just-in-time for the entire company*. Bochum: SPS management consultants Deutschland GmbH.
- The Productivity Press Development Team. (2002). *Pull Production for the Shopfloor*. New York : Productivity Press.
- The Productivity Press Development Team. (2002). *kanban for the Shopfloor* . New York: Productivity Press.
- Torga, B., Montevechi, J., & Pinho, A. (2008). *Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura*. Bauru, São Paulo, Brasil.
- Treadwell, M., & Herrmann, J. (2005). *A kanban module for simulating pull production in ARENA*. Maryland.
- Welgama, P., & Mills, R. (1995). *Use of simulation in the design of a JIT system*. International journal of operations and production management .
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1992). *A máquina que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Editora campus.

# **ANEXOS**

Anexo A - Value stream

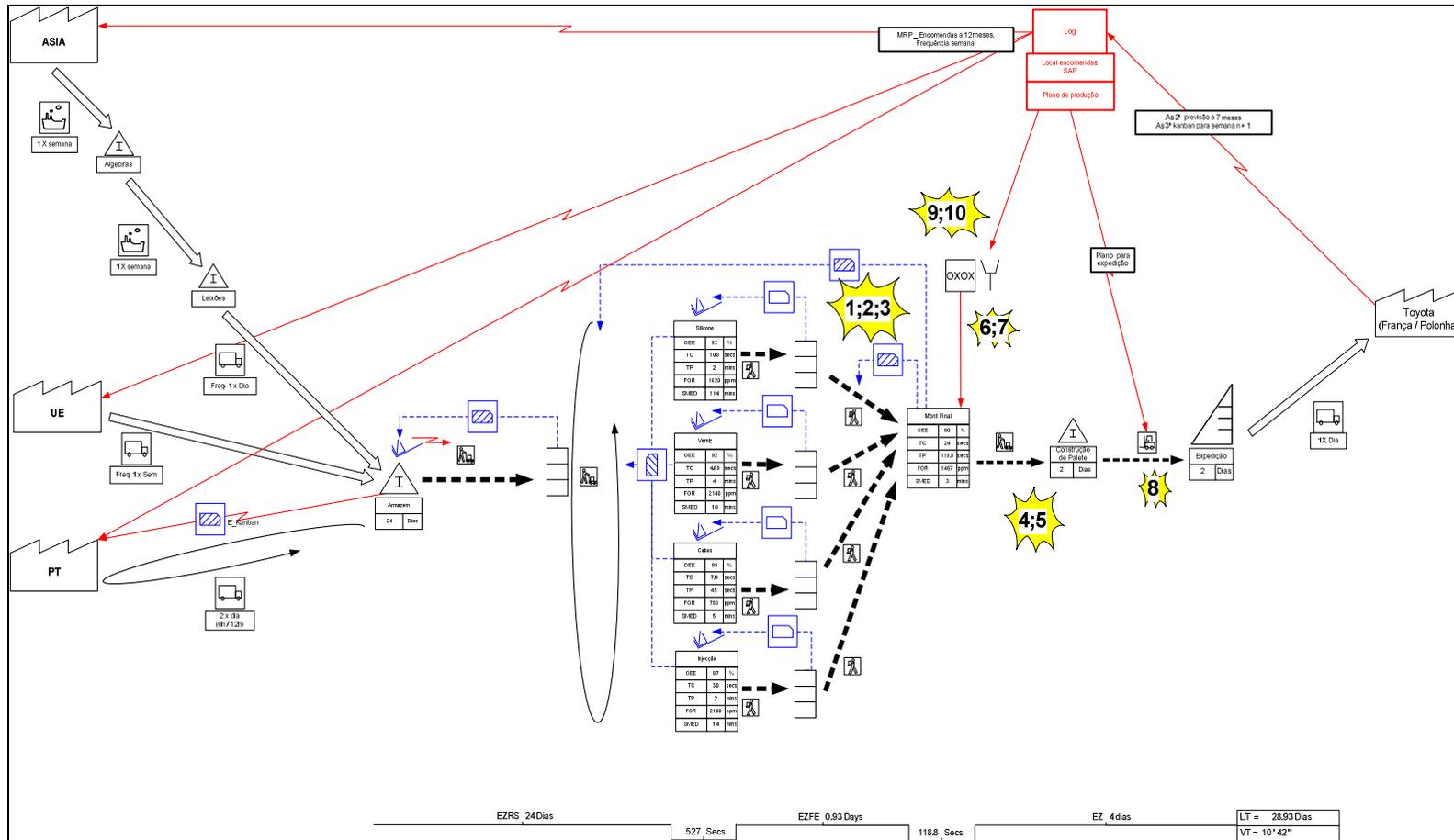


Figura 88 - Value Stream Mapping (MotoMeter)

# ANEXOS

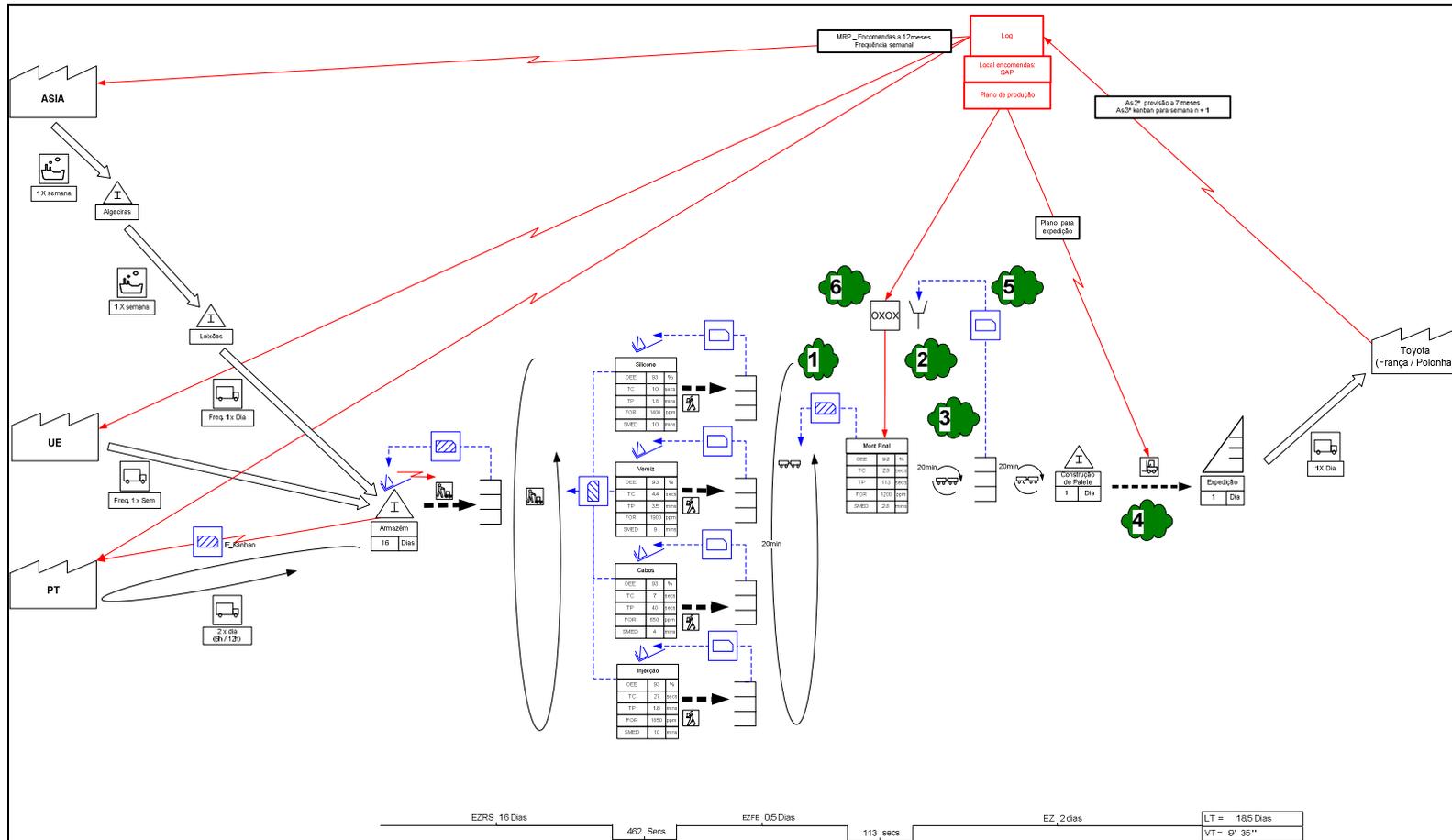


Figura 89 - Value Stream Design (MotoMeter)

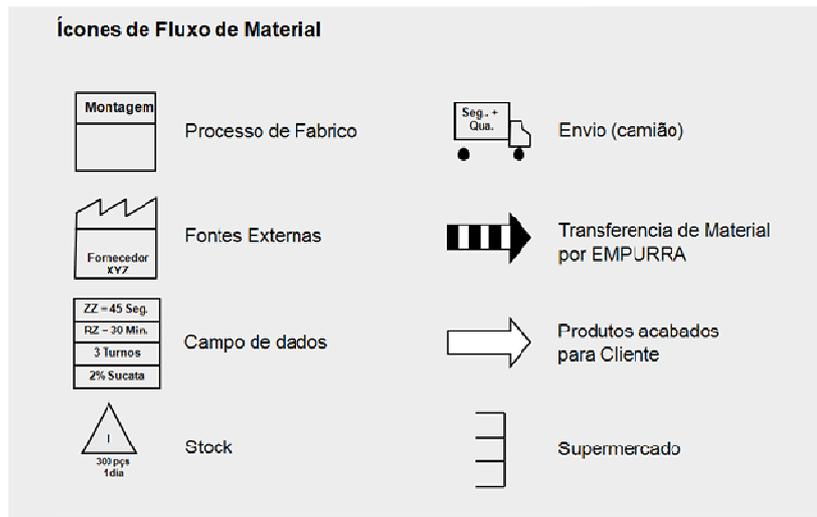


Figura 90 - Ícones de fluxo de material

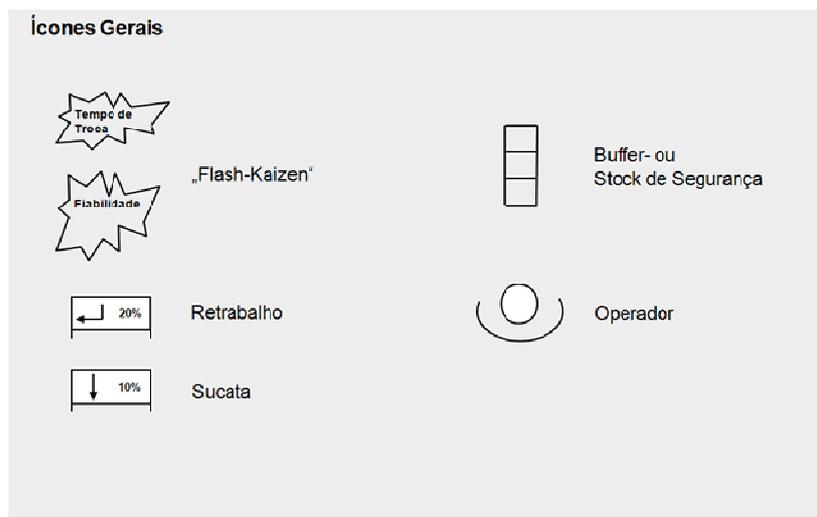


Figura 91 – Ícones gerais

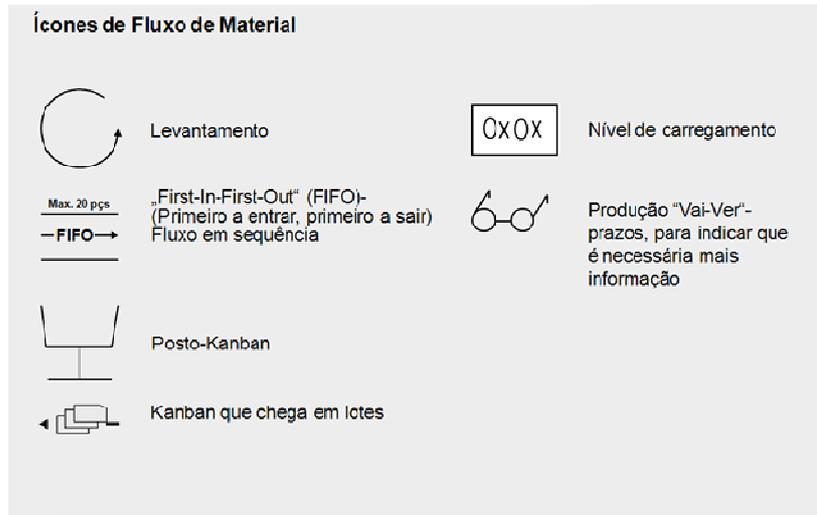


Figura 92 - Ícones de fluxo de material

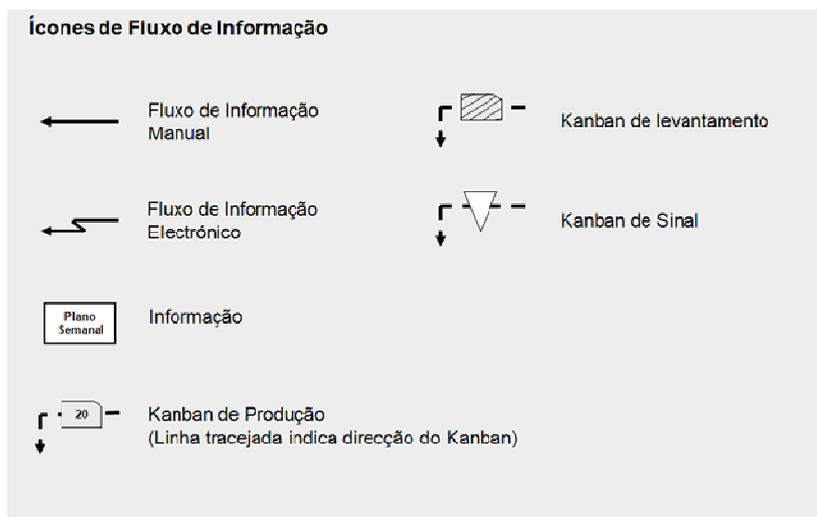


Figura 93 - Ícones de fluxo de informação

Anexo B – Fluxo interno produtivo

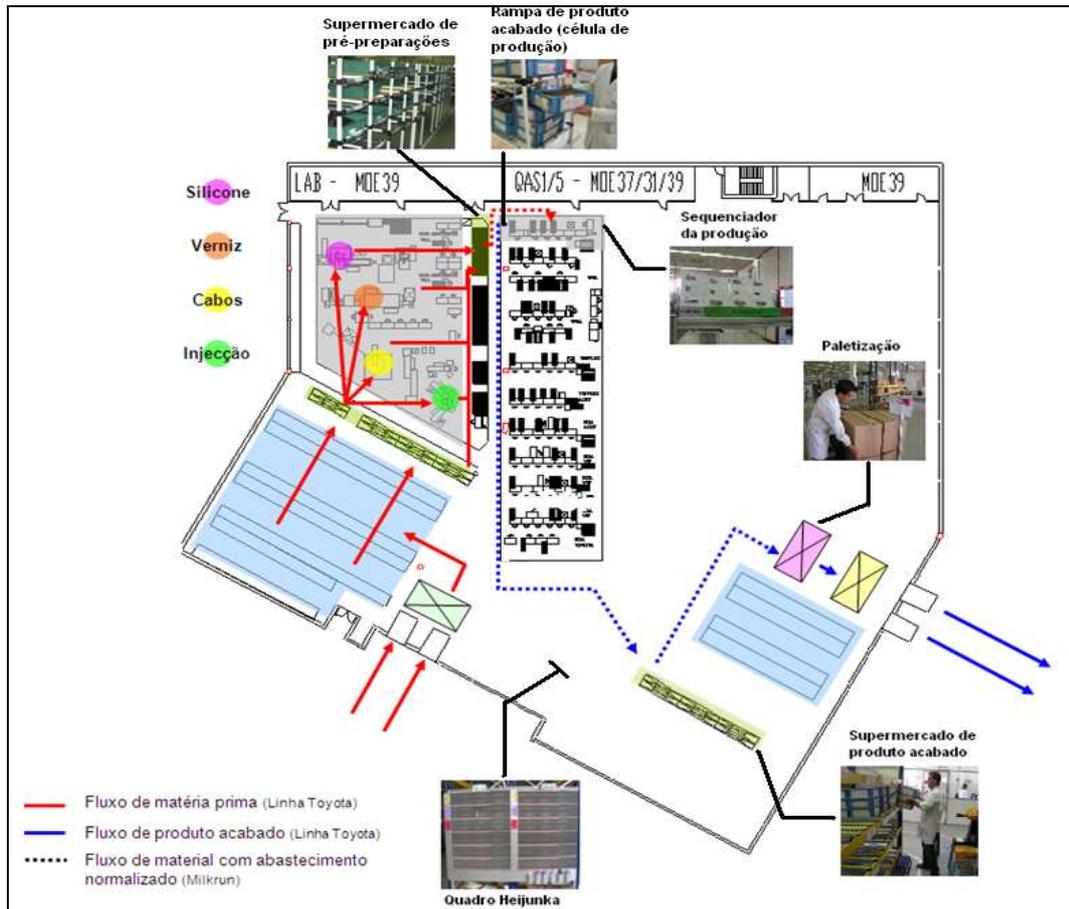


Figura 94 - Fluxo produtivo (localização dos componentes do sistema puxado)

# ANEXOS

## Anexo C - PDCA

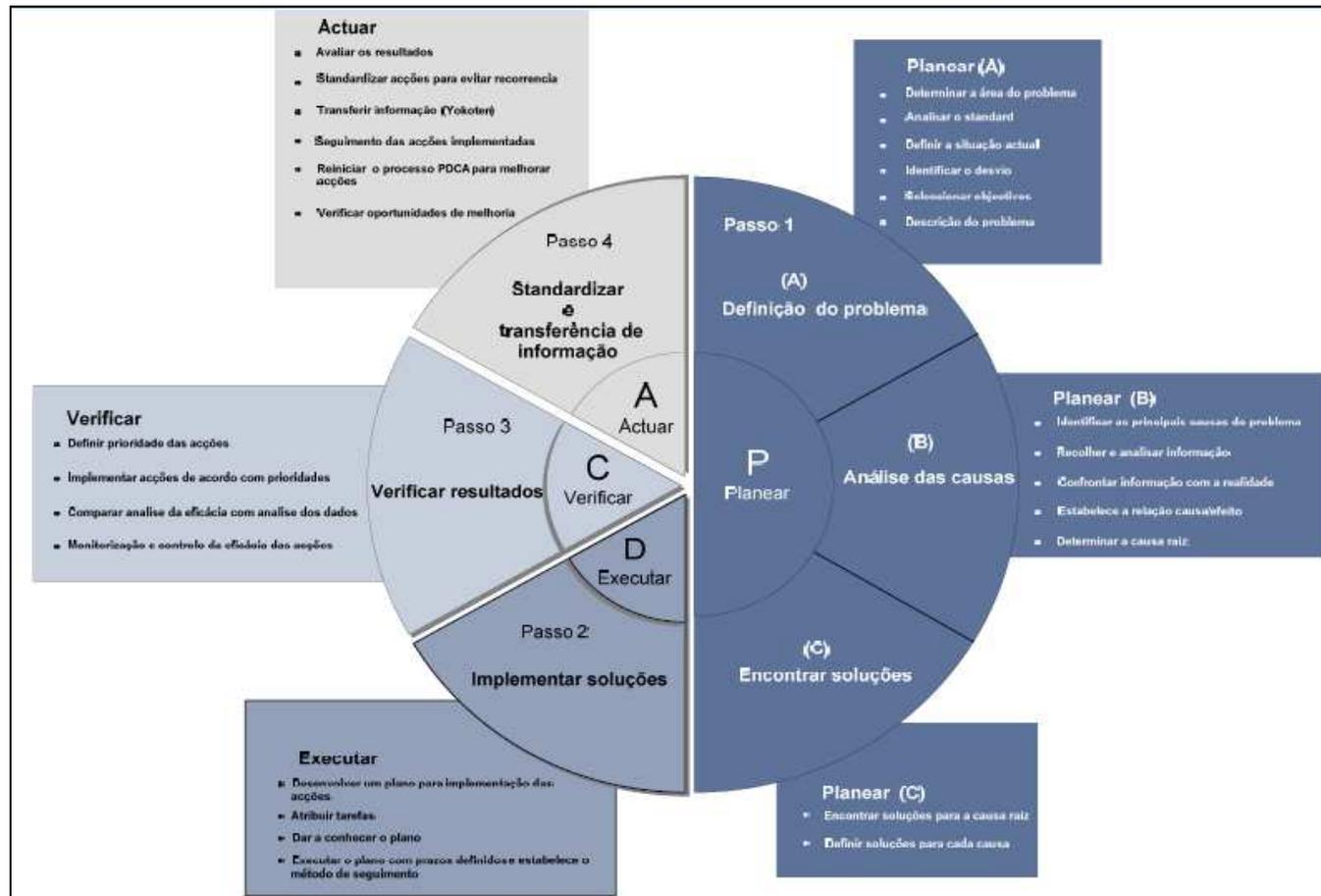
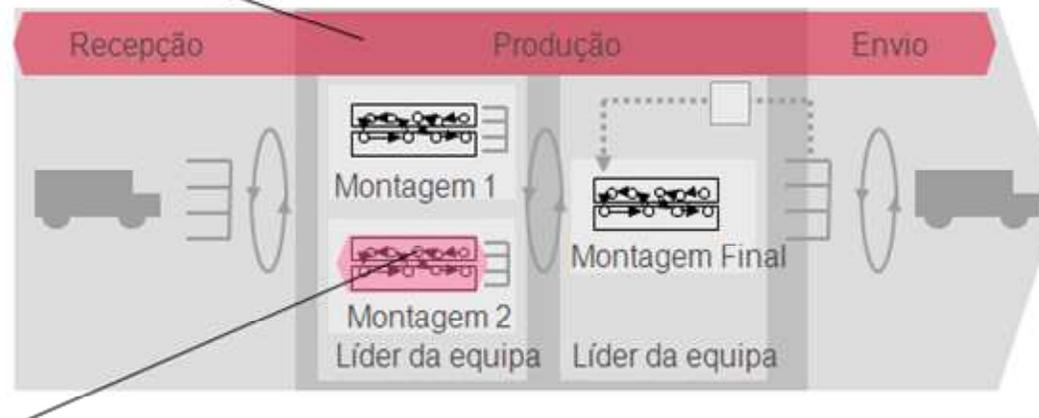


Figura 95 - Ciclo PDCA

Anexo D - Processo de melhoria contínua no BPS

O processo de melhoria contínua consiste de dois níveis: Sistema CIP e Point CIP:

**Sistema CIP: Abordagem holística para melhorar a corrente de valor completa**



**Point CIP: Focar no posto de trabalho ou linha para estabilizar e melhorar standards actuais**

Figura 96 – Definição do processo de melhoria contínua no BPS

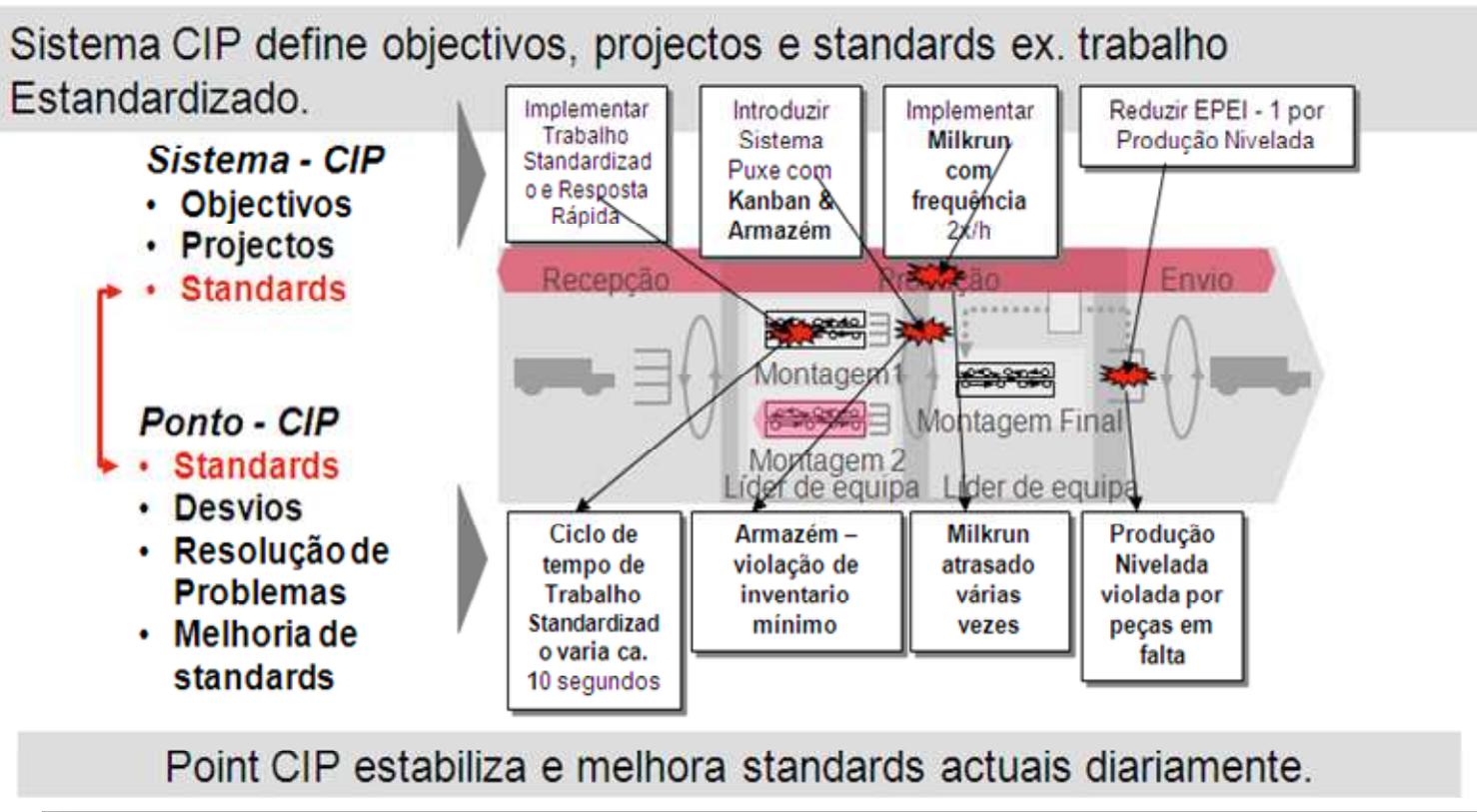


Figura 97 - Ligação entre o sistema CIP e o ponto CIP

Anexo E - Andon

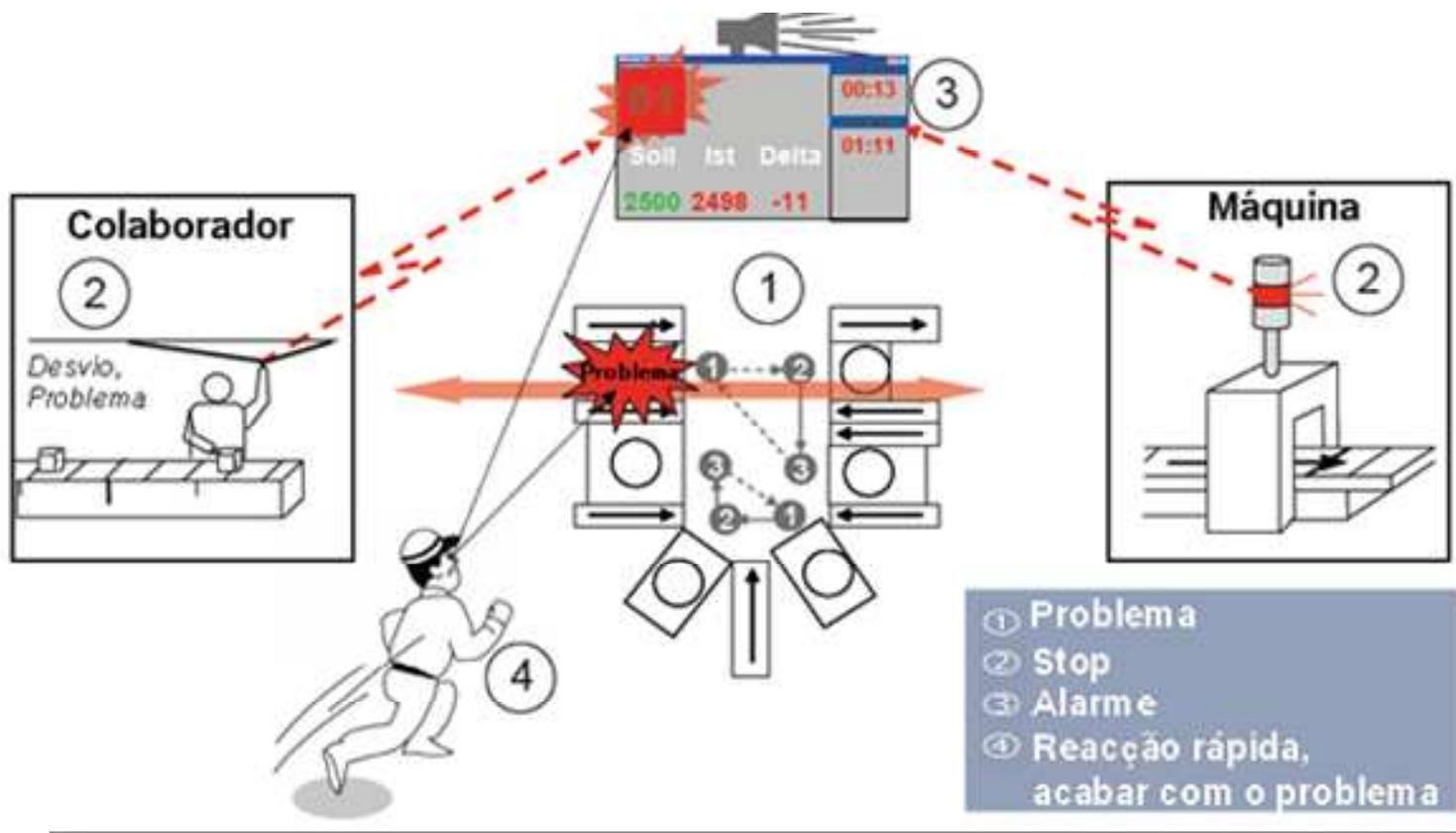


Figura 98 - Andon como catalisador da reacção rápida

## ANEXOS

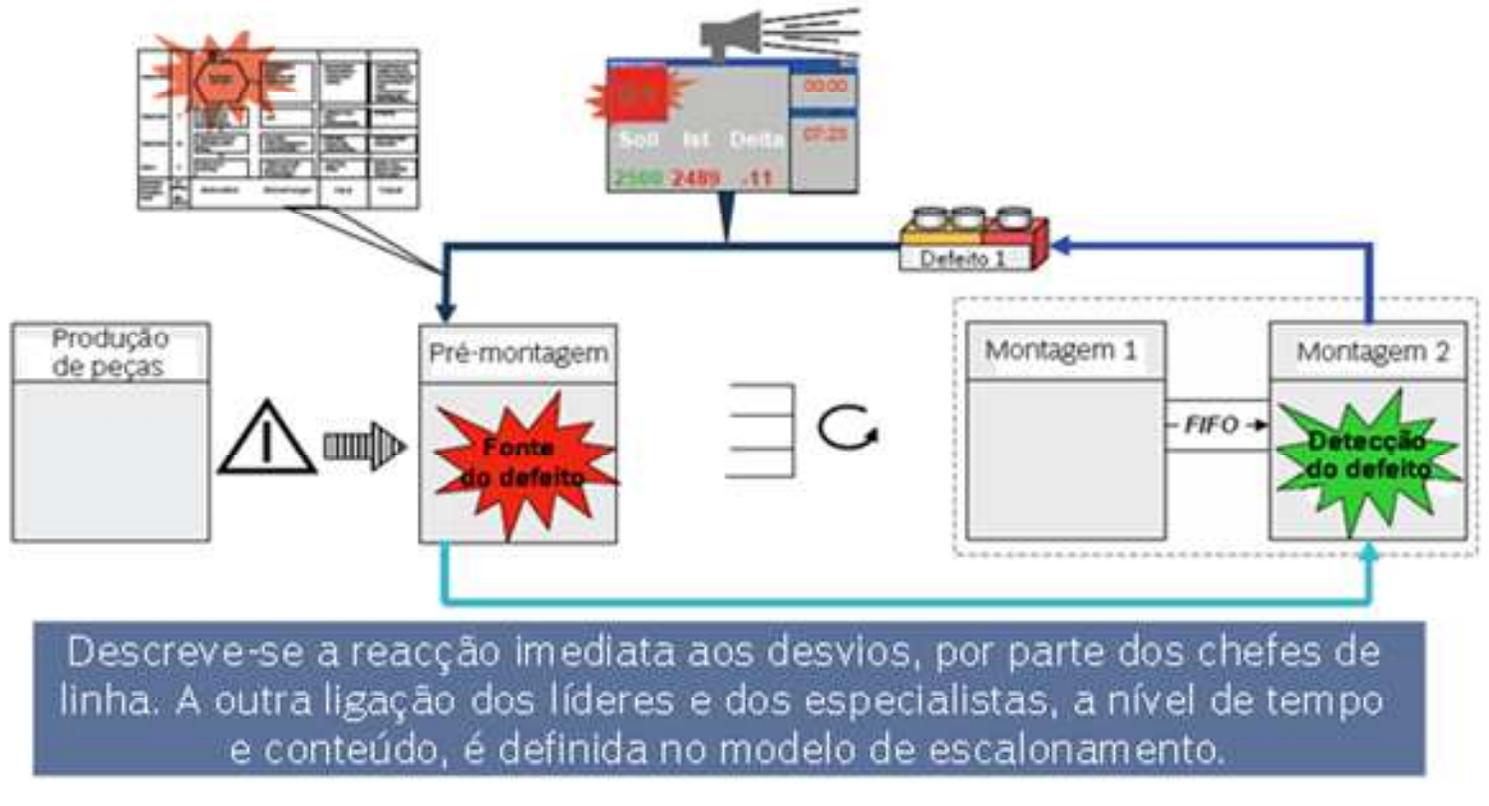


Figura 99 - Modelo de reacção e escalonamento no circuito de controlo da qualidade



ANEXOS

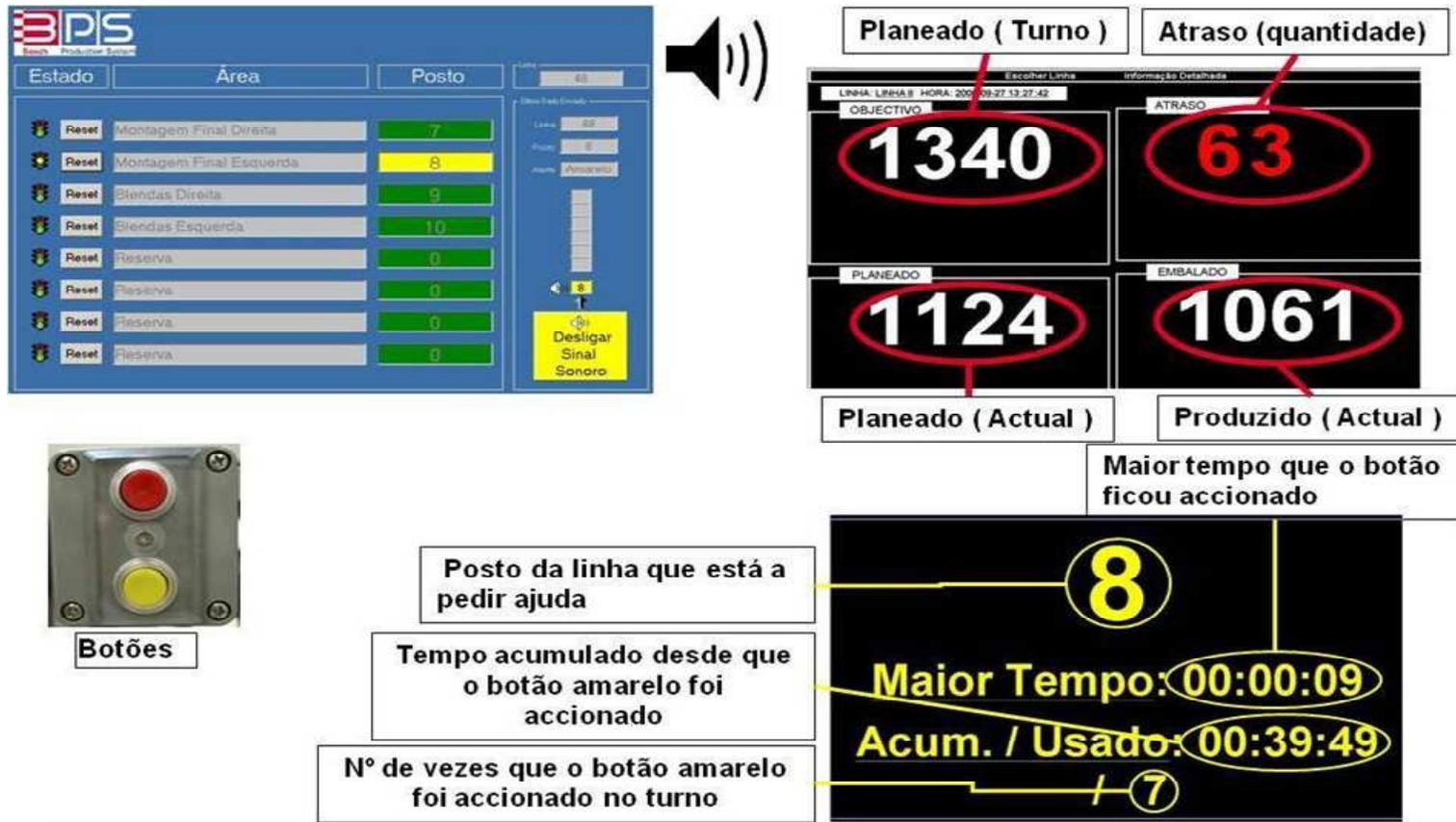


Figura 101 - Sistemática de reacção rápida implementado (visualização no Andon)

Anexo F - Análise do processo *milkrun*

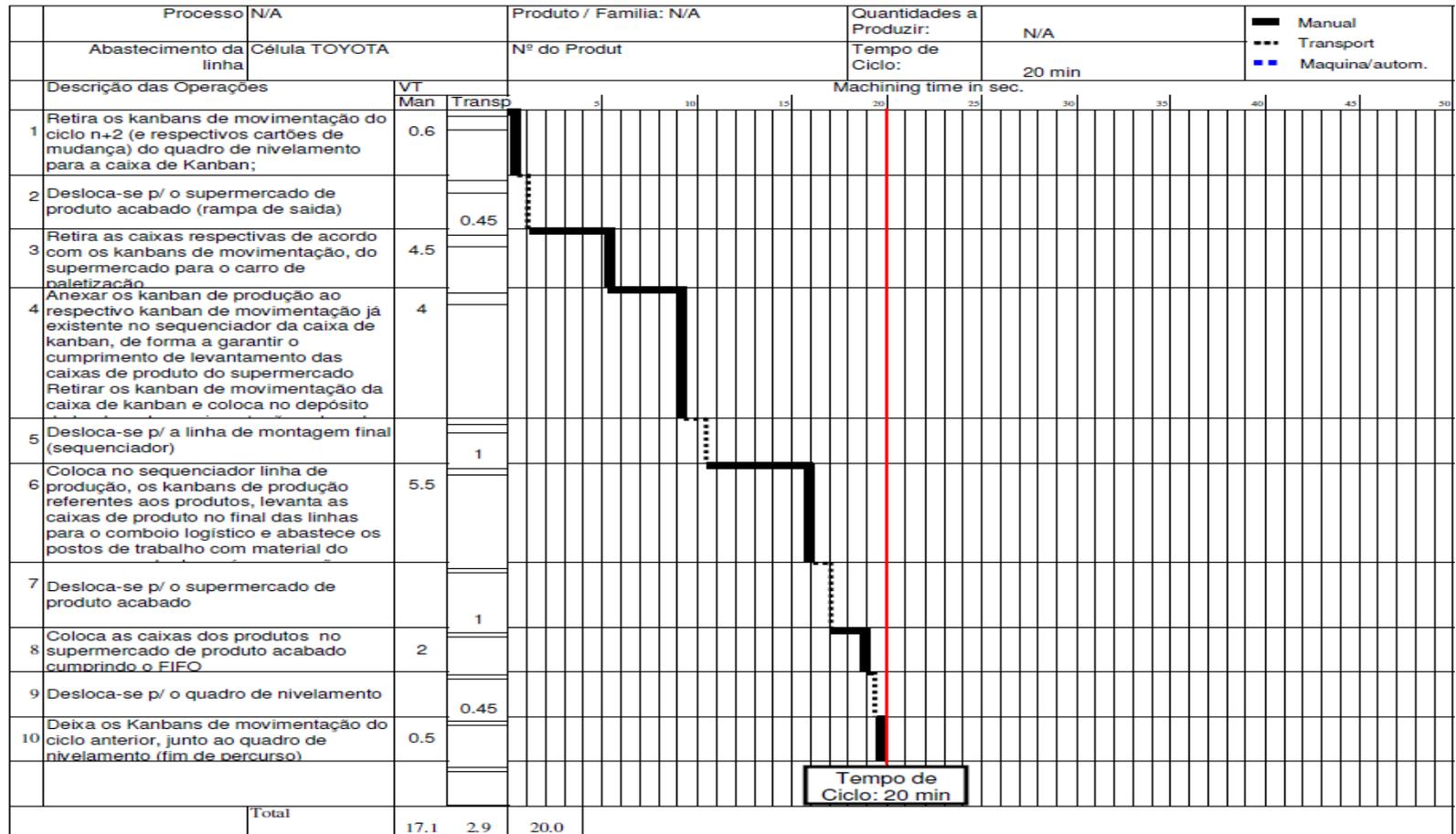


Figura 102 - Determinação do trabalho standard *milkrun* (20 minutos)

# ANEXOS

## Anexo G - Análise do processo produtivo (célula Toyota)



Figura 103 - Relação entre *takt* do cliente e tempo de ciclo planeado



## ANEXOS

Processo: Antena			Normalização das operações de trabalho [Operation Work Standardization]		Quantidades a Produzir [Quantity to produce]	De acordo com o n° de pessoas [According with number of person]
Local MOE3			Familia / N° Produto [Product]: Toyota / 7 617 300 009		Tempo de Ciclo [Cycle Time]	De acordo com o n° de pessoas [According with number of person]
Descrição das Operações [Operation]			VT	Célula de Montagem [Line Layout - Work Sequence]		
			Man			
1	Cravar isolamento [Pressing plastic injection in baseplate]	10"				
2	Cravação PCB [Crimping PCB in baseplate]	15"				
3	"Colocação da mola" [Put spring in PCB]	5"				
4	Soldar PCB [Soldering PCB]	19"				
5	Colocar copo e aparafusar [Housing assemble and screwing]	12"				
6	"Colocar mola na base" [Put prefixation in baseplate]	7"				
7	Controlo objectivo [Final control]	10"				
8	Imprimir FD no cabo [Print FD in cable]	6"				
9	Colocar anel e colocar na caixa [O-ring assembling and packaging]	14"				
<b>Total</b>		98"				
Data [Date]: 17.06.10					Responsável [Responsibility]: MotoMeter (MMPO_VR)	

Figura 105 - Sequencia de operações (*work sequence*)

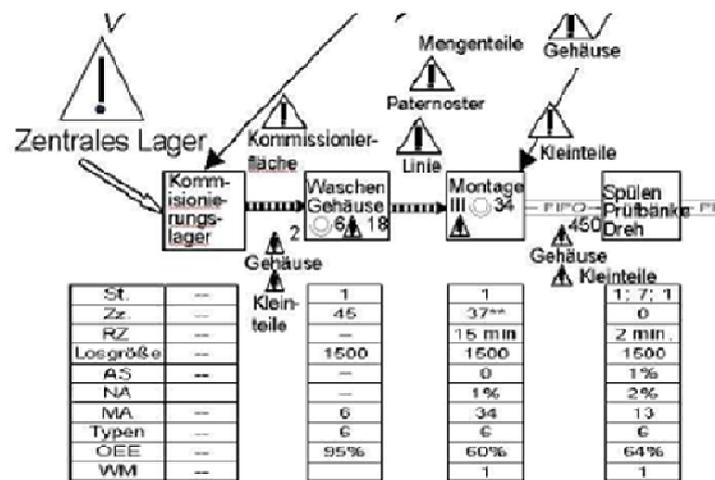
Anexo H - Nivelamento (leveling)

 GLT-Lean Logistics	Bosch Production System Standardhandbook BPS Logistics 1.0	(BSP - Strategic Supply Concept) Procurement Concept Coverage Transportation Concept Time Window Release PPS (external) Production Planning Strategic Production Control Leveling Internal Material Profit of the Product Kanban and Lagermarkta PPS (internal) Production Planning Management Shipping Process Time Window Release Transportation Process Reverse Logistics
	Standards MAKE 2.3 Leveling	SOURCE      MAKE      DELIVER

Implementation

Value stream analysis (parameter determination)

- To identify the most important parameters for the design of a leveled production system a value stream analysis (VSA) should be conducted. A detailed description delivers the BPS module "value stream analysis"



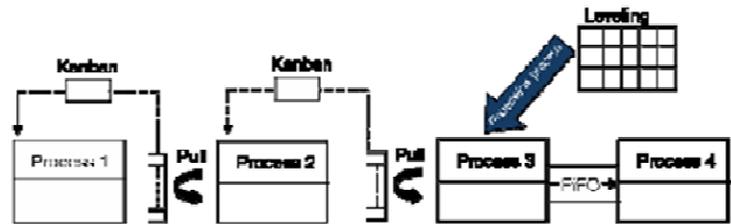
- Focal points of the VSA are:
  - depth of manufacturing
  - equipment of manufacturing effectiveness (OEE)
  - lead time
  - control methodology
  - customer fact
  - packaging (SNP)
  - changeover time
  - pacemaker process

Figura 106- Determinação de parâmetros (Value Stream Analysis)

 <b>BOSCH</b> GLT-Lean Logistics	Bosch Production System Standardhandbook BPS Logistics 1.0	Basic: Supply Concept Production Control Concept Transportation Concept Tools/Work at Source FIFO (external) Production Planning Strategies for Production Control	Leveling Kanban Systems Kanban multipointstart FIFO (internal) Production Planning Material Shipping (in work) Tools/Work at Source Transportation/Incom Reverse Log Data
	<b>Standards MAKE</b> <b>2.3 Leveling</b>	SOURCE MAKE DELIVER	

**Definition pacemaker process**

- The pacemaker process...
  - is the recipient of the leveling method
  - downstream processes are aligned directly or synchronized by FIFO, no more type variance should be produced (apart from packaging material)



- preliminary processes ideally are tied up by Kanban

**Analysis – type variety (ABC Analysis)**

- Analysis of the quantity-related type allocation according to the resource.
- Determination of high and low runners based on customer withdrawal and withdrawal interval.

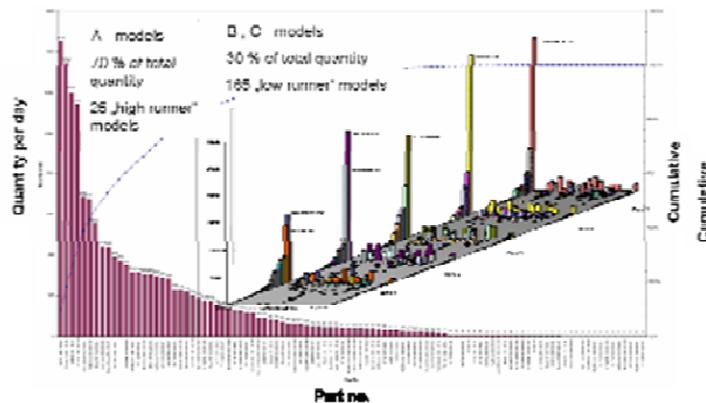


Figura 107 - Determinação do processo *pacemaker*

<b>BOSCH</b>  GLT-Lean Logistics	Bosch Production System Standardhandbook BPS Logistics 1.0  Standards MAKE 2.3 Leveling	Bosch Site-specific Concept Procurement Concept Concept Transportation Concept Time Windows Source (PSP external) Production Planning IT system for Production Control Leveling Internal Material Point of use (make) Kanban and approach of (PSP internal) Production Planning Management Shipping Process Time Windows Delivery Transportation/Proc. Reverse-Log. Proc.
		SOURCE      MAKE      DELIVER

**Analysis customer withdrawal pattern/fluctuations**

- The customer withdrawal pattern (e.g. daily, weekly) is a rough target to determine EPEI when implementing leveling. Classify types (high and low runners) in terms of volume and delivery frequency.
- Analysis of the variation in customer demand is decisive for the definition of the finished goods inventory level to get a decoupling from the customer.

- Fluctuations in customer demand can be differentiated into:
  - volume fluctuations (withdrawal volume)
  - time fluctuations (withdrawal time)

**Analysis - Planning periods**

- The leveling periods have to be adjusted in pre-defined intervals according to the fluctuations in customer demand. It should be differentiated between:
  - planning horizon - long-term consideration (conjunction with delivery preview, model determination based on resources/capacities, OEE calculation and procurement planning)
  - leveling periods - short-time consideration (calculation of kanban-cycles, determination of lot-size)
- A short leveling period should be chosen at first. It can be expanded depending on the maturity of the system (safety of planning).

Figura 108 - Análise da flutuação do cliente

 <b>BOSCH</b>  GLT-Lean Logistics	Bosch Production System Standardhandbook BPS Logistics 1.0	Back-Shop & Supply Concept Inventory Control Concept Transportation Concept Time to Make & Source EPEI (external) Production Planning Strategy for Production Control
	Standards MAKE 2.3 Leveling	Leveling Internal Material Lot or size of make Sublot and shipment of P2P (internal) Production Planning Maintenance Shipping Process Time to Make & Deliver Transportation Process Revenue Log Price
		SOURCE <b>MAKE</b> DELIVER

**Definition of lot size (details)**

- Change over times are decisive for the determination of the EPEI. Depending on the present conditions the approach can be defined differently:
  - Definition of lot size according to production condition - the time frame that enables leveling with respect to the current change over times and loss due to interruptions. Leveling can be launched immediately.
  - Definition of lot size as a target to change production condition adjustments - defining an EPEI target allows determination of targeted change over times and targeted OEE (case study in chapter "methods"). An improvement process has to be done at first in order to launch leveling.
- The lot-size is the result of EPEI calculation. It must be taken into account, that the lot-size is a multiple of a transport unit.
- The target of the lot size definition is to manufacture each type each day (min. EPEI = 1).

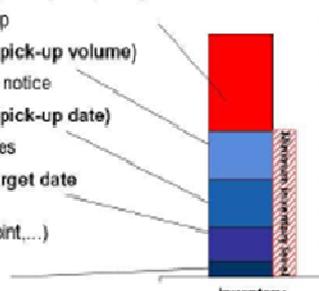
**Definition of finished goods inventory**

**Make – Leveling - Implementation**

**Definition of finished goods inventory**

A condition for the decoupling of the customer is a defined EZ inventory level - consisting of:

- ➔ accumulated stock depending on pick-up frequency  
e.g. daily production - weekly pick-up
- ➔ fluctuations in customer demand (pick-up volume)  
increase in pick-up volume on short notice
- ➔ fluctuations in customer demand (pick-up date)  
implicit pick-up dates or time frames
- ➔ production target date - delivery target date  
throughput time, delivery process  
(transport, shipping documents, i-point,...)
- ➔ process disturbances




 23     
 
 Methoden | OOST-UPIC | 22.05.2018 | 18.05.2018  
 Werkzeuge für die Logistik | 18.05.2018



Figura 109 - Determinação do tamanho de lote

Anexo I - Determinação do supermercado

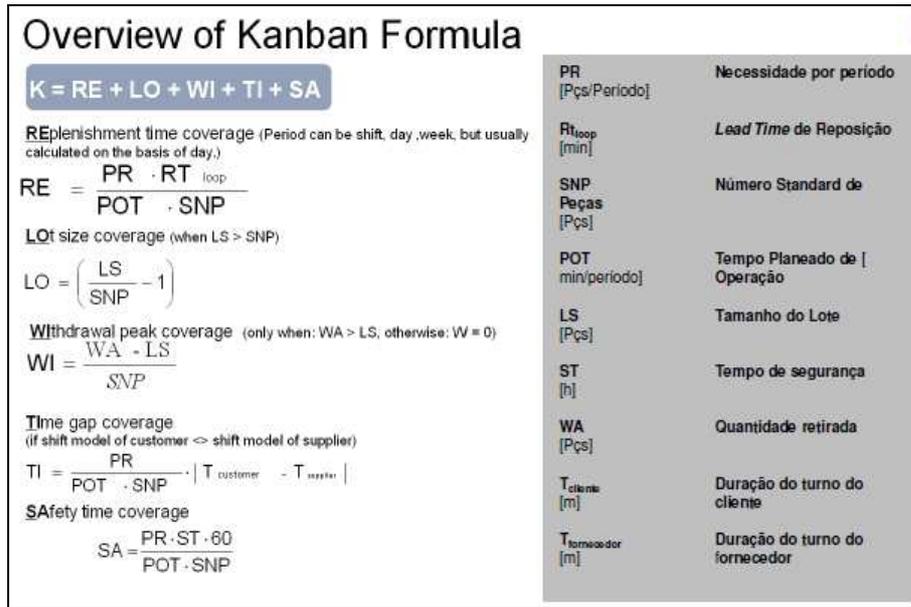


Figura 110 – Detalhe da fórmula de cálculo *kanban*

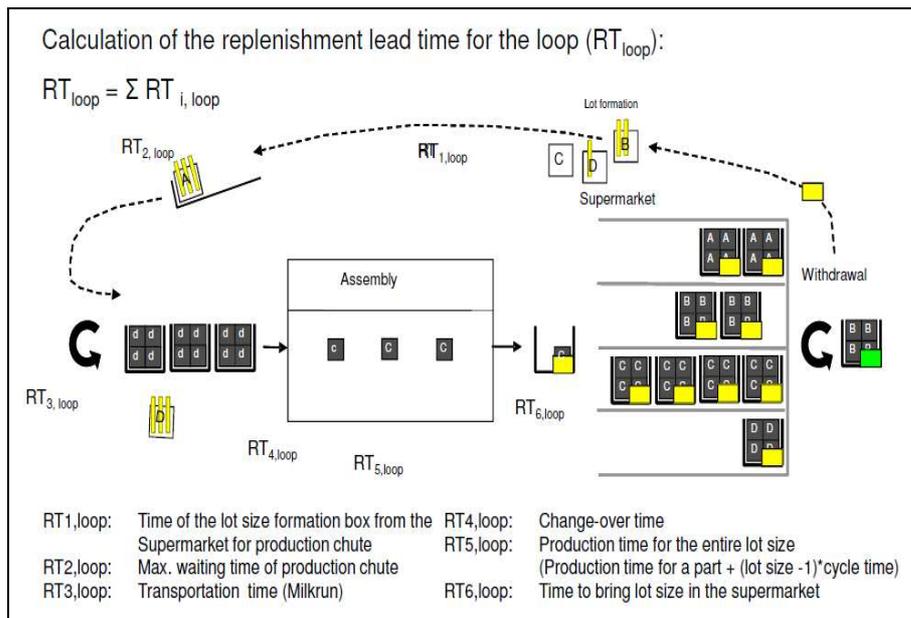


Figura 111 - Cálculo do tempo de reposição (*replenishment lead time*)

## ANEXOS

Material	Material Plant View	Volume máximo (Kanban)	Qty/cx (un)	Tipo cx	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Largura fila normalizada (cm)	Altura (cm)	Sobreposição cx	Largura SM (cx em largura)	Qty cx/Fila	Nº filas	Comprimento necessário (cm)	Nº roletes
7617300009	Linha1	48	24	KLT6280	40	29.5	42	12	3	7.00	21.00	3	126.06	12
7617300041	Linha1	33	24	KLT6280	40	29.5	42	12	3	7.00	21.00	2	84.04	8
7617300042	Linha1	33	24	KLT6280	40	29.5	42	12	3	7.00	21.00	2	84.04	8

	Dimensão extra	2.00		
	Roletes/fila	4.00	un	
	Largura SM:	200.00	cm	
	Comprimento SM:	294.14	cm	
	Área	5.88	m <sup>2</sup>	
	Separador	0.02	m	

Figura 112 - Calculo detalhado do dimensionamento do supermercado de produto acabado

## FIFO Abastecimento

Abastecer sempre da direita para a esquerda (visto pelo lado do abastecimento)

No caso de haver mais que 2 canais para a mesma referência::

Se 1 deles tiver material e 2 vazios, faz-se o abastecimento pelo canal vazio que estiver à esquerda do que tiver material

Se 1 deles tiver cheio, 1 incompleto e 1 vazio, faz-se o abastecimento a começar pelo canal vazio



a) Abastecer pelo corredor vazio à esquerda do que tiver material,



b) Quando o condutor estiver cheio passar para o corredor à esquerda, como este está completo abastecer o próximo à esquerda



c) O picking é feito pela seguinte ordem

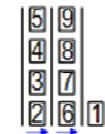


## FIFO Levantamento (*Picking*)

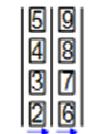
Começar o levantamento sempre pelo canal que estiver aberto

Fazer o levantamento sempre da esquerda para a direita (tal como indica na chapa "FIFO")

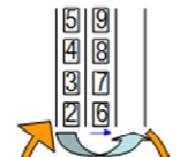
Se o canal de onde se está a fazer o levantamento for o mais à direita, quando o canal ficar vazio passa-se para o canal à direita deste, isto é, o mais à esquerda.



a) Retirar caixa nº 1 (canal aberto)



b) Retirar seta do corredor à direita



Sentido do Picking

Canal à direita do mais à direita é o mais à esquerda

c) O picking é feito pela seguinte ordem



Figura 113 - Norma FIFO (*First IN First Out*)

# ANEXOS

## Anexo J - Modelo de simulação

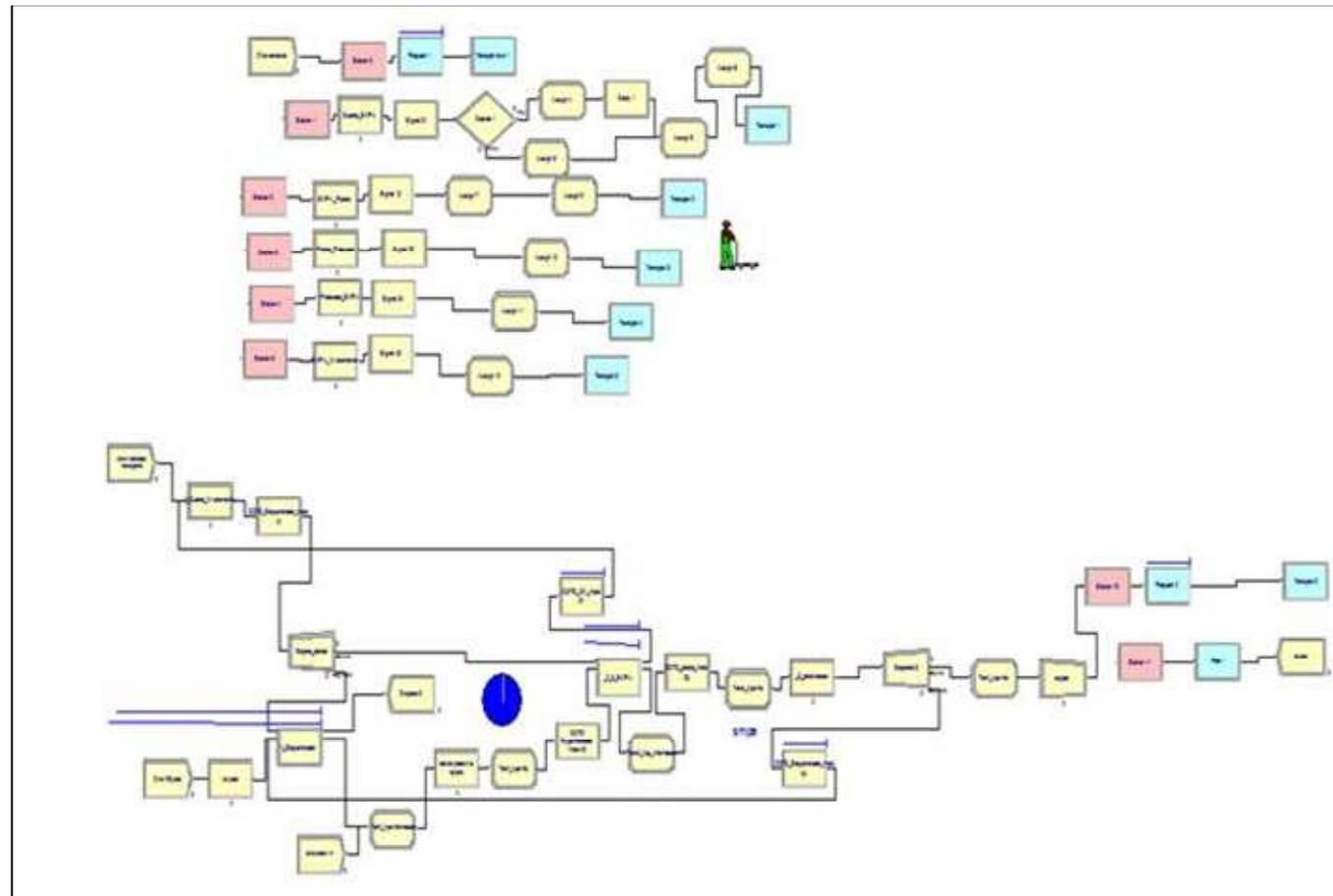


Figura 114 - Modelo de simulação criado