



**“Sistema de Produção *Pulp*” realizado na  
*Bosch Car Multimedia Portugal***

*João Heitor Cunha Serra Guichard*

**Relatório do Projecto Curricular do MIEIG 2008/2009**

Orientador na FEUP: Prof. José Barros Basto

Orientador na *Bosch Car Multimedia Portugal*: Engenheiro Luís Lobo



**FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2009-07-02

*“Change has a considerable psychological impact on the human mind. To the fearful it is threatening because it means that things may get worse. To the hopeful it is encouraging because things may get better. To the confident it is inspiring because the challenge exists to make things better.”*

***King Whitney Jr.***

## Resumo

O projecto em causa prende-se com uma temática recorrente no sector industrial: a implementação da filosofia *TPS* (*Toyota Production System*), mais especificamente, o sistema de produção *Pull*, em detrimento do clássico sistema de produção *Push*.

Aquando da fase inicial do projecto, a empresa encontrava-se num estado de desacreditação face à filosofia *Pull*, tendo em conta uma experiência anterior de implementação falhada. O objectivo inicial do projecto seria analisar os problemas nos fluxos de informação e materiais no *gemba* (no local), encontrar as causas dos mesmos, para levar a cabo planos de acção que visassem a melhoria dos processos, mantendo sempre presente o objectivo fundamental, que era reunir condições para a implementação do sistema *Pull*, num futuro próximo.

Para isso, realizou-se um teste piloto numa das linhas de produção, onde se implementou o uso de cartões *Kanban* para controlar a produção, para assim medir desvios e isolar as causas dos mesmos. Foram desenvolvidas três ferramentas que visaram resolver alguns destes problemas: propôs-se uma reformulação do cálculo do número de *Kanbans* de acordo com as normas *BPS* (*Bosch Production System*); elaborou-se um algoritmo de afectação automática das posições do supermercado às necessidades mensais de cada referência produzida e, por fim, foi criada uma ferramenta para fazer previsões das necessidades de matérias-primas, actualizada em tempo real, de acordo com a produção efectiva da fábrica.

No final deste projecto, revelou-se optimismo quanto ao seu futuro próximo, destacando-se a motivação da equipa para resolver os problemas que se vão colocando, tendo em conta que se deram passos importantes para a revitalização da filosofia *Pull*, como foi o caso da implementação do sistema híbrido (*Pull* para referências “A”s e *Push* para referências “C”s), numa das linhas da fábrica, que servirá de “projecto-piloto” para provar a viabilidade do conceito na *Bosch Car Multimedia Portugal*.

**Palavras-chave:** Kanbans, Supermercado de Produto Acabado, Milkruns, Planeamento de Produção, Sistema *Pull*, Sistema *Push*, *Toyota Production System*;

## **“Pull Production System” in *Bosch Car Multimedia Portugal***

### **Abstract**

This project relates to the known theme in industrial engineering: the implementation of the TPS (Toyota Production System) philosophy, in particular, the Pull Production System contrasting with the traditional Push Production System.

At the beginning of the Project, the Pull System wasn't believed due to an previous failed attempt at implementing it. The initial goal of this project was to analyze the problems in the information and material flows through the shop floor, to find their roots, so that proper actions would be taken to solve those problems, with a continuous improvement philosophy, aiming a future implementation of the Pull Production System, as the main goal.

For this, a test was developed in one of the production lines, with the goal of forcing the use of the *Kanban* cards to control the production, in order to make it easier to analyze those problems. Three tools were created to fix, or at least improve, some of those subjects: it was proposed a new calculation of the number of the *Kanbans*, according the *BPS (Bosch Production System)*; an algorithm was elaborated to define the positions of each reference on the supermarket of finished goods according to the monthly needs and it was created a tool to make predictions based on real-time information of the actual production of the factory to adjust the needs of raw-materials preparation.

At the end of this project, some optimism was revealed, mainly due to the motivation of the team involved to fix the problems. Some important steps were taken in the direction of the Pull philosophy revitalization, with the implementation of the hybrid system (Pull to “A” references and Push to “C” references), in one of the production lines, aiming to prove the viability of this concept in the *Bosch Car Multimedia Portugal*.

**Key words:** *Kanbans*, Finished Goods Supermarket, Milkruns, Production Planning, Pull System, Push System, *Toyota Production System*;

## **Agradecimentos**

Queria agradecer à *Bosch Car Multimedia Portugal* pelas excelentes condições proporcionadas para a realização deste projecto, assim como a todos os colaboradores que, directa ou indirectamente, contribuíram para o seu sucesso, nomeadamente aos colaboradores dos departamentos *MOE1*, *BPS*, *LOG* e *MOE2*.

Gostava de destacar o esforço do meu orientador, o Eng. Luís Lobo, assim como alguns meus colegas, entre os quais: o Rolando Ferreira, o Bruno Costa, o Francisco Vieira e o André Gonçalves.

Queria também deixar uma nota de agradecimento ao Prof. Barros Basto pelo desempenho activo da função de orientador da FEUP.

Por fim, não podia deixar de agradecer à minha família, à minha namorada e aos meus amigos por todo o apoio que me deram ao longo deste desafio.

## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	2
1.1	A empresa: <i>Bosch Car Multimedia Portugal</i> .....	2
1.1.1	História .....	2
1.1.2	O Presente .....	2
1.1.3	Princípios, Valores e Organização .....	2
1.2	O Projecto na <i>Bosch Car Multimedia Portugal</i> .....	3
1.3	Sistema <i>Push</i> vs Sistema <i>Pull</i> .....	3
1.4	Organização da Tese e Evolução do Projecto .....	3
2	Estado de Arte.....	5
2.1	Sistema de Produção <i>Push</i> .....	5
2.2	Sistema de Produção <i>Pull</i> .....	5
2.3	Introdução à filosofia Bosch Production System .....	8
2.4	Cálculo do número de <i>Kanbans</i> .....	9
3	Apresentação do Caso de Estudo .....	15
3.1	Processo Produtivo na <i>Bosch Car Multimedia Portugal</i> .....	15
3.2	Fluxos de Materiais e de Informação entre a Inserção Automática e a Montagem Final .....	17
3.3	O actual Processo de Planeamento.....	23
3.4	Ineficiências do Processo de Planeamento.....	23
4	Soluções desenvolvidas.....	26
4.1	Subprojecto: Automatização do Supermercado de Produto Acabado .....	26
4.2	Subprojecto: Reformulação do cálculo do número de <i>Kanbans</i> .....	33
4.3	Subprojecto: Planeamento da Preparação de Fases .....	39
4.4	Subprojecto: Acompanhamento dos testes na linha <i>SMD20</i> .....	42
5	Conclusões Finas e Perspectivas Futuras.....	46
5.1	Conclusões Finais.....	46
5.2	Perspectivas Futuras.....	47
6	Referências e Bibliografia .....	48
ANEXO A:	Diagrama de <i>Gantt</i> do Projecto .....	50
ANEXO B:	<i>Layouts</i> da Inserção Automática e da Montagem Final .....	53
ANEXO C:	Definição e Cálculo do <i>OEE</i> ( <i>Overall Equipment Efficiency</i> ) .....	56
ANEXO D:	Amortecimento Exponencial – Método Linear de <i>Holt</i> .....	59

**Índice de Ilustrações**

Ilustração 1 – Diagrama de <i>Gantt</i> do Projecto .....	4
Ilustração 2 – Diagrama representativo de um Sistema <i>Push</i> .....	5
Ilustração 3 – Diagrama representativo de um Sistema <i>Pull</i> .....	6
Ilustração 4 – <i>Heijunka Box</i> .....	7
Ilustração 5 – Diagrama representativo do Sistema <i>CONWIP</i> .....	8
Ilustração 6 – Fórmula <i>BPS</i> para o nº de <i>Kanbans</i> .....	11
Ilustração 7 – Legenda da fórmula <i>BPS</i> .....	12
Ilustração 8 – Diagrama representativo do <i>Lead Time</i> de reaproveitamento .....	13
Ilustração 9 – Diagrama representativo do Fluxo de Materiais.....	15
Ilustração 10 – Exemplos de um Componente <i>SMD</i> (à esquerda) e de um Componente Radial (à direita).....	16
Ilustração 11 – <i>Layout</i> do Piso 2 .....	17
Ilustração 12 – <i>Layout</i> do Piso 1 .....	18
Ilustração 13 – Diagrama do Fluxo de Materiais entre a Inserção Automática e a Montagem Final.....	19
Ilustração 14 – Fotografia da Caixa (à direita, em cima) e da Régua Horária (em baixo).....	20
Ilustração 15 – Diagrama do Fluxo de Informação entre a Inserção Automática e a Montagem Final .....	21
Ilustração 16 – <i>Value Stream Map</i> da <i>Bosch Car Multimedia Portugal</i> em 2008 .....	22
Ilustração 17 – Problemas levantados no <i>Workshop</i> .....	24
Ilustração 18 – Lista organizada dos Problemas levantados .....	25
Ilustração 19 – Fotografia do Supermercado de Produto Acabado .....	26
Ilustração 20 – Diagrama da ordem de preenchimento das estantes no supermercado.....	27
Ilustração 21 – Diagrama exemplificativo sobre os dois métodos de preenchimento.....	28
Ilustração 22 – Excerto da Lista de Necessidades do Supermercado .....	29
Ilustração 23 – Controlo das Necessidades do Supermercado .....	29
Ilustração 24 – Secção de um <i>Layout</i> criado pelo algoritmo.....	29
Ilustração 25 – Diagrama representativo do funcionamento do algoritmo “2-Opt” .....	30
Ilustração 26 – Ferramenta geradora de etiquetas – cada conjunto de 8 folhas dá origem a 40 referências ordenadas, com apenas 5 cortes .....	32
Ilustração 27 – Exemplo das Listas Criadas com a nova ferramenta .....	33
Ilustração 28 – Excerto da nova ferramenta para o cálculo do número de <i>Kanbans</i> .....	34
Ilustração 29 – Automatização da procura dos Tempos de Ciclo .....	35
Ilustração 30 – Cálculo de Ocupação das Linhas .....	35

Ilustração 31 – Cálculo dos elementos da fórmula <i>BPS</i> para o cálculo do número de <i>Kanbans</i> .....	36
Ilustração 32 – Excerto do histórico de <i>OEE</i> 's e respectiva análise estatística.....	37
Ilustração 33 – Análise de desvios do consumidor .....	38
Ilustração 34 – Exemplo de uma previsão da variação do consumo .....	38
Ilustração 35 – Excerto da informação proveniente dos lançamentos dos operadores .....	40
Ilustração 36 – Exemplo da informação proveniente do <i>ANDON</i> em tempo real.....	40
Ilustração 37 – Sequenciador da Produção.....	41
Ilustração 38 – Diagrama de <i>Gantt</i> do Sequenciador da Produção .....	41
Ilustração 39 – Modelo proposto para planeamento da preparação de fases.....	42
Ilustração 40 – Modelo de Planeamento da linha <i>SMD20</i> .....	44
Ilustração 41 – Futuro Modelo de Planeamento da linha <i>SMD20</i> .....	45



# 1 Introdução

## 1.1 A empresa: *Bosch Car Multimedia Portugal*

### 1.1.1 História

As origens da *Bosch Car Multimedia Portugal* remontam a 1990, ano em que a fábrica, localizada em Braga, iniciou a sua actividade, sob o nome de *Blaupunkt – Auto-rádio Portugal Lda*. A *Blaupunkt* era uma subsidiária do grupo alemão BOSCH até Dezembro de 2008, quando a marca foi adquirida pela *Aurelius AG*, passando a empresa a denominar-se *Bosch Car Multimedia Portugal*.

Ao longo da sua história, a *Blaupunkt* teve uma forte afirmação no mercado, valorizando a inovação e optimização de processos através de uma mão-de-obra qualificada, com o objectivo de melhorar constantemente os seus produtos, tornando-se assim uma referência mundial no sector electrónico e um modelo de excelência em termos de orientação para o cliente e gestão de processos.

### 1.1.2 O Presente

Actualmente a *Bosch Car Multimedia Portugal* conta com cerca de 1700 colaboradores, numa área total de cerca de 66000 m<sup>2</sup>, sendo que 34574 m<sup>2</sup> estão confinados exclusivamente à produção. A produção consiste, na sua grande maioria, em auto-rádios para a indústria automóvel, tendo como clientes praticamente todos os principais produtores mundiais do sector, como por exemplo: *Volkswagon, Fiat, Nissan, Audi, BMW, Ford, Renault, Opel, Skoda, Alfa Romeu, Mini, Peugeot*, entre outras. A estratégia da empresa, principalmente num passado próximo, passou por procurar diversificar a produção, o que se provou vir a ser uma decisão acertada. Neste momento a *Bosch Car Multimedia Portugal* também se destaca pela produção de componentes para a indústria de termotecnologia, nomeadamente para sistemas de controlo de esquentadores e caldeiras, assumindo nos dias de hoje uma quota bastante importante na facturação da empresa.

A *Bosch Car Multimedia Portugal* é, na actualidade, a maior fábrica de produção de auto-rádios na Europa, e lidera as vendas do sector no mercado Europeu.

### 1.1.3 Princípios, Valores e Organização

A *Bosch Car Multimedia Portugal* tem como visão ser uma empresa de referência mundial no sector electrónico e actuar como modelo de excelência na orientação para o cliente e na gestão por processos. Para isso incentiva os seus colaboradores no seu trabalho

diário, valorizando as suas competências para que desta forma possam ultrapassar as expectativas do cliente e melhorar a rentabilidade da empresa.

A empresa encontra-se organizada de acordo com uma estrutura departamental, que se divide em duas grandes áreas: a área Técnica e a área Comercial. O departamento onde está inserido o projecto é o *MOE1*, mais especificamente o *MOE18*, que está inserido na área Técnica. Esta subsecção é responsável, entre outras actividades, pelo apoio, planeamento e controlo da produção na *Mini-Factory 1*.

## **1.2 O Projecto na *Bosch Car Multimedia Portugal***

Depois de uma implementação da filosofia *Pull* na fábrica num passado próximo, verificou-se que um conjunto de problemas impediu que o seu funcionamento fosse o desejado, daí que a filosofia tenha sido abandonada e desacreditada.

O projecto em questão tem como principal objectivo a detecção e resolução dos problemas que levaram ao falhanço da implementação da filosofia *Pull*, já que, devido à complexidade do processo produtivo em questão, a fase de implementação da filosofia em si deve ser vista como um horizonte, tendo em conta o tempo disponível.

## **1.3 Sistema *Push* vs Sistema *Pull***

A investigação científica realizada, relacionada com o projecto, recai principalmente sob uma temática bastante abordada na área de *Operations Management*: por um lado o sistema clássico de produção *Push*, de produção empurrada ao longo da cadeia com base em previsões de encomendas e conseqüente desdobramento em necessidades de produção, e, por outro, o sistema de produção *Pull*, orientado para e pelo cliente, puxando a produção de acordo com a procura real.

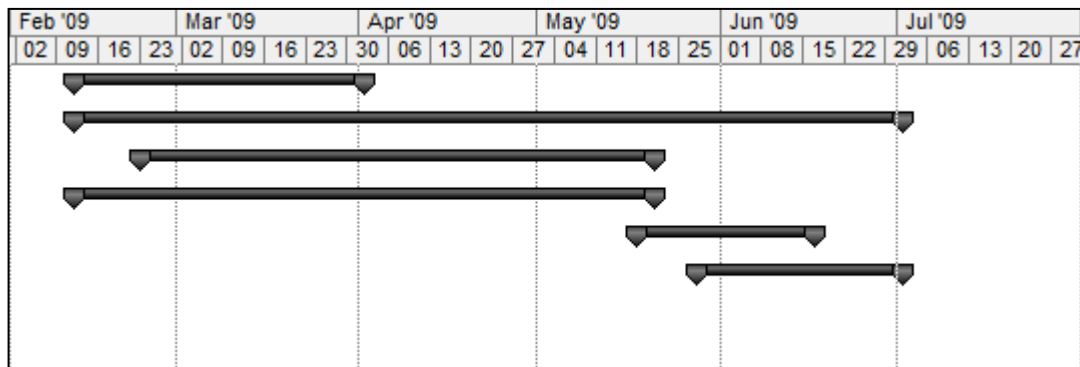
Um factor importante a ter em conta é o facto de a empresa em questão pertencer a um grupo que impõe as suas próprias regras e filosofias produtivas. Portanto, neste caso, a implementação do sistema de produção *Pull* não é apenas essencial, mas também obrigatório.

## **1.4 Organização da Tese e Evolução do Projecto**

Quanto à estrutura organizacional da tese, pode-se destacar, na próxima secção, a análise científica do projecto (estado de arte). De seguida apresenta-se, de forma detalhada, os problemas que se pretendem resolver com o projecto em questão, assim como os respectivos resultados obtidos e correspondentes metodologias utilizadas. Por fim, apresentam-se as conclusões alcançadas e são traçados os possíveis caminhos a seguir no futuro.

Para terminar esta secção, apresenta-se uma versão resumida da evolução do projecto através de um Diagrama de *Gantt*. A versão completa do diagrama pode ser consultada no anexo “A”.

	Task Name	Duration	Start	Finish
1	⊕ Integração na Bosch BrgP	37 days?	Thu 12-02-09	Wed 01-04-09
4	⊖ Projecto: Sistema de Produção Pull	103 days?	Thu 12-02-09	Wed 01-07-09
5	⊕ Subprojecto: Automatização do Supermercado de Produto Acabado	65 days?	Mon 23-02-09	Wed 20-05-09
21	⊕ Subprojecto: Reformulação do cálculo do número de Kanbans	73 days?	Thu 12-02-09	Wed 20-05-09
37	⊕ Subprojecto: Planeamento da preparação de Fases	22 days?	Mon 18-05-09	Tue 16-06-09
42	⊕ Subprojecto: Acompanhamento dos testes na linha SMD20	25 days?	Thu 28-05-09	Wed 01-07-09

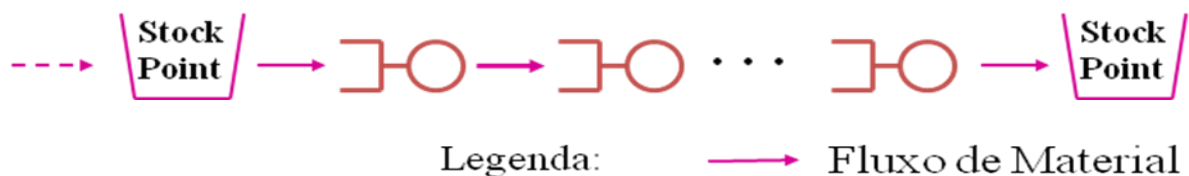


**Ilustração 1 – Diagrama de *Gantt* do Projecto**

## 2 Estado de Arte

### 2.1 Sistema de Produção *Push*

O Sistema de Produção *Push*, mais conhecido como sistema de produção clássico, ou tradicional, é caracterizado por uma produção baseada numa previsão de procura final. A denominação *Push* está relacionada com o facto de que neste sistema produtivo, no seu estado puro, quando uma operação termina, o output dessa operação é empurrada para a seguinte, e assim sucessivamente, como se pode observar na imagem seguinte.



**Ilustração 2 – Diagrama representativo de um Sistema *Push***

O sistema *Push* está, nos dias de hoje, profundamente ligado a uma ferramenta denominada *MRP* (*Material Requirement Planning*). O *MRP* é um sistema computadorizado de controlo de inventário, e produção, que possibilita o cálculo das necessidades dos diversos tipos de materiais que são essenciais aos processos produtivos, com base nas encomendas e em previsões de vendas.

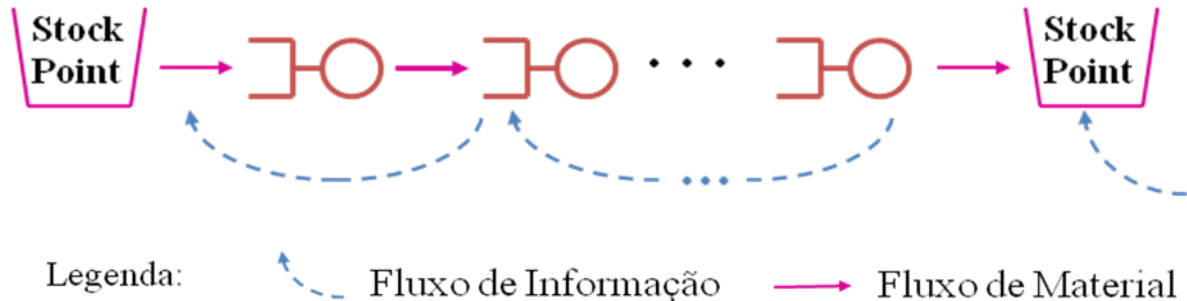
Como este sistema produtivo tem por base previsões de vendas, é muito susceptível de erros, já que nenhuma previsão é correcta. Esse erro, aliado ao facto da ênfase ser dada na entrada do processo, origina todo um conjunto de desperdícios ao longo da cadeia sob a forma de stocks, que são minimizados na filosofia *Pull*. Como resultados imediatos da filosofia *Push* podem-se destacar a utilização ineficaz (habitualmente precipitada) dos recursos, a gestão por “combate aos fogos” e os elevados níveis de stocks ao longo do processo produtivo e o conseqüente desperdício através de falta de flexibilidade, aumentos dos tempos de entrega e problemas de qualidade.

### 2.2 Sistema de Produção *Pull*

O sistema de produção *Pull*, ao contrário do sistema *Push*, anteriormente descrito, é accionado pelo cliente, ou seja, pela saída do processo produtivo, com base nos consumos reais dos consumidores. Este conceito está integrado numa filosofia conhecida por *Toyota Production System*.

Este sistema de produção foi desenvolvido com o objectivo de combater as ineficiências do sistema de produção *Push*. O seu funcionamento consiste num fluxo de informação

paralelo ao fluxo de materiais, mas no sentido oposto, sob a forma de algum tipo de símbolo visual, denominado *Kanban*.



### Ilustração 3 – Diagrama representativo de um Sistema *Pull*

Deste modo pode perceber-se que, na realidade, a ênfase é dada no fim da cadeia, já que é onde é lógico accionar o processo produtivo para se conseguir produzir exactamente o que o cliente precisa, ao ritmo exigido. Como se pode observar na figura anterior, num sistema puro de *Pull*, cada posto puxa o posto precedente, num efeito em cadeia, até ao início do processo. Como características imediatas que se podem apontar a este sistema, destacam-se a facilidade de controlo do *WIP* (*Work in Process* - stock com valor acrescentado) e a dificuldade de implementação de um fluxo de informação fiável e transparente, fluxo este que é o principal alvo de estudo do projecto em questão.

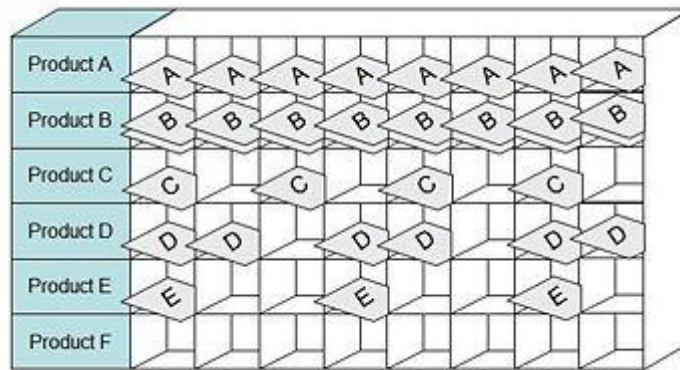
Há que salientar que os stocks geram custos elevados, por diversas razões, como por exemplo sob a forma de defeitos de qualidade, ou sob a forma de *lead times* (métrica que representa o tempo que demora um produto a ser produzido) elevados e conseqüente falta de flexibilidade perante os clientes. Com a utilização do princípio de *Pull*, não só a produção, mas também a Logística, só são activados na cadeia de valor quando a encomenda do cliente é realizada, para assim se conseguir sincronizar a Produção com a Logística e com o “ritmo” do cliente. Uma outra grande vantagem deste sistema consiste na introdução de sistemas transparentes e auto-regulados, com o objectivo de facilitar o planeamento e o controlo de produção e evitar a gestão de “combate aos fogos” clássica do sistema *Push*, optando-se por sistemas de gestão visual intuitiva.

Dentro do sistema de produção *Pull* existem diversas nuances, além de algumas variantes, que se aprofundam de seguida.

Dentro do sistema puro de *Pull*, podem-se destacar três tipos diferentes. Em primeiro lugar há que destacar o sistema mais básico e mais usado de *Pull* actualmente: *Pull* de Supermercado (também conhecido por “*Pull* tipo A”). Neste sistema pressupõe-se a existência de um *buffer* no fim do processo, ou da etapa produtiva (supermercado) que armazena uma determinada quantidade de cada produto, de maneira a que a produção anterior a este *buffer* só trabalhe para repor o que é consumido no supermercado. Este método permite, quando bem implementado, uma fácil gestão visual dos stocks, e o seu funcionamento é relativamente simples, o que justifica o seu sucesso: quando um produto é “puxado” do

supermercado, um *Kanban* é posto em circulação, para “puxar”, por sua vez, o processo anterior. A principal vantagem deste modelo é a facilidade de uso e de implementação. Por outro lado, como principais desvantagens, encontram-se o elevado espaço necessário, e, o stock exigido, que pode ser inoportável, no caso de um elevado *mix* de produtos, assim como a falta de capacidade produtiva para manter determinados níveis de stock constantes.

Quanto ao “*Pull* tipo B”, também conhecido por *Pull* Sequencial, pode-se afirmar que é, basicamente, o correspondente ao modelo puro de *Pull*. Este modelo é bastante mais ambicioso que o modelo anterior, na medida em que minimiza ainda mais os stocks, já que os produtos são manufacturados, de uma forma completamente sequencial face ao consumo do cliente. Este sistema cria uma pressão elevada para manter os *lead times* reduzidos, o que pode ser interessante, mas também exige, ao mesmo tempo, um padrão de procura estável e uma liderança forte, tanto para manter a eficácia do processo, como para o melhorar. Uma ferramenta muito utilizada neste tipo de *Pull* é o *Heijunka Box* (imagem em baixo), que permite, de uma maneira intuitiva, ao colocar os *Kanbans* no quadro, planear a produção.



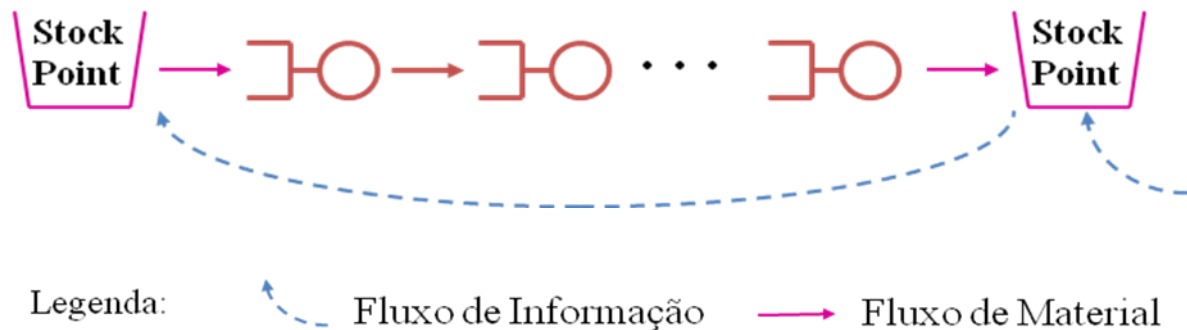
**Ilustração 4 – Heijunka Box**

Um dos pontos mais difíceis de alcançar num *Pull* Sequencial, e também intimamente ligado à temática da liderança é a necessidade de manter um fluxo perfeito ao longo do processo produtivo, ou seja, cada processo tem de produzir, em sequência, os produtos que lhe são entregues, numa ordem *FIFO* (*First-in, First-out*).

Por fim, existe ainda um “*Pull* tipo C”, também conhecido por *Pull* Misto, que funciona, basicamente, como uma mistura dos dois tipos apresentados anteriormente. Pretende-se, neste modelo, que os produtos sejam categorizados em “A”, “B”, ou “C”, de acordo, por exemplo, com o princípio de “Pareto” (80-20), face à sua frequência de produção, para depois, aplicar quer o *Pull* Sequencial, quer o *Pull* de Supermercado, selectivamente a cada tipo de produto, de modo a obter o lado positivo dos dois métodos. Este tipo de *Pull* permite obter resultados satisfatórios, mesmo em ambientes onde a procura é complexa e variada, onde os dois sistemas podem funcionar horizontalmente ao longo da cadeia, ou, pode ser usado um ou outro, pontualmente, para um determinado produto, ou num determinado ponto da sequência. Este modelo é especialmente eficiente quando grande a regra 80-20 é aplicável, mas exige, também, uma forte liderança devido às dificuldades adicionais de conduzir eventos kaizen (melhoria contínua) neste ambiente.

Além dos tipos clássicos de sistema *Pull* descritos, existem diversas variantes, entre as quais, uma se destaca: o *CONWIP* (Constant work in process), também conhecido por *Long Pull System*. Apesar do *CONWIP* ser vulgarmente considerado uma variação do *Pull*, o modelo é na verdade um híbrido dos sistemas *Push* e *Pull*, que tem como principal vantagem a facilidade de implementação.

Este modelo é bastante semelhante a um processo *Pull* puro, na medida em que só é dada uma ordem de produção quando o cliente “puxa” um produto. A grande diferença prende-se com o facto de a informação não funcionar em sentido contrário literal, de estação em estação, mas sim do fim do processo, directamente para o início, funcionando ao longo da cadeia como um sistema *Push*, na medida em que a produção é “empurrada” para a estação seguinte, só que com a vantagem de o *WIP* estar controlado, no seu todo, como se pode verificar com a imagem seguinte:



**Ilustração 5 – Diagrama representativo do Sistema *CONWIP***

Teoricamente o modelo *CONWIP* apresenta níveis de *WIP* ligeiramente mais elevados que o modelo *Pull*, mas o seu conceito, devido à sua simplicidade consegue resultados satisfatórios.

### 2.3 Introdução à filosofia *Bosch Production System*

O *BPS* (*Bosch Production System*) é baseado na filosofia *TPS* (*Toyota Production System*), filosofia esta que foi criada após os anos 50, pela mão de *Taiichi Ohno*. O departamento *BPS* na *Bosch Car Multimedia Portugal* existe precisamente para ajudar a implementar horizontalmente os princípios que regem esta filosofia no dia-a-dia da empresa. O projecto em estudo está intrinsecamente ligado a esta filosofia, daí que seja importante fazer uma pequena abordagem à filosofia em questão.

Os principais objectivos do *BPS* são:

1. Optimizar o processo de produção;
2. Reduzir os *lead times*;
3. Reduzir os custos e desperdícios em todos os processos, tornando-os mais simples, mais transparentes e flexíveis;

#### 4. Garantir a qualidade dos produtos.

Em poucas palavras pretende-se ter o produto certo, na quantidade certa e no momento certo. As actividades do *BPS* são efectuadas nos três principais segmentos que constituem a cadeia de valor da empresa:

- *Source* – ligada aos fornecedores
- *Make* – ligada à produção interna
- *Deliver* – ligada à entrega do produto final ao cliente

O *BPS* baseia-se em oito princípios fundamentais, que funcionam como uma espécie de regras estruturais, definindo a orientação dos processos e da produção.

1. Orientação ao Processo – se todos os postos de trabalho forem orientados por processo, reduzem-se os desperdícios e aumenta-se a eficácia e eficiência;
2. **Sistema *Pull*** – é apenas produzido o que o cliente solicita – o cliente é que “puxa” a produção;
3. Normalização – adoptar sempre que possível standards;
4. Qualidade Perfeita – não receber defeitos, não produzir defeitos e não enviar defeitos;
5. Flexibilidade – o cliente espera uma agilidade e capacidade de adaptação da empresa na resposta a diferentes pedidos;
6. Processos transparentes – num processo transparente todos conhecem os caminhos a seguir para atingir um dado objectivo;
7. *CIP (Continuous Improvement Point)* – melhoria contínua, processo interminável, já que nada é impossível de melhorar;
8. Envolvimento e delegação de poder nos colaboradores (*empowerment*) – a contribuição de cada um é essencial para o sucesso da empresa.

#### 2.4 Cálculo do número de *Kanbans*

Como já foi atrás referido, para a correcta implementação do sistema *Pull*, é necessário promover e controlar um fluxo de informação coerente, transparente e eficaz, ao longo da cadeia de valor, para estimular a melhoria contínua dos processos. O melhor método para isso ser conseguido é através de *Kanbans*. Tal como a origem da palavra japonesa indica (*Kan* significa “cartão” e *Ban* significa “sinal”), os *Kanbans* representam as ordens de produção, ordens estas que vão ser “puxadas” de um consumo real e efectivo dos clientes, de uma maneira simples e visualmente intuitiva.

Perante este cenário torna-se bastante óbvio que o fluxo de informação vai ser o “motor” do funcionamento do processo produtivo, e que por isso, os factores a ele associados são de extrema importância. O número de cartões *Kanban* em circuito é, obviamente, um factor crítico no funcionamento do fluxo de informação.

A literatura atentou bastante na temática do controlo do número de cartões em circuito num passado relativamente recente, o que demonstra que, em primeiro lugar, a solução óptima é realmente difícil de alcançar face a tantas variáveis e à variabilidade em questão, demonstrando também que este controlo é absolutamente vital para o funcionamento do fluxo de informação ao longo da cadeia de valor. Os objectivos, no entanto, são bastante claros: pretende-se calcular o número de *Kanbans* que, para cada produto, permita obter o mínimo *WIP* possível, atingindo ao mesmo tempo excelência na satisfação do cliente, que pode ser avaliada, por exemplo, por métricas como o *fill rate* (percentagem da procura do cliente garantida com produtos em stock).

Pode-se desde logo destacar dois tipos diferentes de abordagens a este problema: através de modelos matemáticos e através de modelos de simulação.

Quanto aos primeiros, pode-se destacar, por exemplo, o modelo proposto por *Philipoom et al. (1996)*, onde, através de um algoritmo de programação inteira, se pretende otimizar o número de *Kanbans* em circuito, assim como a dimensão dos *containers* (recipientes onde os produtos são transportados). O algoritmo em questão obtém resultados bastante satisfatórios em ambientes onde tempos de processamento e *setup* (tempo de mudança de da produção de “A” para “B”) apresentam uma variabilidade reduzida, apesar de não garantir uma solução óptima, já que recorre a uma heurística para obter uma solução inicial, aplicando-lhe de seguida uma restrição de custo. Outros modelos baseados em programação linear inteira como o de *Bitran & Chang (1987)* consideram fixos os tamanhos dos *containers* e determinam os números de cartões de circulação, assim como o stock em cada processo.

Quanto aos modelos baseados em simulações, pode-se destacar o modelo de *Abdou & Dutta (1993)*, que tenta otimizar, simultaneamente, o número de *Kanbans* óptimo para cada produto, assim como o respectivo tamanho óptimo dos *containers*, minimizando o custo total da operação da linha (*setups* + *WIP* + utilização da máquina). A modelação por cadeias de *Markov* foi também utilizada para esta temática, como se pode ver no modelo de *Berkley (1994)*.

Para casos menos experientes nas metodologias *Lean*, existem modelos matemáticos simples que permitem, o cálculo do número de *Kanbans* necessários, incentivando-se que, de uma forma iterativa, se reduza esse dimensionamento até atingir o limite que proporciona melhores resultados. Essas fórmulas matemáticas, geralmente baseiam-se em variações da fórmula original da *Toyota* que tem a seguinte estrutura:

$$K = \frac{D * L (1 + S)}{C}$$

Onde “K” representa o número de *Kanbans* em circuito, “D” a procura prevista, “L” o *Replenishment Lead Time*, ou *lead time* de reaproveitamento (este conceito vai ser explicado de seguida), “S” o coeficiente de segurança e “C” o número de unidades por *container*.

Inspirado neste cálculo, o *BPS* também apresenta uma fórmula semelhante, que, no fundo, não passa de uma desagregação do “S” da fórmula anterior em vários factores que permitam quantificar esse coeficiente de segurança, para se poder obter uma visão mais precisa dos vários factores que influenciam este cálculo. O factor base é calculado a partir da procura, no período em questão, afectado do respectivo *lead time* de reaproveitamento, como será descrito de seguida.

Fórmula Base do modelo *BPS* (“K” corresponde ao número de *Kanbans*):

$$K = RE + LO + WI + TI + SA$$

#### **Ilustração 6 – Fórmula *BPS* para o n° de *Kanbans***

Factor “RE” (*Replenishment Time Coverage*):

$$RE = \frac{PR * RT_{loop}}{NPT * SNP}$$

Factor “LO” (*Lot Size Coverage*):

$$LO = \left( \frac{LS}{SNP} \right) - 1$$

Factor “WI” (*Withdrawal Peak Coverage*):

$$WI = \frac{WA - LS}{SNP}$$

Factor “TI” (*Time Gap Coverage*):

$$TI = \frac{PR}{NPT * SNP} * |T_{customer} - T_{Supplier}|$$

Factor “SA” (*Safety Time Coverage*):

$$SA = \frac{PR * ST * 60}{NPT * SNP}$$

<b>K [-]:</b>	<b>Amount of Kanban for one TTR</b>
<b>PR [Stk/ Periode]:</b>	<b>Requirements per period</b>
<b>RT<sub>Innp</sub> [min]:</b>	<b>Replenishment Lead Time for the loop</b>
<b>SNP [Stk]:</b>	<b>Standard Number of Parts per 1 Kanban</b>
<b>NPT [min/Periode]:</b>	<b>Netto-Production-Time (Working time)</b>
<b>LS [Stk]:</b>	<b>Lotsize</b>
<b>WA [Stk]:</b>	<b>Withdrawal Amount (Customer)</b>
<b>T<sub>customer</sub> [min]:</b>	<b>Shift model of customer</b>
<b>T<sub>supplier</sub> [min]:</b>	<b>Shift model of supplier</b>
<b>ST [h]:</b>	<b>Safety Time</b>

**Ilustração 7 – Legenda da fórmula *BPS***

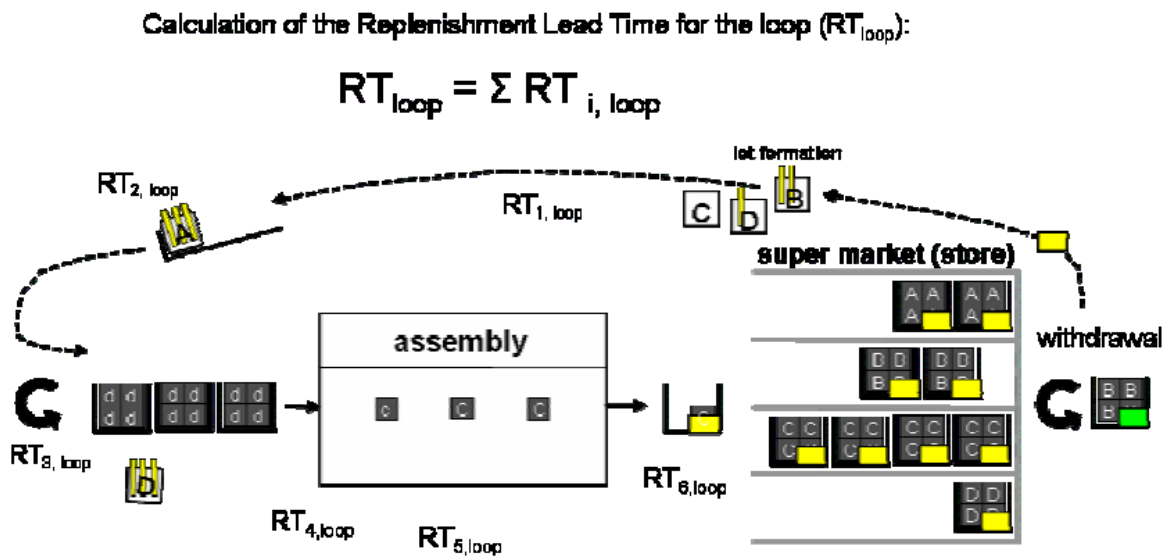
Como uma primeira análise a este método de cálculo, há que destacar que “K” não é mais do que a soma de vários factores já “quantificados” em número de cartões, já que todos eles representam uma quantidade dividida pelo número de unidades num *container* e respectivo cartão *Kanban* (“SNP”). Tendo isso em conta, segue-se uma análise detalhada de cada um dos factores.

O factor “RE” é o factor principal do cálculo. Admitindo que este cálculo é feito para um determinado período de tempo (normalmente semanal ou mensal), é fácil perceber que ele representa nada mais que a procura esperada para o período (“PR”), devidamente afectada de acordo com o facto de o circuito permitir uma rápida ou lenta reutilização dos cartões *Kanban*. Este conceito de reaproveitamento é fulcral e é provavelmente o mais difícil de quantificar neste modelo de cálculo, assim como no modelo original do *TPS*.

Considere-se um período de um dia, durante o qual um produto tem uma procura diária de 1000 unidades e é armazenado em *containers* de 100 unidades. De acordo com a filosofia *Pull*, os cartões *Kanban* funcionam ciclicamente num circuito e o seu número influencia

directamente o *WIP* no processo produtivo. Portanto, imagine-se o caso apresentado num processo produtivo longo e complexo, de tal maneira que, em média, um mesmo cartão *Kanban*, em média, faz um circuito completo num dia. Perante estas premissas, o número de cartões que ia ser necessário para garantir que nesse dia fossem produzidas as 1000 unidades era de 10 cartões e, esse seria o “RE” do processo. Por outro lado, admitindo um processo mais rápido onde os cartões fazem, em média, dois circuitos diariamente, o número de cartões necessários, iria ser de apenas 5, já que a reutilização de cartões ia garantir que as 1000 unidades eram produzidas.

Portanto, o significado deste “ritmo” de reutilização, ou reaproveitamento de cartões é necessário calcular. Ou seja, neste último exemplo, o *lead time* de reaproveitamento\* (“*RT Loop*”) correspondia a um período de tempo igual a metade do tempo disponível no período (“*NPT*”), e, no primeiro caso, ambos os valores eram idênticos. Na imagem seguinte transmite-se o raciocínio aqui explicado.



**Ilustração 8 – Diagrama representativo do *Lead Time* de reaproveitamento**

Logo, levanta-se o problema do cálculo deste *lead time*. A sugestão do modelo *BPS* passa por uma divisão dos diversos tempos ao longo do ciclo, do seguinte modo:

Com a ajuda deste modelo é fácil perceber o que já foi exemplificado. O *lead time* de reaproveitamento não é nada mais do que o tempo médio de um ciclo, que, neste caso, está dividido em seis etapas. Como é óbvio este ciclo varia de caso para caso, mas o fundamental é conseguir medir os tempos médios de produção, de transporte e de espera ao longo de todo o processo.

O segundo factor (“*LO*”) está relacionado com o conceito de tamanho do lote (“*LS*”). O tamanho de lote corresponde à quantidade mínima de cartões que pode ser produzida de cada vez, e, esse tamanho está intimamente ligado aos tempos de mudança de produto (tempos de *setup*). A filosofia *BPS* encoraja o aumento de agilidade dos processos produtivos e a consequente diminuição dos tamanhos de lote, mas o que é importante relevar é que se existe um tamanho de lote de “*n*” cartões, podem ficar, no máximo, “*n-1*” cartões parados no ciclo.

Daí que o tamanho do lote exija o aumento do número de cartões para permitir o correcto funcionamento do fluxos dos mesmos.

O factor seguinte (“WI”) está relacionado com o factor base, na medida em que o seu objectivo é acrescentar uma margem ao número de cartões (“WA”) com o objectivo de cobrir os picos máximos da procura ao longo do horizonte de planeamento. Com um *Levelling* (nivelamento da produção) capaz, ou um ambiente extremamente estável, este factor acaba por ser irrelevante. Note-se que o facto de o factor “WA” estar subtraído do tamanho do lote significa que, no caso deste pico ser mais pequeno que o lote, os cartões adicionados no factor “LO” são suficientes para o amortizar.

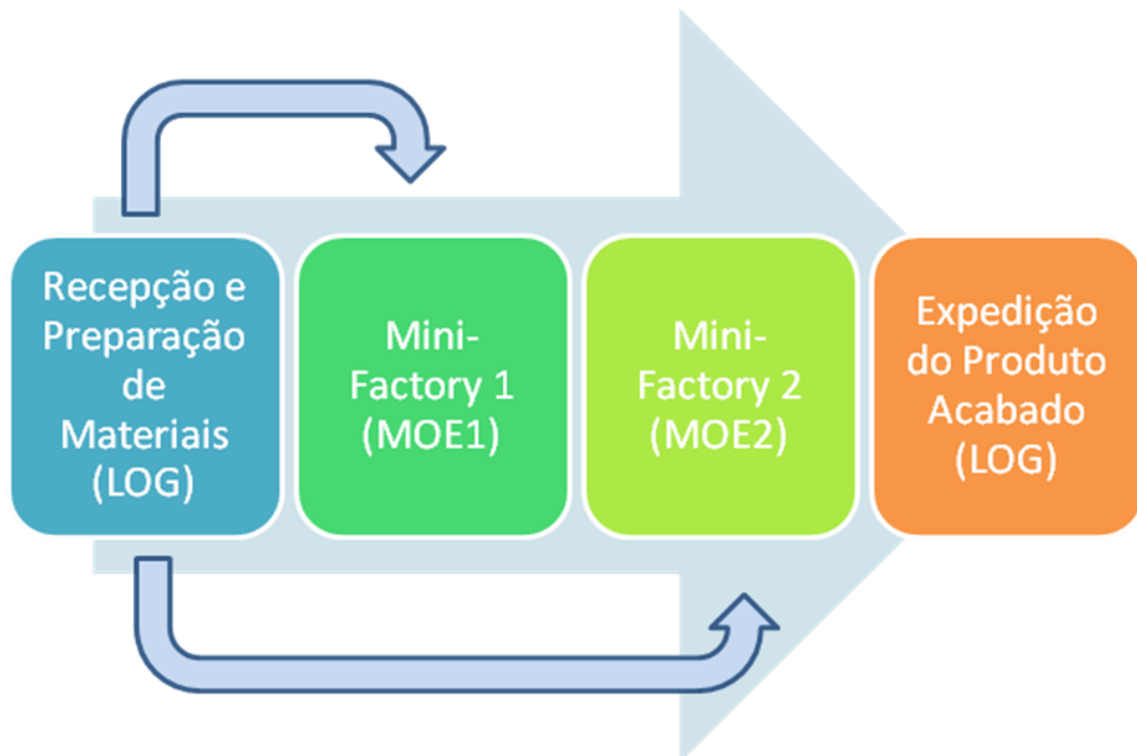
O factor “TI” está relacionado com as incoerências em termos de turnos entre o processo produtivo em questão e o seu cliente directo, que está a “puxar”. O que se pretende é acrescentar, ou retirar cartões conforme o número de turnos do fornecedor e do cliente (“T’s”).

Para finalizar é apresentado um factor de segurança que representa o tempo de produção de segurança que as variabilidades do processo exigem, relacionados com três componentes: as variações no consumidor (desvios entre o que o cliente planeia consumir e o que realmente consome), os desvios inerentes ao processo produtivo (pode ser quantificado, por um índice de produtividade, como exemplo, pela variabilidade do *OEE - Overall Equipment Effectiveness*, ver Anexo “C”) e ainda um factor relacionado com factores indefinidos ou aleatórios.

### 3 Apresentação do Caso de Estudo

#### 3.1 Processo Produtivo na *Bosch Car Multimedia Portugal*

A produção da *Bosch Car Multimedia Portugal* está dividida em duas grandes secções. A *Mini-Factory 1*, sob a responsabilidade do departamento *MOE1* (departamento onde está inserido o projecto) e a *Mini-Factory 2*, sob a tutela do *MOE2*. De uma maneira simplificada, o processo produtivo pode ser descrito por uma fase inicial que envolve a chegada, aprovisionamento e preparação de matérias-primas a cargo da Logística (*LOG*) para abastecer a *Mini-Factory 1*, local onde são produzidas as placas, em linhas de inserção automática de componentes electrónicos, que quando transportadas para a *Mini-Factory 2*, em conjunto com outras matérias-primas provenientes da Logística são trabalhadas em linhas de montagem final para a obtenção do produto final, produto este que é depois transportado para a secção de expedição, também esta a cargo do departamento Logístico, como se pode verificar pela imagem seguinte.



**Ilustração 9 – Diagrama representativo do Fluxo de Materiais**

O portfolio de produtos da *Bosch Car Multimedia Portugal* tem sido alargado, incentivado pela crise no sector automóvel. Actualmente são produzidos, além dos auto-rádios, sistemas de navegação, antenas e dispositivos de controlo de caldeiras e esquentadores. Prevê-se para um futuro próximo a produção de outros tipos de produtos na *Bosch Car Multimedia Portugal*, tais como aparelhos de electrocardiograma.

À exceção das antenas, todos os restantes produtos são bastante similares em termos de processos produtivos. A primeira fase produtiva, na *Mini-Factory 1*, consiste basicamente na produção das placas, placas estas que são únicas, no caso de alguns produtos (únicas na medida em que só é preciso uma placa para produzir um produto, na *Mini-Factory 2*), ou múltiplas, no caso, por exemplo dos auto-rádios, em que encontramos produtos com vários tipos de placas, dependendo das suas funcionalidades: placas principais, placas de serviço, placas *Tunner*, placas *RVC* e placas *SD Card*. Por exemplo um auto-rádio simples só precisa de uma placa principal e uma placa de serviço, mas um auto-rádio de qualidade superior, precisa garantidamente, além das placas principal e de serviço, uma ou duas placas *Tunner*, para obter uma qualidade de som superior e, uma placa *SD Card* para aceitar leitura de cartões.

Todas estas placas são constituídas por um *PCB (Printed Circuit Board)* na qual são inseridos componentes electrónicos em uma, ou nas duas faces. Dependendo da necessidade de componentes numa das faces ou nas duas, isso determina também se a placa precisa apenas de inserção na Face A (processo denominado *Reflow*, onde os componentes são soldados), ou se precisa de inserção também na Face B (processo onde os componentes são colados no outro lado da placa).

Os processos descritos anteriormente trabalham com componentes *SMD (Surface Mounting Devices)*, ou seja, componentes que ficam “colados” numa das faces do *PCB*. Por outro lado, existem placas que, entre a Face A e a Face B, necessitam de uma inserção de componentes que atravessam o *PCB*, e que portanto têm um processo produtivo intermédio: a inserção radial (ver imagem seguinte). Este processo tem linhas dedicadas mas prevê-se que com a evolução tecnológica venha a ser cada vez menos relevante no processo, apesar de ainda ser uma realidade numa percentagem elevada das referências produzidas na *Mini-Factory 1*. Ou seja, uma mesma placa pode passar por até três linhas produtivas até estar pronta para a montagem final (*Mini-Factory 2*).



**Ilustração 10 – Exemplos de um Componente SMD (à esquerda) e de um Componente Radial (à direita)**

Depois de concluídas as etapas necessárias de cada placa na *Mini-Factory 1*, ela segue, temporariamente, para um supermercado de produto acabado, até ser transportada para a *Mini-Factory 2*, onde se faz a montagem final do produto, utilizando como matérias-primas

a(s) placa(s) necessárias, assim como os restantes componentes, que no caso dos auto-rádios são, por exemplo o visor, o leitor de CD, etc.

A única excepção a esta sequência são as antenas, que são transportadas directamente do supermercado de produto acabado da *Mini-Factory 1* para a zona de expedição, ou seja, as placas constituem já o produto final, sendo que a sua produção, em termos de processos, não é distinta das outras placas.

### 3.2 Fluxos de Materiais e de Informação entre a Inserção Automática e a Montagem Final

De acordo com o processo produtivo da empresa, torna-se óbvio que um dos pontos essenciais do planeamento da produção está ligado com a coordenação entre a *Mini-Factory 1* e a *Mini-Factory 2*. Com a tentativa de implementação do sistema *Pull* pretendia-se que o fluxo de informação dos consumos da *Mini-Factory 2* fosse transmitido para sequenciar a produção da *Mini-Factory 1*, como seu fornecedor imediato. Esse fluxo de informação era constituído pelos cartões *Kanban*.

Para melhor se compreender o funcionamento dos cartões *Kanban* na *Mini-Factory 1* é necessário descrever os fluxos de materiais e de cartões pela fábrica.

Assim, e de modo simplificado, são apresentados *Layouts* das *Mini-Factory 1* e 2, com os respectivos fluxos de materiais e de cartões *Kanban*. Podem ser consultadas versões mais aproximadas no anexo “B”.

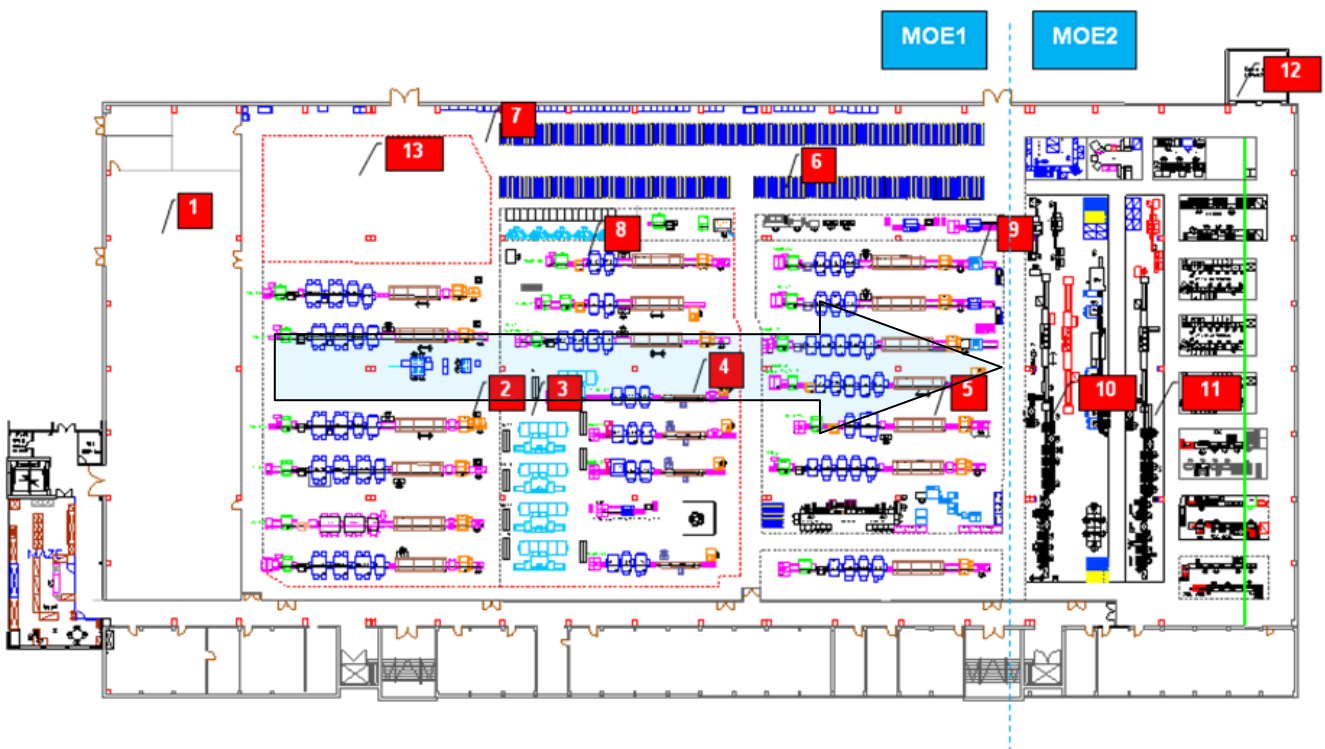
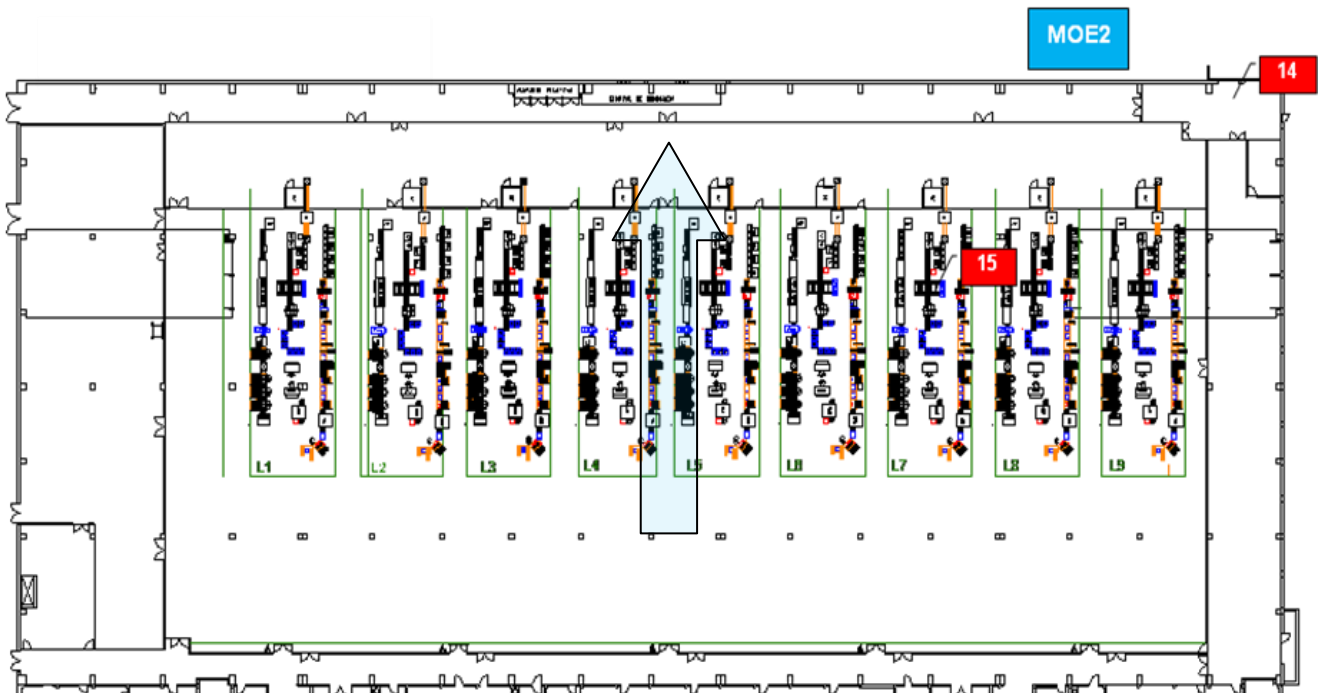


Ilustração 11 – *Layout* do Piso 2



**Ilustração 12 – Layout do Piso 1**

Em primeiro lugar, há que esclarecer que, ao contrário que se possa assumir, a *Mini-Factory 1* e a *Mini-Factory 2* não correspondem exactamente a cada um dos pisos da unidade fabril. No caso do Piso 1, pode-se afirmar que todo ele está sobre o controlo do MOE 2. No Piso 2, há uma secção que também faz parte da *Mini-Factory 2*, sendo só o restante a secção sob a responsabilidade do MOE 1 mais conhecida como secção da Inserção Automática, ou *Mini-Factory 1*. A área sob a responsabilidade do MOE2 denomina-se secção de Montagem Final, ou *Mini-Factory 2*. De seguida é descrito o fluxo de materiais, com especial foco na *Mini-Factory 1*.

Na *Mini-Factory 1* o fluxo produtivo, em geral, é da esquerda para a direita. Atendendo à legenda feita nos *Layouts*, o fluxo da produção começa no supermercado da Logística, assinalado com o ponto 1, onde se armazenam pequenos stocks de matérias-primas para a produção da *Mini-Factory 1*, nomeadamente PCB's e componentes eléctricos. A área produtiva, propriamente dita, começa na zona imediatamente à direita deste armazém.

As primeiras linhas (da esquerda para a direita), como a assinalada com o ponto 2, são as responsáveis, essencialmente, pela produção da face A das placas principais para os auto-rádios. Quando estas placas estão produzidas, algumas delas precisam de mais processos produtivos (Radial e/ou Face B), enquanto outras estão terminadas. Neste último caso, as placas são transportadas por um *Milkrun* Interno, para o Supermercado de produto acabado, representado pelo ponto 6, onde têm uma posição própria. No primeiro caso, as placas, são transportadas para uns pequenos *buffers* (ponto de acumulação de stock para atenuar flutuações), imediatamente à frente das linhas que abastecem as linhas de produção radial, como a assinalada pelo ponto 3. Posteriormente, o raciocínio é semelhante, as placas podem

precisar de Face B, nesse caso, reencaminham-se para os respectivos *buffers*, ou então são transportados pelo *Milkrun* Interno para o Supermercado.

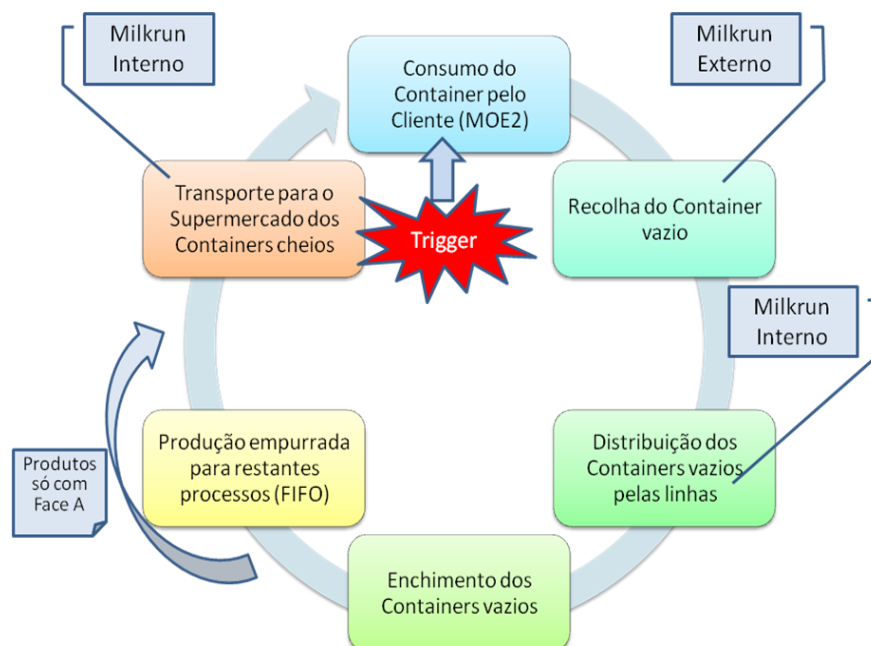
As linhas assinaladas com os pontos 8 e 9 correspondem a linhas que estão normalmente destinadas à produção de Face A e B de placas de serviço, respectivamente.

As placas, depois de armazenadas no supermercado, são transportadas pelos *Milkruns* Externos, em períodos de vinte minutos, para a *Mini-Factory 2*, através do elevador, assinalado pelos pontos 12 e 14, abastecendo as linhas, como é perceptível na linha de montagem final representada no ponto 15. No *Layout* do Piso 1 o fluxo é de baixo para cima.

Além do fluxo de materiais “clássico”, há que destacar que só os auto-rádios têm o processo de montagem final no Piso 1. Atente-se no caso, por exemplo do ponto 5. Esta linha (*SMD20*) produz, na sua grande maioria, módulos, como por exemplo, placas para controlo de caldeiras e esquentadores denominadas de *Heatronics*. Estes são casos típicos de excepções no fluxo da *Mini-Factory 1*, nos casos em que os produtos que fazem Face A nesta linha, precisam depois de Radial ou Face B. Também nos auto-rádios existem casos em que os fluxos não são lineares.

Estes produtos, quando acabado o processo produtivo na *Mini-Factory 1*, são transportados para o supermercado e também são depois, quando necessários, transportados por um *Milkrun* Externo, como está representado no diagrama em baixo. Note-se que a montagem final destes produtos ocorre nas linhas e nas células sob a responsabilidade do *MOE2* no piso 2, como por exemplo, as linhas assinaladas pelos pontos 10 e 11.

Para terminar a descrição dos fluxos físicos de materiais, é preciso destacar a área de preparação de fases, assinalada pelo ponto 13. Esta área é responsável pela preparação das fases para a produção. As fases consistem num “tabuleiro” que engloba um certo *mix* de bobines com componentes eléctricos. Nem sempre é necessário mudar de fase quando se faz uma mudança de produção (*setup*), mas existem *setups*, normalmente entre produtos de famílias diferentes, que exigem mudanças de fases, que são preparadas com antecedência nesta zona, para que os *setups* sejam realizados no menor tempo possível.



**Ilustração 13 – Diagrama do Fluxo de Materiais entre a Inserção Automática e a Montagem Final**

Dado que na prática, as coisas não se processam exactamente como estava previsto, será descrito, em teoria, o fluxo de informação.

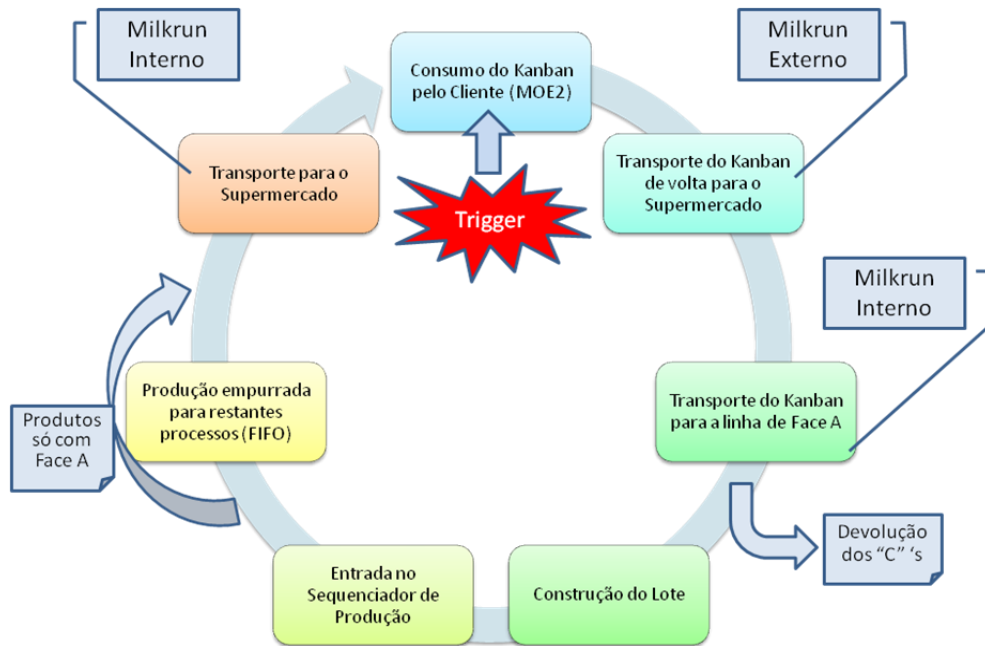
Atente-se ao fluxo de materiais entre os *Milkruns* Externos e a *Mini-Factory 2*. Os *Milkruns* ao transportarem as placas do supermercado de produto acabado para as linhas de montagem final vão transportar *containers*, cada um com o seu respectivo cartão *Kanban*. Quando esses *containers* são consumidos, os respectivos cartões e *containers* vazios são recolhidos pelo *Milkrun*, Externo, que os deposita ao pé do supermercado, mais precisamente no local marcado pelo ponto 7 nos *Layouts* apresentados.

De seguida, o *Milkrun* Interno vai, em períodos regulares (aproximadamente de meia em meia hora), recolher os cartões e transportá-los para os quadros colocados nas linhas de Face A. Nestes quadros existem locais próprios para a construção de lote, para as referências “A” e locais de retorno de cartões de referências “C” (cartões de “viagem única”). No caso de se construírem lotes, esses cartões devem ser retirados do local de construção de lote e devem entrar na caixa que define a ordem de produção. No início de cada turno, os operadores devem tirar, pelo lado de baixo, os cartões da caixa e preencher a régua, como se pode observar pelas imagens seguintes.



**Ilustração 14 – Fotografia da Caixa (à direita, em cima) e da Régua Horária (em baixo)**

A produção é, portanto, sequenciada pela ordem de chegada dos cartões *Kanbans* à caixa. O que se pretende é manter a ordem de produção da linha de Face A e replicá-la para as linhas radial e Face B, caso seja necessário, através de uma ordem *FIFO*. Resumindo, a produção é controlada no início do processo produtivo, sendo depois empurrada para os processos seguintes, até chegar de novo ao supermercado de produto acabado. Só depois de consumido o *container* pelo cliente, é que o cartão vai outra vez construir lote e entrar no circuito produtivo, como é descrito no diagrama seguinte.



**Ilustração 15 – Diagrama do Fluxo de Informação entre a Inserção Automática e a Montagem Final**

Um outro ponto de vista sobre a temática dos fluxos de materiais e de informação pode ser representado pelo *Value Stream Map (VMS)*, uma ferramenta *Lean* utilizada para identificar visualmente oportunidades de melhoria do *lead time*. O *VMS* é essencialmente uma ferramenta de comunicação, para facilitar a localização do desperdício, mas, neste enquadramento, o interesse sobre esta ferramenta recai sobre o facto de o *VMS* mostrar os fluxos de materiais e de informação desde que as matérias-primas partem dos fornecedores, até ao momento em que os clientes recebem os produtos da *Bosch Car Multimedia Portugal*, de cais a cais, o que a torna interessante neste contexto, por ser capaz de providenciar um ponto de vista mais global da cadeia de valor.

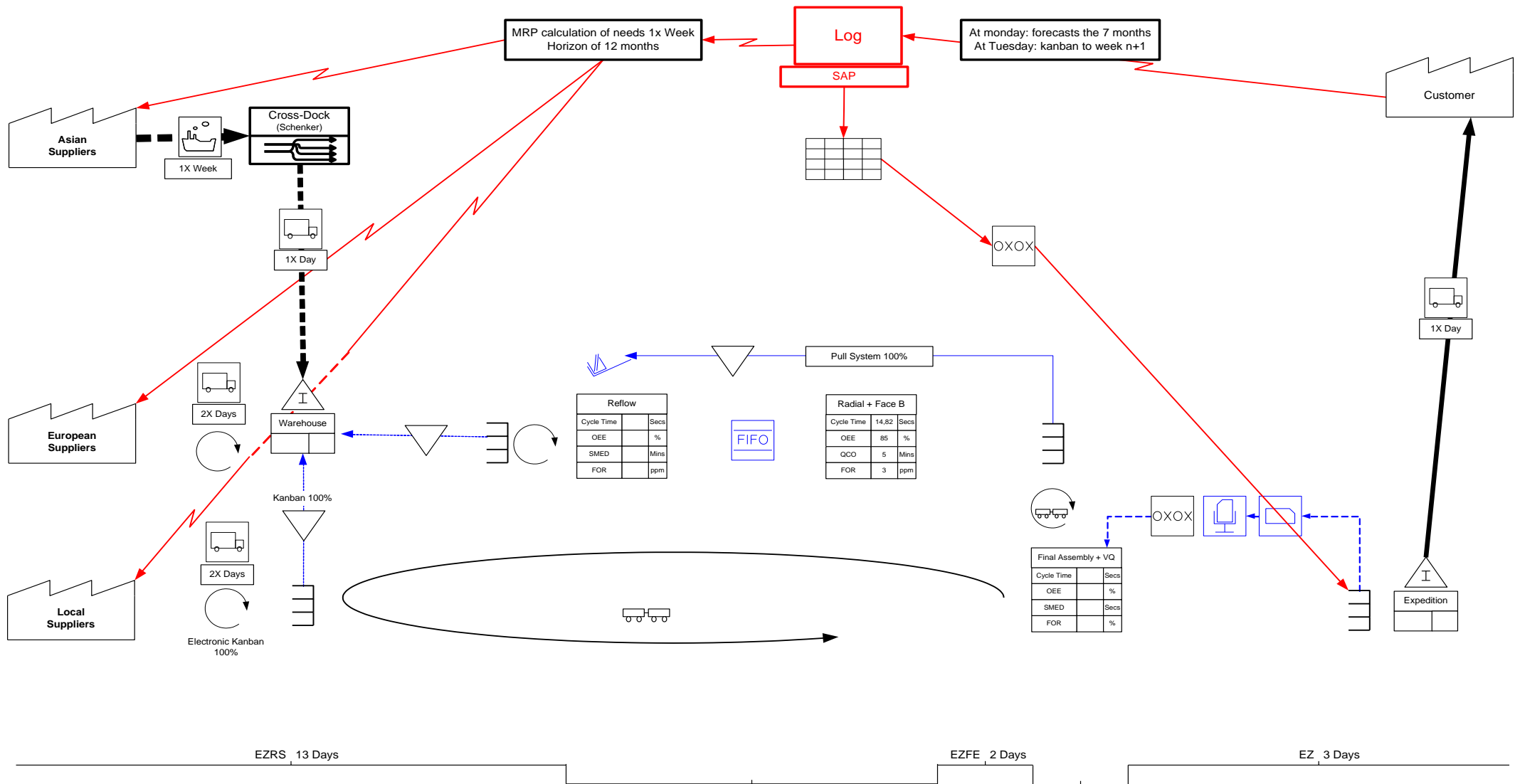


Ilustração 16 – Value Stream Map da Bosch Car Multimedia Portugal em 2008

### 3.3 O actual Processo de Planeamento

Apesar do fluxo de informação teórico apresentado, o funcionamento actual não é exactamente o mesmo. Na verdade, o fluxo de informação, representado pelos cartões *Kanban*, funciona, apesar das suas ineficiências, mas não é mandatário, ou seja, não define, de todo, o que deve ser produzido e onde.

O planeamento da produção da *Mini-Factory 1* em si é feito por dois planeadores, durante o turno da noite, que, com base no *Levelling* (plano semanal de necessidades com base nas encomendas dos clientes) emitido pelo departamento Logístico, emitem ordens de produção sob forma de ordem de cartões *Kanban*. Ou seja, os operadores não seguem a ordem com que os cartões entram na caixa que devia, por si só, definir a ordem produtiva, mas sim a ordem de cartões definida pelos planeadores e, depois caso seja possível, procuram os cartões respectivos à produção em causa.

Em geral, os tempos de ciclo do processo produtivo na *Mini-Factory 2* são bastante mais reduzidos do que na *Mini-Factory 1*, apesar de esta última trabalhar mais turnos semanais do que a primeira. De grosso modo, a secção de Inserção Automática trabalha 3 turnos de 8 horas por dia, durante os dias de semana, e 5 turnos ao fim de semana. A Montagem Final trabalha apenas 2 turnos por dia, durante os dias de semana.

Este facto é de extrema importância para o planeamento, pois exige claramente um *buffer* de inventário entre os dois processos produtivos, para atenuar estas inconsistências ao nível dos fluxos, já que é necessário a *Mini-Factory 1* produzir ao fim de semana um *buffer* que sustente a diferença de ritmo produtivo durante a semana, facto que também contribui para a dificuldade de implementação de um sistema *Pull*.

### 3.4 Ineficiências do Processo de Planeamento

Ao contrário do que seria lógico, o projecto não começou pela identificação dos problemas ao nível dos fluxos de materiais e de informação. Essa análise formal só foi feita numa etapa intermédia do projecto, num *Workshop*, aquando do acompanhamento do teste piloto na linha *SMD20*.

Certos problemas que foram mais tarde levantados neste *Workshop* eram bastante evidentes, daí que tenha sido possível criar as ferramentas devidas para contribuir com a resolução de alguns desses problemas anteriormente.

No dia de 22 de Junho de 2009, os vários elementos da equipa de acompanhamento da linha *SMD20* organizaram uma sessão com o objectivo de se identificarem problemas concretos, para depois se partir para a sua resolução. Numa fase inicial cada participante expôs os seus problemas em cartões, que foram afixados num diagrama, como se pode observar pela imagem seguinte:



# Problema	Descrição do Problema
1	Faltas de Componentes <i>SMD</i> para Face A e Face B
2	Falta de Etiquetas de Identificação das placas na Inserção Automática
3	Produtos sem <i>Levelling</i> (ex: “VKD”)
4	Inconsistência entre nº de placas por <i>container</i> e nº de produtos por palete
5	Atrasos na preparação de Fases
6	Discrepância entre dimensionamento do supermercado e necessidades reais
7	Não cumprimento do <i>FIFO</i> entre Face A e Inserção Radial
8	Não cumprimento do <i>FIFO</i> entre Inserção Radial e Face B
9	Perdas de cartões <i>Kanban</i>
10	Cálculo impreciso de capacidades das linhas de Inserção Automática
11	Falta de regras para a orientação para o processo na Inserção Automática
12	Falta de regras de contingência face a quebras de sequência produtiva
13	Alterações no Plano Semanal do <i>Levelling</i>
14	Inconsistências nas atribuições “A” e “C” entre a Inserção Automática e a Montagem Final
15	Inconsistência entre dimensionamento mensal do número de <i>Kanbans</i> da Inserção Automática e o dimensionamento semanal da Montagem Final
16	Falta de regras para produção dos produtos “C”
17	Falta de controlo do plano semanal do <i>Levelling</i> pela Montagem Final

### **Ilustração 18 – Lista organizada dos Problemas levantados**

Perante estes problemas, pode-se concluir que há muitos entraves ao sucesso do projecto e que é necessário atacar cada um individualmente. Na secção seguinte apresentam-se três subprojectos que, apesar de terem sido iniciados antes deste evento, respondem precisamente a problemas concretos levantados, seguida duma descrição do acompanhamento e das metodologias utilizadas no teste piloto da linha *SMD20*.

## 4 Soluções desenvolvidas

### 4.1 Subprojecto: Automatização do Supermercado de Produto Acabado

Este subprojecto foi o primeiro a ser abordado e foi também dos mais exigentes em termos de tempo. Numa análise inicial ao Supermercado de produto acabado notou-se que era uma zona de gestão pouco cuidada, resultado directo da falta de necessidade para tal. Este subprojecto tem como objectivo dinamizar a gestão do supermercado de produto acabado, para torná-lo num *buffer* eficaz e rigoroso entre a Inserção Automática e a Montagem Final.

O local em si, consiste numa área substancial, onde existem 41 estantes, 20 de um lado e 21 do outro, onde cada estante tem 8 a 10 posições, ou rampas (dependendo de serem destinadas a *containers* largos ou estreitos, respectivamente), em cima e em baixo, disponíveis para alocar produtos, com uma capacidade máxima de 5 *containers* por posição, como se pode observar pela imagem seguinte:



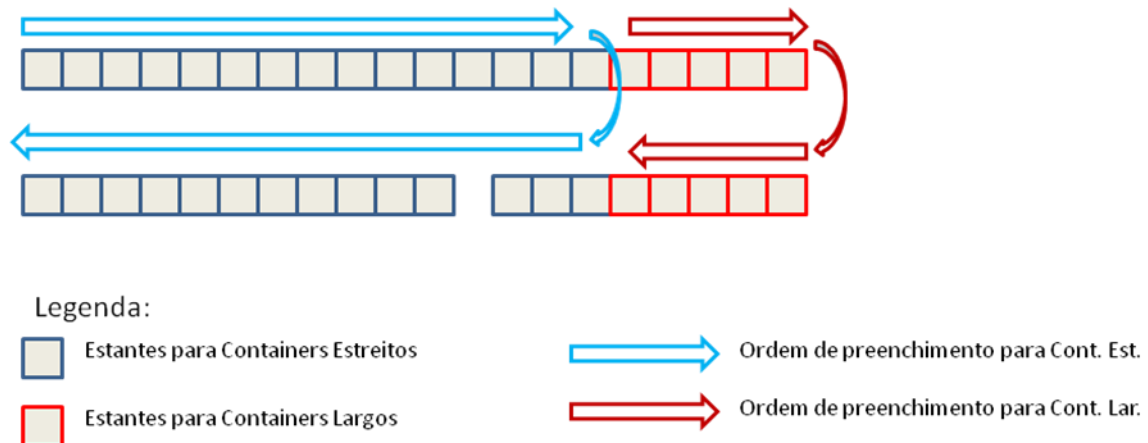
Ilustração 19 – Fotografia do Supermercado de Produto Acabado

Após uma análise inicial do processo de gestão do supermercado de produto acabado, verificou-se que a principal razão pela qual o supermercado não estava ajustado às reais necessidades era o facto do processo de actualização ser um processo moroso, tanto em relação às mudanças físicas do produto e etiquetagem do supermercado, como ao facto de a alocação dos produtos às posições ser feita manualmente.

Era bastante visível que todo o processo tinha um enorme potencial de melhoria e era claro que a automatização do sistema de afectação ia ser o primeiro passo para permitir uma gestão dinâmica do supermercado de produto acabado.

A partir desse momento começou-se a equacionar os pressupostos que se deviam tomar para criar um algoritmo capaz de resolver o problema.

Como já foi referenciado, no supermercado são armazenados dois tipos de *containers*: *containers* estreitos e *containers* largos. Devido a factores técnicos, de qualidade e financeiros era impossível criar dimensões *standard* para eliminar esta limitação do sistema, pelo que seria necessário contorná-la na construção do algoritmo, optando-se por reservar um determinado número de estantes destinadas para *containers* largos e outro para *containers* estreitos, (através de um histórico de proporções entre os dois tipos), procedendo-se às respectivas alterações físicas necessárias. Obteve-se um *Layout* como o demonstrado na imagem seguinte:



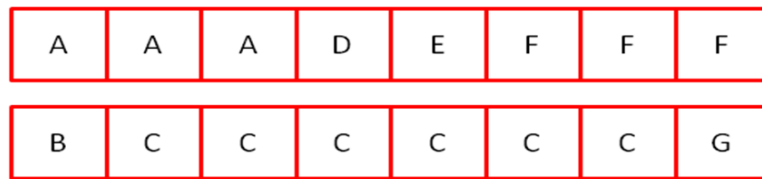
**Ilustração 20 – Diagrama da ordem de preenchimento das estantes no supermercado**

Um outro ponto importante foi o cálculo das necessidades de rampas no supermercado para cada referência, que é o *input* do algoritmo de alocação. Este cálculo está directamente ligado ao cálculo do número de *Kanbans* em circuito para cada produto, e por conseguinte, com o limite de *containers* no circuito. Estas necessidades foram depois organizadas numa lista, disposta por famílias de produtos (para facilitar o recolha e colocação de produtos).

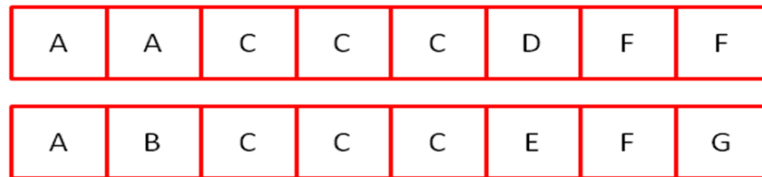
Anteriormente, cada referência, quando necessitava de mais do que uma rampa, o *Layout* contemplava esse número de rampas lado a lado, e, sempre que possível, na mesma

estante. Depois de uma análise mais cuidada sobre a ordem de afectação das estantes decidiu-se que era mais interessante que, caso o lugar estivesse disponível, que fosse alocada à mesma referência a posição imediatamente em baixo, antes de se passar à posição ao lado. A razão de tal alteração baseava-se no facto de existirem algumas referências que, devido às elevadas quantidades produzidas, necessitavam de um número bastante elevado de rampas (até 40 rampas), o que levava a um desperdício de movimento bastante elevado e que podia ser reduzido substancialmente com esta nova lógica de preenchimento do supermercado, que está ilustrada na imagem seguinte:

Antes:



Depois:



**Ilustração 21 – Diagrama exemplificativo sobre os dois métodos de preenchimento**

Com base nestes pressupostos foi construído um algoritmo que, através de uma lista de referências e respectivas necessidades (ver ilustração 22), calculava, com base nas limitações físicas do supermercado, a disponibilidade para alocar os produtos (ver ilustração 23), e, caso não houvesse disponibilidade suficiente, o algoritmo rectificava as necessidades até isso ser possível para depois desenhar o *Layout* (ver ilustração 24).

Referência	Família	# Família	Tipo	Tamanho	Layout Seguinte n° de posições nec	Layout Actual n° de posições nec
8638245494	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	8	7
8638265807	Fiat/Nissan	1	Serviço	largo	5	5
8638245496	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	2	2
8638246894	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	2	2
8638246895	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	1	1
8638568001	Fiat/Nissan	1	Serviço	estreito	3	3
8638262484	Fiat/Nissan	1	Serviço	estreito	2	2
8638265387	Fiat/Nissan	1	Serviço	estreito	2	2
8638251600	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	3	2
8638251602	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	1	1
8638262394	Fiat/Nissan	1	Serviço	estreito	3	4
8638251622	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	2	2
8638251624	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	1	3
8638252848	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	3	1
8638252849	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	3	1
8638252850	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	2	2
8638252851	Fiat/Nissan	1	Principal	estreito	3	2
8638266682	Fiat/Nissan	1	Serviço	estreito	3	3

Ilustração 22 – Excerto da Lista de Necessidades do Supermercado

Estreitas Necessárias	Estreitas Disp.
486	535
Largas Necessárias	Largas Disp.
158	160

Ilustração 23 – Controlo das Necessidades do Supermercado

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Sist Navegacao	Sist Navegacao	Sist Navegacao	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Fiat/Nissan	Fiat/Nissan
8638261277	8638261277	8638267036	8613350162	8613350162	8613350162	8613340168	8613340168	8613340234	8613300231	8638252850	8638245494
Sist Navegacao	Sist Navegacao	Sist Navegacao	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Nefit/BSHKME	Fiat/Nissan	Fiat/Nissan
8638261277	8638261277	8638267037	8613350162	8613350162	8613350162	8613340168	8613340168	8613340234	8613300231	8638252850	8638245494
Opel	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW
8638251828	8638266388	8638266388	8638266388	8638245014	8638266914	8638266914	8638266808	8638245671	8638245670	8638245670	8638267314
Opel	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW
8638251828	8638266388	8638266388	8638266388	8638568821	8638266914	8638266914	8638266808	8638245671	8638245671	8638245670	8638269600

Ilustração 24 – Secção de um Layout criado pelo algoritmo

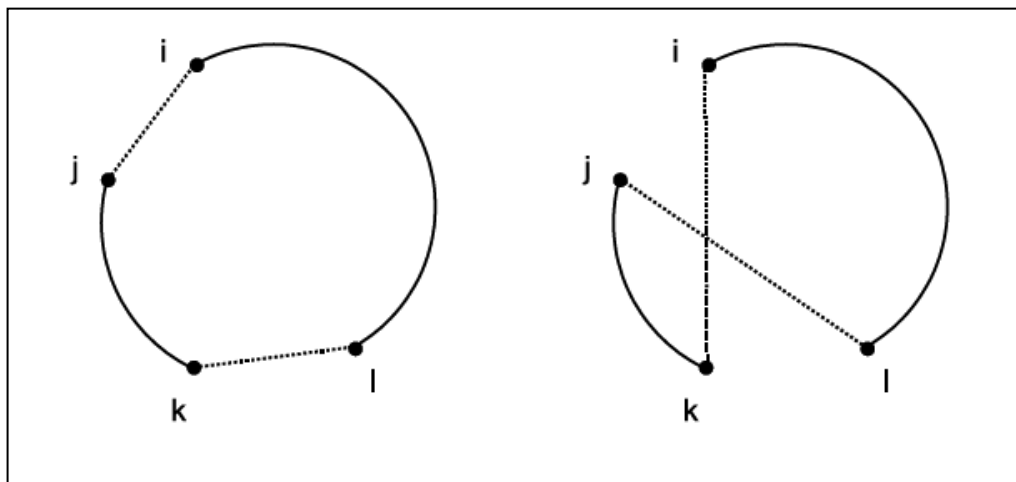
Resolvida a questão anterior, e, antes da sua implementação, começou-se a focar em métodos que conferissem uma estabilidade superior ao algoritmo, ou seja, que evitassem, caso seja possível, demasiadas mudanças nos *Layouts* de um período para outro, período este que estava estipulado ser de um mês. Com base no algoritmo anterior optou-se por incluir duas rotinas adicionais com o objectivo de conferir essa estabilidade.

A primeira rotina foi pensada para o caso de um supermercado com folga, ou seja, com uma disponibilidade superior às necessidades de rampas necessárias. Neste caso, com o algoritmo anterior, iam surgir rampas livres acumuladas nas zonas do fim, segundo a ordem de preenchimento, tanto para a zona destinada a *containers* estreitos, como para a zona destinada a *containers* largos.

A ideia passava por reposicionar esses espaços livres no supermercado. Foi então necessário fornecer ao algoritmo a informação relativa ao *Layout* transacto, para que fossem detectados os pontos onde o algoritmo mudava de família. De seguida, com base no espaço livre que tinha para o *Layout* que estava a formular, o algoritmo comparava-o com o do mês anterior e tentava criar espaços vazios entre as famílias, forçando-as a começar no mesmo local do mês anterior.

Conseguia-se assim reduzir significativamente o número de mudanças face ao *Layout* anterior, por um lado, e por outro, também era interessante ter uma folga no fim de cada família de produtos, admitindo que pode haver erros nos cálculos das necessidades.

A segunda rotina foi inspirada no conhecido algoritmo de procura local “2-Opt”. Pensado inicialmente para o problema do caixeiro-viajante (*Travelling Salesman Problem*), o “2-Opt” remove duas ligações e calcula qual a melhor hipótese de tornar a completar o circuito, entre as duas soluções possíveis: a solução inicial, ou a solução com as duas ligações cruzadas, neste caso, com as duas referências trocadas de posição no *Layout*.



**Ilustração 25 – Diagrama representativo do funcionamento do algoritmo “2-Opt” (imagem retirada das projecções visuais de ALMADA LOBO, B.)**

Construiu-se então um algoritmo que, perante um determinado número de iterações, escolhe aleatoriamente duas referências com o mesmo tipo de *container*, e da mesma família e testa a alternativa de as trocar de posição no *Layout*, confirmando de seguida se o número de

mudanças face ao mês anterior é menor. Se sim, efectua-se a alteração no *Layout*. Perante um número bastante elevado de iterações, o algoritmo conseguia diminuir substancialmente as mudanças face ao mês anterior, apesar de ser bastante exigente em termos de processamento.

Esta etapa culminou com a implementação do modelo em que ocorreu no dia 21 de Março de 2009. Como foi o primeiro *Layout* concebido a partir do algoritmo criado, as rotinas de melhoria não foram utilizadas.

O funcionamento do algoritmo de afectação foi o esperado, apesar de se terem registado alguns problemas na fiabilidade dos dados de necessidades fornecidos, onde se verificaram alguns erros.

Quanto à mudança em si, verificou-se que a etiquetagem foi muito demorada, em especial porque era necessário procurar as etiquetas constantemente, o que levou a que este processo tivesse demorado, com 2 pessoas, praticamente 8 horas, às quais se seguiram a arrumação dos *containers* nas devidas posições, o que no total elevou o tempo dispendido para aproximadamente 10 horas.

Além da etiquetagem, era ainda necessário criar listas em diversos formatos, tendo em conta as necessidades das pessoas que interagem com os produtos do supermercado, tais como listas específicas para *Milkruns* e listas gerais para os Chefes de Turno e de Equipa.

Seguiu-se um processo de acompanhamento da mudança efectuada.

Após o impacto inicial da mudança radical do *Layout*, notou-se que o novo método de preenchimento, apesar de reduzir os movimentos, não funcionou como esperado, especialmente a nível de cumprimento do *FIFO*, o que se compreende, até certo ponto, tendo em conta que realmente se tornou menos intuitivo visualmente. Especialmente devido a este facto, e após uma discussão com os interessados, resolveu-se adoptar novamente o método de preenchimento antigo, dentro das estantes, o que exigiu uma total remodelação do algoritmo de afectação, para se conseguir um funcionamento semelhante ao previamente concebido.

Com a implementação do *Layout* de Março tornou-se visível que, o processo de mudança em si, precisava de um planeamento mais completo, especialmente na área de etiquetagem e de construção de listas. Para isso construíram-se duas novas ferramentas.

A primeira baseava-se num método de gerar automaticamente as etiquetas, pela ordem que vão ser colocadas, para tornar o processo mais rápido, que é demonstrado de seguida:

<b>863826 2394-2409</b>
<b>863826 5403-5418</b>
<b>863826 6524</b>
<b>863826 1138</b>
<b>861334 0106</b>
<b>863826 5419-5434</b>

**Ilustração 26 – Ferramenta geradora de etiquetas – cada conjunto de 8 folhas dá origem a 40 referências ordenadas, com apenas 5 cortes**

Através desta ferramenta, conseguia-se imprimir facilmente as etiquetas ordenadamente, a partir de um *Layout* como *input*. Uma outra particularidade desta ferramenta foi o facto das etiquetas serem ordenadas de modo a que não seja necessário cortar cada uma individualmente, mas sim em grupos de 8 a 8, o que torna a tarefa de preparação da etiquetagem relativamente rápida.

A outra ferramenta prende-se com a geração automática de listas de posições das referências, também com base no *Layout* criado, como é exemplificado na imagem seguinte.

Referência	Família	Tipo	Estante	Referência	Família	Tipo	Estante
0088	Reserva/Sem Plano	-	40	8638265318	Audi	Principal	7
0096	Reserva/Sem Plano	-	19	8638265319	Audi	Principal	7
8638540144	PSA	Principal	29	8638265385	Audi	Principal	38/39
0191	Reserva/Sem Plano	-	41	8638245457	PSA	Principal	27
8613340245	Outros	LVEP+Tunner	10	8638245494	Fiat/Nissan	Principal	21 e 22
8613340246	Outros	LVEP+Tunner	10	8638245495	Fiat/Nissan	Principal	38/39
0247	Reserva/Sem Plano	-	19	8638245496	Fiat/Nissan	Principal	21 e 22
8638251069	PSA	Principal	28	8638265501	VW	Principal	5
8638251070	PSA	Principal	29	8638265502	VW	Principal	5
8638251071	PSA	Principal	28	8638265588	VW	Principal	3 e 4
8638251072	PSA	Principal	28	8638245670	VW	Principal	1
8638261098	Opel	Principal	8	8638245671	VW	Principal	2
1170	Reserva/Sem Plano	-	38/39	8638255716	Fiat/Nissan	Principal	20
8638251191	PSA	Principal	29	5718	Fiat/Nissan	Principal	40
8638261277	Outros	Ford	10	5736	Reserva/Sem Plano	-	38/39
8638251308	Opel	Principal	38/39	8638265806	VW	Principal	1
1309	Reserva/Sem Plano	-	40	8638266074	Audi	Principal	38/39
1312	Reserva/Sem Plano	-	40	8638256079	Opel	Principal	8 e 9
1314	Reserva/Sem Plano	-	40	8638256101	Fiat/Nissan	Principal	20
8638251594	Fiat/Nissan	Principal	23	8638246139	PSA	Principal	27 e 28
8638251596	Fiat/Nissan	Principal	24	8638246140	PSA	Principal	28
8638251597	Fiat/Nissan	Principal	25	8638246141	PSA	Principal	28
8638251600	Fiat/Nissan	Principal	24 e 25	8638246142	PSA	Principal	28
8638251602	Fiat/Nissan	Principal	25	8638246176	VW	Principal	4
8638251622	Fiat/Nissan	Principal	24	8638256378	PSA	Principal	29
8638251624	Fiat/Nissan	Principal	24	8638256379	PSA	Principal	29
8638251625	Fiat/Nissan	Principal	38/39	8638256381	PSA	Principal	29

### Ilustração 27 – Exemplo das Listas Criadas com a nova ferramenta

No dia 16 de Maio de 2009 procedeu-se a uma nova mudança de *Layout* no supermercado. Como já tinha sido descrito, a ordem de preenchimento dentro das estantes voltou ao método anterior, e desta vez, já se registaram poucos problemas na fiabilidade dos dados das necessidades, tendo em conta as correcções efectuadas depois da mudança anterior.

Há que distinguir, no entanto, que se obtiveram melhorias substanciais no processo de mudança em si. Só com a preparação prévia da etiquetagem conseguiram-se melhorias dos tempos em cerca de 40%, o que tornou possível uma mudança em cerca de 6 horas, no total, face às 10 horas da mudança anterior. A criação automática das listas também facilitou o trabalho pós-mudança.

#### 4.2 Subprojecto: Reformulação do cálculo do número de *Kanbans*

Um dos principais problemas levantados na reunião de dia 22 estava relacionado com a inconsistência do planeamento mensal de *MOE1*, com base num *Levelling* semanal, face a um planeamento também semanal de *MOE2*, assim como as discrepâncias entre a atribuição “A/C”, daí que sejam esses os principais problemas que esta ferramenta visa resolver.

Era prioritário criar um standard nesta temática, e o caminho era obviamente através da criação de uma nova ferramenta para o cálculo de *Kanbans*, com um horizonte temporal de uma semana. A principal vantagem inerente à diminuição do horizonte temporal prendia-se com o facto de sincronizar o escalonamento dos produtos nas categorias “A” ou “C” em

concordância com *MOE2*, o que antes era impossível e levantava diversos problemas de inconsistência a nível do planeamento, além de que a redução do horizonte temporal aumenta a flexibilidade e o rigor do dimensionamento.

O método matemático que foi seguido para o cálculo do número de *Kanbans* foi o modelo do *BPS*, apresentado na secção do Estado de Arte. Para tal, criou-se uma nova ferramenta de cálculo semanal, que vai ser descrita de seguida.

Refresh Data		Referência	Família	container	Tipo de Placa	Qtd - Plano Semanal	Qtd - Consumos máx. Diários	% peso dentro da linha	% acumulada do peso na linha	Atribuição A/C	Qtd Diária Média
1		8613360064	TT	24	Placa Principal	4116	588	25,17%	25,17%	A	588
2		8613340109	REGLERS	24	Placa Principal	1536	564	9,39%	34,56%	A	220
3		8613360215	TT	24	Placa Principal	1260	180	7,71%	42,27%	A	180
4		8613340182	TT	50	Placa Principal	945	190	5,78%	48,05%	A	135
5		8613360154	TT	24	Placa Principal	924	132	5,65%	53,70%	A	132
6		8613360113	TT	24	Placa Principal	816	120	4,93%	58,63%	A	117
7		8613360216	TT	24	Placa Principal	504	252	3,08%	61,77%	A	72
8		8613340246	TT	50	Placa Principal	480	100	2,94%	64,70%	A	69
9		8613360073	TT	24	Placa Principal	420	216	2,57%	67,27%	A	60
10		8613360212	TT	24	Placa Principal	420	60	2,57%	69,84%	A	60
11		8613360213	TT	24	Placa Principal	420	216	2,57%	72,41%	A	60
12		8613340072	IKM	50	Placa Principal	315	350	1,93%	74,33%	A	45
13		8613340111	REGLERS	24	Placa Principal	312	48	1,91%	76,24%	A	45
14		8613360165	TT	24	Placa Principal	300	48	1,83%	78,08%	A	43
15		8613340063	REGLERS	24	Placa Principal	288	132	1,76%	79,84%	A	42
16		8613360083	TT	24	Placa Principal	252	132	1,54%	81,38%	C	36
17		8613360121	TT	24	Placa Principal	252	132	1,54%	82,92%	C	36
18		8613360126	TT	24	Placa Principal	240	240	1,47%	84,39%	C	35
19		8613340081	IKM	50	Placa Principal	189	100	1,16%	85,54%	C	27
20		8613360172	TT	24	Placa Principal	180	180	1,10%	86,64%	C	26
21		8613360235	TT	24	Placa Principal	180	180	1,10%	87,75%	C	26

### Ilustração 28 – Excerto da nova ferramenta para o cálculo do número de *Kanbans*

Para começar, foi necessário criar uma interface que permitisse o fornecimento de dados directamente da base de dados do departamento de Logística, com informação do *Levelling* da semana seguinte. Depois de ultrapassada essa fase, e do respectivo tratamento dos dados, criou-se uma listagem automática das referências e respectivas quantidades, que servem de base ao cálculo do número de *Kanbans*, como se pode observar na figura anterior. Note-se que a informação sobre os picos da produção já é transmitida nesta fase. A partir desses dados atribui-se a classificação de “A”s e “C”s, com base na regra dos 80-20.

De acordo com o modelo *BPS*, o cálculo do factor base “RE” deve ser calculado com o valor da procura média e depois, adicionar com o factor “WI”, para contemplar os picos de produção. Neste caso torna-se lógico calcular o factor “RE+WI” imediatamente a partir dos valores de consumo máximo. Antes de iniciar o cálculo dos *Kanbans* é ainda necessário recolher os tempos de ciclo para cada produto, em cada linha, processo que também foi automatizado para ser mais eficiente:

Cycle Times (mins)												
SMD1	SMD10	SMD11	SMD12	SMD14	SMD16	SMD17	SMD18	SMD19	SMD20	SMD22	SMD23	SMD24
		0,57	0,72	0,69		0,58		0,44	0,59			
						0,21			0,32			
		0,50	0,63	0,57					0,37			
	0,50								0,65			
		0,33	0,58	0,57					0,54			
		0,63	0,78	0,75		0,62			0,60			
		0,55	0,50	0,55					0,46			
									0,50			
		0,72	0,67	0,78					0,60			
		0,48	0,67	0,75					0,68			
		0,42	0,65	0,75					0,68			
						0,33			0,29			
						0,10			0,19			
			0,69	0,78					0,56			
						0,30			0,31			
			0,55	0,53					0,50			
			0,70	0,78					0,66			
			0,72	0,79					0,56			
						0,73			0,40			
			0,68	0,77		0,35		0,14	0,58			
				0,69					0,54			

**Ilustração 29 – Automatização da procura dos Tempos de Ciclo**

Através dos tempos de ciclo e respectivo consumo, o ficheiro contempla um campo que contabiliza a percentagem da capacidade das linhas ocupadas com os produtos em questão:

Linha	turnos / semana	t abertura (min/dia)	Planned Operating Time (min/dia)	carga (min/dia)	OEE	ocupação da linha	Flutuação OEE (h)	RT Loop (mins)
SMD1	20	1.371	1.147	0	83,65%	0%	1,58	1.147
SMD10	20	1.371	1.021	0	74,45%	0%	1,33	1.021
SMD11	20	1.371	1.184	0	86,30%	0%	1,65	1.184
SMD12	20	1.371	1.259	0	91,84%	0%	1,39	1.259
SMD14	20	1.371	1.214	1.087	88,55%	89%	1,80	1.214
SMD16	20	1.371	1.188	0	86,66%	0%	1,35	1.188
SMD17	20	1.371	1.295	0	94,40%	0%	1,55	1.295
SMD18	20	1.371	1.214	0	88,53%	0%	0,92	1.214
SMD19	20	1.371	1.142	0	83,25%	0%	1,07	1.142
SMD20	20	1.371	1.274	1.184	92,86%	93%	0,84	1.274
SMD22	20	1.371	1.299	0	94,71%	0%	1,25	1.299
SMD23	20	1.371	1.316	0	95,97%	0%	0,53	1.316
SMD24	20	1.371	1.267	0	92,37%	0%	1,38	1.267

**Ilustração 30 – Cálculo de Ocupação das Linhas**

A fórmula de cálculo do número de *Kanbans*, segundo o modelo *BPS* é a seguinte:

Lot Size (unidades)	Lot size coverage (LO)	RT Loop (mins)	Replenishment time + peak coverage (RE + VI)	Nº turnos MF	Nº turnos IA	Time gap coverage (TI)	Safety Time (h)			Safety Factor (SA)	Nº de Kanbans necessários	Novo nº de Kanbans	Circuito anterior	Rampas do SM necessárias
							OEE fluctuations (h)	Customer Fluctuations (h)	Random Safety factor (h)					
216	8	1273,542164	25			0	2,65	0,34	1	5	38	38		8
216	8	1273,542164	24			0	0,84	-0,01	1	1	33	33		7
216	8	1273,542164	8			0	2,65	-0,31	1	1	17	17		4
300	5	1273,542164	3			0	0,84	0,00	1	0	8	8		2
216	8	1273,542164	6			0	2,65	0,05	1	1	15	15		3
216	8	1273,542164	5			0	2,65	0,18	1	1	14	14		3
216	8	1273,542164	11			0	2,65	0,13	1	1	20	20		4
300	5	1273,542164	2			0	0,84	0,00	1	0	7	7		2
216	8	1273,542164	9			0	2,65	0,00	1	0	17	17		4
216	8	1273,542164	3			0	2,65	0,05	1	0	11	11		3
216	8	1273,542164	9			0	2,65	0,19	1	0	17	17		4
300	5	1273,542164	7			0	0,84	-0,01	1	0	12	12		3
216	8	1273,542164	2			0	0,84	-0,02	1	0	10	10		2
216	8	1273,542164	2			0	2,65	0,01	1	0	10	10		2
216	8	1273,542164	6			0	0,84	0,00	1	0	14	14		3
216			6			0	2,65	0,00	1	0	6	6		2
216			6			0	2,65	0,00	1	0	6	6		2
216			10			0	2,65	0,04	1	0	10	10		2
300			2			0	0,84	0,05	1	0	2	2		1
216			8			0	2,65	0,00	1	0	8	8		2
216			8			0	2,65	0,00	1	0	8	8		2
216			4			0	2,65	0,11	1	0	4	4		1
216			7			0	2,65	0,00	1	0	7	7		2

Ilustração 31 – Cálculo dos elementos da fórmula *BPS* para o cálculo do número de *Kanbans*

O modelo apresentado é apenas um template que pode e deve ser ajustado, de um modo iterativo, para diminuir stocks. Os ajustes devem-se contemplar através da diminuição do factor de segurança e através da actualização do *lead time* de reaproveitamento, que inicialmente está predefinido para um dia de trabalho.

Há que realçar o desdobramento do factor de segurança “SA” nos três factores indicados pelo modelo *BPS* que não existia no anterior template. Para o seu cálculo foi necessário criar duas novas ferramentas que se passa de seguida a explicar.

A primeira está relacionada com as flutuações do *OEE*. Este cálculo está dependente de vários factores humanos susceptíveis de erro, nomeadamente no lançamento da duração das paragens. Devido a este factor é necessário a verificação manual e respectivo ajuste das paragens no sistema para a posterior validação dos *OEE*'s. Perante este facto, foi acrescentada uma rotina adicional à ferramenta de ajustes do cálculo do *OEE* para construir um histórico de valores aos quais, depois de um tratamento estatístico, são incluídos no cálculo do número dos *Kanbans*, tanto o valor médio, para o cálculo do “NPT” (tempo efectivo de produção), como a variabilidade do mesmo, sob forma de factor de segurança:

		83,65%	90,71%	90,65%	81,82%	92,32%	91,30%	89,63%	86,06%	74,45%	86,30%
		0,138038914	0,057817688	0,052293837	0,103480212	0,063492686	0,076475298	0,061907712	0,085126817	0,130091552	0,138994554
		40,69%	73,76%	77,30%	61,68%	77,92%	72,60%	76,49%	60,15%	43,54%	54,69%
		SMD1	SMD2	SMD3	SMD5	SMD6	SMD7	SMD8	SMD9	SMD10	SMD11
16-03-2009	Qualidade:	0,948666371	0,993827042	0,991808614	0,999197502	0,993505566	0,996799112	0,995469957	1	0,991121773	0,996947497
	Disponibilidade	0,576682093	0,960671296	0,950407091	0,963849587	0,825775463	0,887825428	0,961678241	0,996369957	0,772316721	0,79037162
	Velocidade	0,920465833	0,896006727	0,926425038	0,911175788	0,940348755	0,995627195	0,963280265	0,953433201	0,929954056	0,84532011
	O.E.E.	0,527327219	0,855569954	0,871719784	0,883713648	0,779237957	0,881153121	0,921957767	0,950250037	0,72208154	0,670894511
17-03-2009	Qualidade:	0,998874637	0,995260757	0,984731384	0,99874365	0,994760786	0,998270734	0,995952544	0,997660424	1	0,994807892
	Disponibilidade	0,973583035	0,947233796	0,972329075	0,842650463	0,998611111	0,775648148	0,916602874	0,941776984	0,615642398	0,725170763
	Velocidade	1,00639652	0,930982344	0,976433522	0,881394105	1,028383791	0,996191764	0,994154596	0,934318452	0,841266733	0,893520765
	O.E.E.	0,979524532	0,878014276	0,934347372	0,741636554	1,021557142	0,772277501	0,907097651	0,877859222	0,498804199	0,63781574
18-03-2009	Qualidade:	0,99869281	0,995486723	0,979788082	0,999521623	0,999006458	0,995685379	0,997860441	0,989690207	0,99713467	0,662037037
	Disponibilidade	0,994031473	0,964884259	0,97723763	0,855838136	0,888210092	0,954036135	0,983090278	0,971203704	0,695775463	0,987310078
	Velocidade	0,988401013	0,938486892	0,987507656	0,946820894	0,960416759	0,999725827	0,95949647	0,889444073	0,964783533	0,664295204
	O.E.E.	0,981262783	0,901423524	0,945326163	0,810989187	0,858744424	0,949656596	0,940888889	0,855955156	0,665373818	0,647032659
19-03-2009	Qualidade:	0,994421173	0,996059474	0,985004038	0,999754857	0,995808267	0,999197754	0,990789263	0,992641265	0,998792271	0,999194847
	Disponibilidade	0,877673611	0,957567586	0,860451699	0,86775463	0,941435185	0,98964462	0,965243056	0,844814815	0,921159398	0,999157208
	Velocidade	0,944163444	0,962326347	0,988131163	0,789900079	0,987433563	1,025877465	0,943496671	0,929319216	0,895813367	0,998718366
	O.E.E.	0,823462621	0,917399631	0,83705268	0,691291882	0,928793274	1,014425933	0,90342326	0,778446149	0,815972117	0,997074328

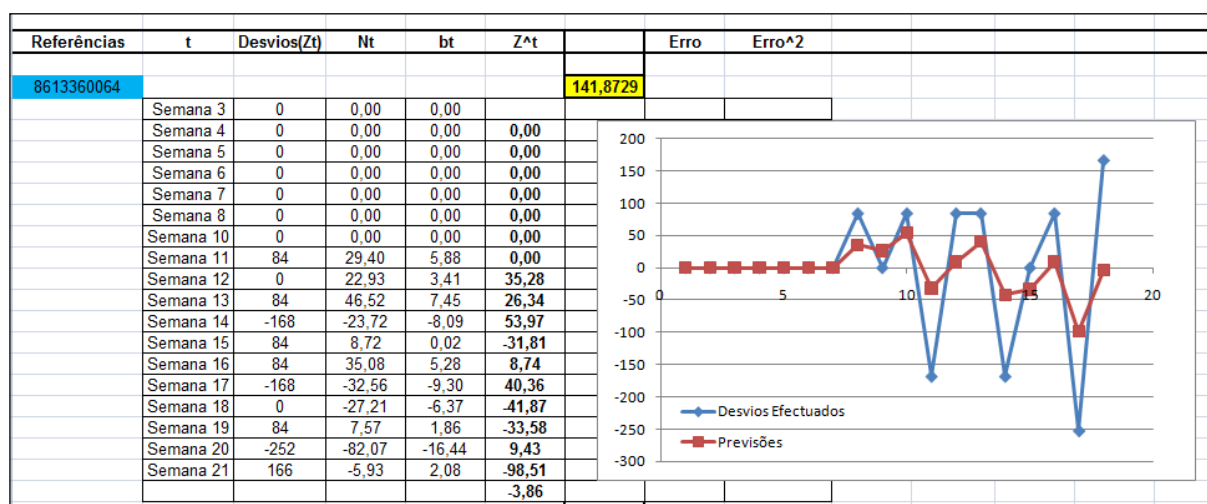
### Ilustração 32 – Excerto do histórico de *OEE*'s e respectiva análise estatística

A segunda prende-se com a variabilidade do consumidor. Esta análise revelou ter bastante interesse para outros temas além deste, apesar de ter sido esta a razão da sua criação. Esta ferramenta compara valores de duas fontes: quantidades provenientes do *Levelling* (quantidades planeadas) e quantidades provenientes do consumo real, exportado do sistema de informação (“SAP”). Uma amostra desta ferramenta pode ser observada na imagem que se segue:

		Data	18-05-2009	19-05-2009	20-05-2009	21-05-2009	22-05-2009	23-05-2009								
Referência	Tipo de Placa	Container	Segunda-Feira		Terça-Feira		Quarta-Feira		Quinta-Feira		Sexta-Feira		Sábado		Total	
			Planeado	Real	Planeado	Real	Planeado	Real	Planeado	Real	Planeado	Real	Planeado	Real	Planeado	Real
8638251072	Placa Principal	50	0	0	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0	80	80
8638251071	Placa Principal	50	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	200
8638246401	Placa Principal	48	1000	1700	1000	1800	1000	1500	1000	1400	1200	1236	0	500	5200	8196
8638246397	Placa Principal	48	100	0	200	100	400	400	400	400	200	258	0	0	1300	1168
8638261138	Placa Serviço	50	0	0	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0	80	80
8638261137	Placa Serviço	75	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	200
8638266525	Placa Serviço	75	1100	1400	1200	1600	1300	1500	1300	1700	1400	1237	0	300	6300	7797
8638266524	Placa Serviço	50	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	0	200	200
8638247712	Placa Tunner	64	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	200
															0	0

**Ilustração 33 – Análise de desvios do consumidor**

Entretanto, o procedimento, de seguida, foi semelhante ao anterior. Acrescentou-se uma rotina para extrair um histórico de valores do *overview* semanal de desvios através da utilização da ferramenta pelos restantes colaboradores e depois, com esse histórico, utilizou-se um método de previsão, segundo o modelo linear de *Holt*, para extrair tendências de desvios e efectuar previsões para os mesmos (ver anexo “D”), individualmente, sendo essa previsão depois traduzida em horas de produção para ser incluída no factor de segurança. O que se pretende é conseguir afectar o stock de segurança, de um determinado produto, com base numa previsão de variação do consumidor, quer seja positiva, quer negativa, identificando tendências, como por exemplo, um produto que seja consistentemente planeado a mais do que realmente é consumido é afectado negativamente na dimensão do stock de segurança, e vice-versa. De seguida é apresentado um exemplo de uma análise da variação do consumo:



**Ilustração 34 – Exemplo de uma previsão da variação do consumo**

Depois de incluídos estes dois factores no cálculo do stock de segurança, também de forma automática, a partir de uma macro que faz a actualização do histórico, obtém-se o número de *Kanbans* necessários para cada produto. Note-se ainda que após este cálculo o ficheiro dimensiona automaticamente o número de rampas de supermercado necessárias para

arrumar o número máximo de *containers* no processo produtivo, que irá constituir a lista de necessidades do supermercado.

### 4.3 Subprojecto: Planeamento da Preparação de Fases

Na reunião de dia 22 de Junho foi levantado o problema dos atrasos na preparação das fases, essencialmente devido a um planeamento ineficaz, que provoca atrasos nos *setups* e, consequentemente, atrasos em determinados produtos e excessos de produção noutros, originando stocks desnecessários e falhas nas sequências produtivas.

Este planeamento, anteriormente, era efectuado com base nos planos diários de produção (ordem dos *Kanbans*) de cada uma das linhas e respectivas previsões das horas em que vão ser necessárias determinadas fases, com um elevado grau de erro, assistido pelos chefes de equipa que fazem um acompanhamento da produção e comunicam aos responsáveis as prioridades a tomar, o que acaba por resultar em ordens imprecisas, devido à dificuldade em conjugar a informação simultânea de todas as linhas.

Perante este cenário, criou-se um sequenciador da produção que permita colmatar as falhas no planeamento da preparação das fases ao providenciar previsões mais precisas e actualizadas em tempo real, face ao que está a ser produzido, nas diversas linhas, para providenciar um ponto de vista geral sobre as necessidades de fases em todo o parque de máquinas. O objectivo é colocar esta informação facilmente disponível para todos os interessados, quer sejam os operadores que têm de preparar as fases, quer sejam os responsáveis informáticos pelo *software* necessário à respectivamente mudança, ou até os planeadores da produção e chefes de equipa acompanharem a produção.

A construção desta ferramenta passou por uma adaptação de um sequenciador da produção já existente, que era comumente utilizado pelos planeadores para obter previsões das horas a que determinada produção ia estar concluída. Numa fase inicial, era necessário refinar essas previsões, e, para isso, recorreu-se a dois tipos de dados: aos lançamentos da produção dos operadores (lançamentos efectuados por computadores portáteis, em intervalos regulares, ou, na grande maioria das vezes, no fim da produção de determinado produto – Ilustração 35) e à base de dados *ANDON* (informação em tempo real dos produtos que estão a ser produzidos nas diversas linhas através da informação dos débitos dos aparelhos de inspecção nas linhas – Ilustração 36).

	A	B	C	D	E	F	G
1	DATALANC	LINHA	TURN	PRODUTO	QTDPRC	QTDREFUG	QTDPRODMAU
2	07-06-2009 00:00	8150-111	LC1	8638246557	159	0	0
3	07-06-2009 00:00	8150-129	LC1	8638568803	171	0	0
4	07-06-2009 00:00	8150-127	LC1	8638245494	107	0	0
5	07-06-2009 00:00	8150-12A	LC1	8638265090	115	0	0
6	07-06-2009 00:01	8150-114	LC1	8638262722	880	0	0
7	07-06-2009 00:03	8150-124	LC1	8638242722	323	0	0
8	07-06-2009 00:05	8150-125	LC1	8638245933	400	0	0
9	07-06-2009 00:06	8150-125	LC1	8638242627	88	0	0
10	07-06-2009 00:39	8150-11U	LC3	8638241308	0	0	1
11	07-06-2009 00:44	8150-11U	LC3	8638241308	0	0	1
12	07-06-2009 01:07	8150-12D/00000003	LC3	8638251624	129	0	0
13	07-06-2009 01:23	8150-124	LC3	8638246177	37	0	0
14	07-06-2009 01:24	8150-11U	LC3	8638241308	0	0	1
15	07-06-2009 01:24	8150-114	LC3	8638266744	118	0	0
16	07-06-2009 01:24	8150-121	LC3	8638262857	180	0	0
17	07-06-2009 01:36	8150-12S	LC3	8613360212	62	0	0
18	07-06-2009 01:45	8150-12D/00000003	LC3	8613350073	275	0	0
19	07-06-2009 01:52	8150-125	LC3	8638261140	1608	0	6
20	07-06-2009 01:54	8150-12D/00000003	LC3	8613350208	172	0	0
21	07-06-2009 01:57	8150-11U	LC3	8638241828	0	0	1
22	07-06-2009 01:59	8150-12A	LC3	8638560013	130	0	0
23	07-06-2009 02:06	8150-127	LC3	8638246894	0	0	8
24	07-06-2009 02:11	8150-111	LC3	8638245814	185	0	0

**Ilustração 35 – Excerto da informação proveniente dos lançamentos dos operadores**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	id	version	linha	produto	placasproduzidas	placasproduzidasturno	maus	totaldefeitos	componentesinseridos
2	1	174648	SMD01	48949	124	124	5	5	67952
3	2	166380	SMD02	42850	35	35	1	1	68997
4	3	207008	SMD03	47558	100	100	1	0	77172
5	4	88225	SMD05	66733	585	0	0	0	0
6	5	197854	SMD06	48976	480	54	2	8	48438
7	6	186684	SMD07	46894	176	123	3	4	81672
8	7	171185	SMD08	42721	18313	110	2	419	120560
9	8	190724	SMD09	46903	328	118	0	2	100064
10	9	208248	SMD10	45630	44	44	1	0	36812
11	10	226353	SMD16	42733	55	55	3	3	18952
12	11	109736	SMD19	48440	114	114	1	0	15276
13	12	206686	SMD20	40165	49	49	0	0	18789
14	13	170539	SMD21	62722	2328	0	0	4	0
15	14	119966	SMD22	66988	318	80	1	3	32320
16	15	238483	SMD23	61454	224	122	0	0	38674
17	16	220825	SMD24	66525	843	510	0	1	19890

**Ilustração 36 – Exemplo da informação proveniente do ANDON em tempo real**

Estas duas fontes de informação, conjugadas com o plano de uma determinada linha, tornaram possível construir um algoritmo que ajusta automaticamente as previsões de quando, cada um dos produtos dessa linha, vai ser produzido, dando origem ao sequenciador da produção demonstrado de seguida:

SMD20										
0:02:01	2:00:18	6:04:41	9:06:00	11:36:25	14:06:50	15:36:23	16:15:59	20:36:43	#VALUE!	#VALUE!
<b>CRONOGRAMA</b>										
Aparelho	40108	40155	40150	40165	40172	40171	40201	40212		
Qtd. Planeada	192	360	264	240	72	168	72	384		
Qtd. Produzida	200	411	284	(49)						
Tempo de Ciclo	0,498	0,613	0,616	0,559	0,583	0,533	0,55	0,679		
Setup	H-C R A 01	H-C R A 01	H-C R A 01	H-C R A 01	T-C D A 01	T-C D A 01	H-C R A 01	H-C R A 01		
PCB	0179V01	0179V01	0179V01	0179V01	0172a4	0172a4	0178V01	0170V01		
Duração Prevista	01h35m	03h40m	02h42m	02h14m	00h41m	01h29m	00h39m	04h20m		
Duração Real	01h58m	04h04m	03h01m	02h30m						
Qt. Horária	120	98	97	107	103	113	109	88		
Comp./Hora	18 193	17 716	9 838	19 213	12 762	19 250	18 000	15 022		

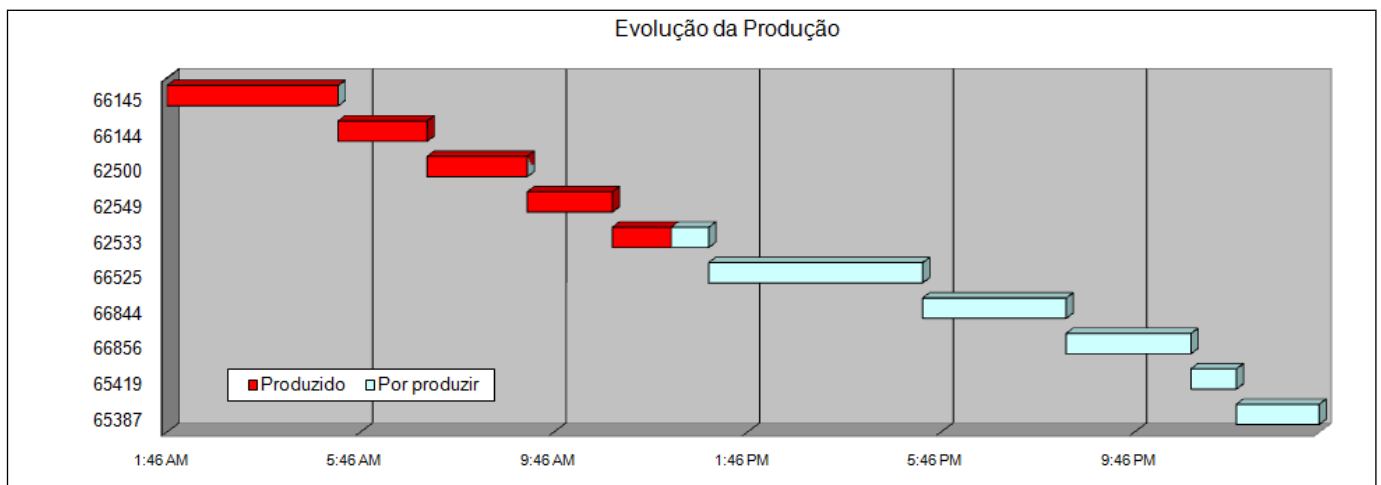
### Ilustração 37 – Sequenciador da Produção

Além da previsão horária, automatizou-se o processo de identificar os materiais necessários para cada produto, nomeadamente a fase necessária e o respectivo *PCB*, adicionando-se essa informação ao sequenciador, para depois ser possível fazer o escalonamento dos *setups*, por horas, para planear a preparação de fases. Observe-se a demonstração do funcionamento da ferramenta criada:

Com o exemplo demonstrado pode-se verificar o funcionamento descrito anteriormente. Para começar o algoritmo lê o plano inserido (40108 -> 40155 -> ...), com as respectivas quantidades planeadas. De seguida vai aos lançamentos dos operadores, para a linha *SMD20* e calcula a que hora se começou efectivamente a manufacturar o primeiro produto do plano. De seguida, ajusta-se, ainda de acordo com os lançamentos, as quantidades que foram realmente produzidas e as horas a que realmente terminaram a sua realização.

O procedimento altera-se quando se chega àquilo que está a ser produzido no momento (que neste caso é o 40165) onde o algoritmo verifica os dados provenientes do *ANDON* e, face à percentagem da quantidade planeada que já foi produzida, ajusta a previsão, em tempo real, de uma forma balanceada entre o tempo de ciclo teórico e o tempo de ciclo real para o que já foi produzido.

Com base no sequenciador, é possível traduzir facilmente a informação de uma forma visualmente mais apetecível, como por exemplo através de diagramas de *Gantt*:



### Ilustração 38 – Diagrama de Gantt do Sequenciador da Produção

Por fim, apresenta-se o modelo proposto de sequência para a preparação de fases, manipulando os dados provenientes do sequenciador:

Linha	Referência	Setup Anterior	Setup Seguinte	PCB Anterior	PCB Seguinte	Hora Prevista
SMD20	40215	T-C D A 01	H-C R A 01	0179V01	0179V01	6:51
SMD24	62549	B-C E A 02	B-C E A 01	6525d06	2679d03	6:57
SMD10	42721	S-C W A 01	A-C O A 01	8592g01	8592g01	7:22
SMD20	40171	H-C R A 01	T-C D A 01	0179V01	0172a4	7:49
SMD1	42850	C-C N A 01	C-C N A 01	7844d04	7844d04	8:19
SMD18	48977	J-C M A 01	P-C B A 01	6709d03	6137d04	8:52
SMD1	42851	C-C N A 01	C-C N A 02	7844d04	7844d04	8:58
SMD24	66525	B-C E A 01	B-C E A 02	2679d03	6525d06	9:15

### **Ilustração 39 – Modelo proposto para planeamento da preparação de fases**

Esta ferramenta, até à data de conclusão da tese, não foi implementada, essencialmente devido à falta de tempo.

#### **4.4 Subprojecto: Acompanhamento dos testes na linha SMD20**

A ideia do teste piloto na linha *SMD20* surgiu com o objectivo de revitalizar as regras básicas do funcionamento com *Kanbans*, como ponto de partida para uma nova tentativa de implementação, através do levantamento de problemas, criação de planos de acção e acompanhamento das melhorias.

Note-se que a linha de inserção automática *SMD20* foi a escolhida para o efeito por ser, de certo modo, mais estável e mais facilmente controlável que as restantes. É uma linha que produz essencialmente módulos para controlar caldeiras e esquentadores, que são produzidos exclusivamente no Piso 2, o que simplifica desde logo o controlo do fluxo de materiais.

Numa fase inicial deste teste piloto tentou-se simplesmente relembrar um pouco as regras fundamentais do funcionamento com os *Kanbans*. Para isso, e tendo em conta que não estavam reunidas condições para impor um funcionamento *Pull* puro na linha, forçou-se o uso dos cartões, servindo apenas como limitador de produção. Ou seja, os planeadores ainda eram os responsáveis pelas ordens de produção mas, tinham de o fazer em cartões, o que desde logo limitava os excessos de produção, porque só quando os cartões fossem devolvidos é que podiam voltar a ser planeados.

Esta sistemática esteve em funcionamento cerca de duas semanas, o que tornou possível fazer uma desabituacão ao sistema “plano em papel” anterior, além de tornar possível relembrar aos intervenientes no ciclo produtivo a importância do fluxo e do correcto manuseamento dos cartões *Kanban*.

Depois de concluída esta etapa e, após a *Workshop* de dia 22 de Junho, seguiram-se várias discussões com a equipa que conduziram ao próximo passo, uma primeira tentativa de

implementação de um sistema híbrido *Pull* e *Push* para os produtos “A” e “C”, respectivamente.

Para isso, e com a ajuda do novo sistema de cálculo do número de *Kanbans* apresentado, sincronizou-se a atribuição “A/C” com o *MOE2*, semanalmente segundo a regra dos 80-20.

Criaram-se as seguintes regras para a produção do *Reflow*:

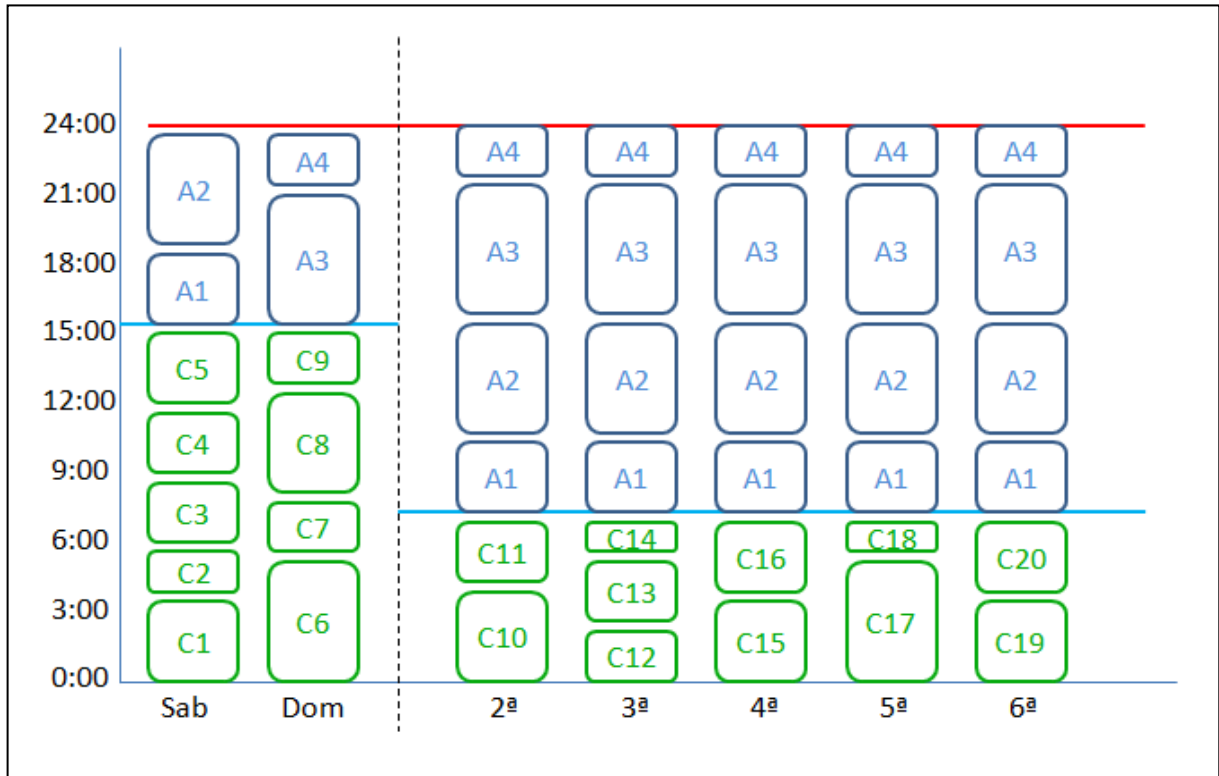
- Em caso de falta de capacidade produtiva devem ser assegurados primeiro os produtos “C”;
- São estabelecidas janelas horárias fixas diariamente. Na primeira dessas janelas são produzidos “C”s, planeados de acordo com o *Levelling*. Na segunda janela são produzidos os produtos “A”s, em funcionamento *Pull*.
- Deve-se ser rigoroso na hora de mudança de tipo de produção;
- Para a produção nas linhas radiais e Face B, deve ser mantido o *FIFO* do *Reflow*;
- O planeamento da produção de “C”s é feita através de cartões *Kanban* de “viagem única”, ou seja, devem ser devolvidos quando voltam do supermercado;
- Os cartões dos “A”s, quando voltam do supermercado, devem construir lote, na mesma ordem de chegada ao supermercado. Quando construído o lote, os cartões devem ser transferidos para o sequenciador;
- Os “C”s não podem ser produzidos com mais de 2 dias de antecedência, para contemplar a produção durante o fim-de-semana.

Com base nestas regras, deu-se um grande passo na revitalização do *Pull*.

No fim-de-semana anterior a esta implementação, em conjunto com *MOE2* definiram-se os “A”s e a sua respectiva ordem de produção diária, que devia ser repetida todos os dias. Calculou-se o número de *Kanbans* necessários para cada produto com um grau de segurança reduzido, já que a linha em questão estava com pouca capacidade produtiva face ao que lhe era exigido, e o excesso de cartões no circuito só ia diminuir a agilidade da linha para reagir ao consumo do cliente.

Os resultados obtidos (até à data e conclusão desta tese) foram bastante satisfatórios, na medida em que se conseguiu reduzir drasticamente os stocks dos produtos “C” e conseguiu-se abastecer os produtos “A”s com menos falhas do que na semana anterior, o que demonstra sinais positivos quanto ao funcionamento do fluxo de informação e da nova ferramenta de planeamento criada.

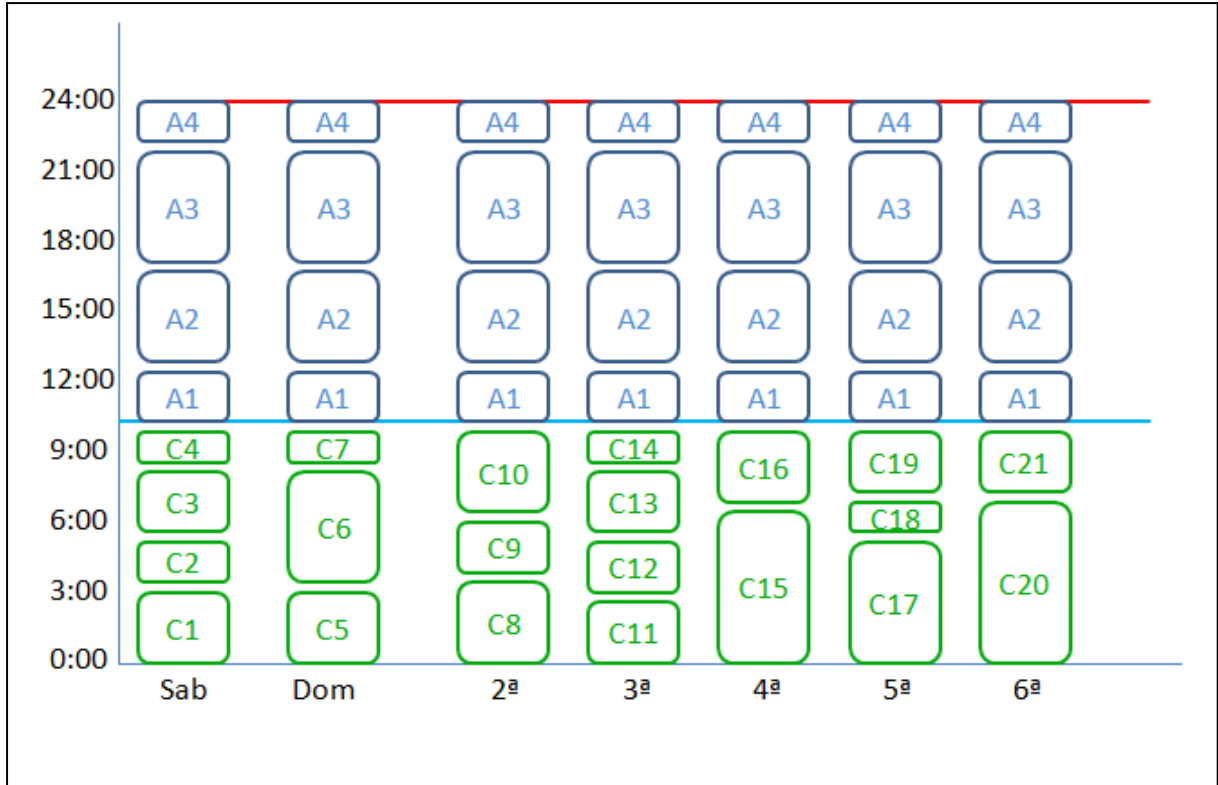
De seguida demonstra-se um diagrama simplificado para ilustrar o planeamento da semana em questão.



**Ilustração 40 – Modelo de Planeamento da linha SMD20**

Como se pode verificar, há uma clara distinção no planeamento entre produtos “A”s e “C”s. Estes últimos (representados a verde no gráfico anterior) “preenchem” a capacidade da linha nos períodos que lhes são alocados, seguindo uma sequência que é planeada, de acordo com as necessidades do Levelling. Por outro lado, os produtos “A”s são produzidos de acordo com a ordem dos cartões Kanban, sem qualquer interferência na ordem.

Nesta fase inicial optou-se por dividir a produção de “A”s em 6 tranches ao longo da semana (produzindo só uma dessas tranches ao fim-de-semana) em vez das 7 que seria lógico, com o objectivo de reduzir o risco nos produtos “C”, ao criar um buffer mais elevado que, numa fase posterior, pode e deve ser reduzido, até se atingir um modelo semelhante ao seguinte:



**Ilustração 41 – Futuro Modelo de Planeamento da linha SMD20**

Com os resultados obtidos percebeu-se que é preciso uma grande disciplina do cliente (MOE2) para produzir os “A”s sempre pela mesma ordem, ao longo da semana, para consequentemente, na linha SMD20 se conseguir obter a tal estabilidade que se necessita para um sistema deste tipo funcionar. Quando isto estiver assegurado o próximo passo é começar a controlar o stock no supermercado de produto acabado para se poder, em caso de atraso, amortecer esse atraso nos “A”s, um pouco em cada um, estipulando horas certas a que, naquela semana, é produzido cada um desses produtos (por exemplo, no diagrama anterior, o “A1” ia ser produzido todos os dias das 7:30 até às 12:00, independentemente de ter produzido os cartões todos que devia, ou não), enquanto neste momento, em caso de atraso, esse atraso vai se propagar, sendo sempre o produto seguinte a ressentir-se.

## 5 Conclusões Finas e Perspectivas Futuras

### 5.1 Conclusões Finais

Pode-se concluir, com este projecto, que a implementação de uma filosofia de produção *Pull* exige um sério compromisso de todos os colaboradores envolvidos, assim como empenho e rigor da gerência.

Devido à complexidade do processo produtivo e ao *mix* de produtos, tem de se perceber que há muito trabalho a ser realizado para que a implementação deste projecto seja um sucesso, tendo em conta que, por essa razão, os objectivos traçados, dentro do horizonte temporal em questão, passavam por analisar e resolver alguns dos muitos problemas que levaram ao falhanço da primeira tentativa de implementação desta filosofia. Esta nova implementação irá ocorrer num futuro próximo, tendo sido dados, nos últimos dias e até à conclusão desta tese, passos importantes em direcção ao objectivo principal.

Tendo em conta estas premissas, atente-se no trabalho desenvolvido.

Em relação ao subprojecto de Automatização do Supermercado de Produto Acabado, pode-se concluir que a ferramenta criada obteve resultados bastante positivos, na medida em que agilizou o processo de mudança de *Layout*. Espera-se, num futuro próximo, a criação dum sistema que controle os stocks máximos e mínimos no supermercado, o que vai certamente beneficiar a ferramenta criada, face ao sistema manual anterior, que tornava muito difícil alguma vez se ambicionar-se um funcionamento eficaz e correcto do supermercado do produto acabado. Um outro aspecto a melhorar no supermercado está relacionado com os movimentos dos *Milkruns*. Tendo em conta que, no caso dos auto-rádios, há placas que são sempre pedidas em simultâneo (por exemplo uma placa principal e uma de serviço para o mesmo rádio), seria interessante tentar juntar uma rotina na criação do *Layout* que contabilize este pormenor e que tente melhorar a solução quanto ao desperdício de movimentos, alocando estas placas perto umas das outras.

Quanto ao subprojecto de Reformulação do Cálculo do Número de Kanbans, pode-se afirmar que a ferramenta criada está preparada para alargar o seu funcionamento às outras linhas, tendo em conta que já foi testada para o piloto da linha *SMD20*, com sucesso, revelando ser mais prática e precisa que a ferramenta anterior, além de permitir resolver uma das principais incongruências entre o planeamento da Inserção Automática e da Montagem Final: o horizonte de planeamento. Numa fase posterior à implementação do *Pull*, pode-se recorrer a outras ferramentas para o cálculo do número de *Kanbans*, como por exemplo o cálculo através de modelos de simulação ou de optimização por programação inteira.

O novo modelo de planeamento da preparação de fases ainda não foi implementado, na medida em que a ferramenta criada pressupõe um funcionamento global, para todas as linhas, em simultâneo, para ser eficaz, daí que não seja possível quantificar, nesta fase, os resultados da mesma. No entanto, devido à capacidade de providenciar previsões muito mais precisas do

que a ferramenta actualmente utilizada (plano das linhas), espera-se obter resultados positivos com esta implementação.

Por fim, resta deixar uma nota quanto às experiências realizadas na linha *SMD20*. A evolução do planeamento nesta linha piloto foi bastante positiva, e espera-se implementar brevemente um sistema semelhante nas restantes linhas.

## 5.2 Perspectivas Futuras

Quanto às perspectivas futuras há que lembrar que o projecto ainda está numa fase inicial e que, como foi demonstrado na secção de levantamento de ineficiências do processo de planeamento, o caminho a percorrer é longo, e, apesar de tudo é necessário haver persistência e rigor. De seguida apresentam-se alguns dos tópicos que se espera que sejam abordados numa fase seguinte do projecto:

É necessário trabalhar em áreas a nível interno, como por exemplo, a problemática do não cumprimento do *FIFO* ao longo do processo produtivo na Inserção Automática, assim como é necessário trabalhar em temáticas interdepartamentais, como as inconsistências entre tamanhos de lote de materiais fornecidos, face ao número de placas por *container*, até ao número de placas por palete, o que provoca desperdícios elevados ao longo de todo o processo, e que exige um trabalho árduo, desde os fornecedores até aos clientes.

Deve-se ainda destacar a falta de estabilidade do processo produtivo que em nada ajuda a implementação do *Pull*, pois se manifesta através de faltas de material, ou nos atrasos das fases, o que leva consistentemente a quebras na produção, ou a produções em excesso e respectiva ocupação indevida de capacidade produtiva sem necessidade, o que também se prevê que seja analisado e controlado.

Finalmente, resta salientar que o projecto está bem encaminhado e que os objectivos a que se propõe são actualmente exequíveis, face aos resultados já alcançados e face à motivação e vontade de mudar demonstrados pelos intervenientes.

## 6 Referências e Bibliografia

CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Roberts; AQUILANO, Nicholas J. – *Operations Managements for Competitive Advantage with Global Cases*, McGraw-Hill Eleventh Edition;

EUCLIDES, A. Coimbra – *Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains*, the Kaizen Institute First Edition 2009;

BERKLEY, B. J. - *Effect of buffer capacity and sequencing rules on single-card kanban system performance*, International Journal of Production Research, 1993, vol. 31, n.12, pp. 2875-2893; [Consult. 29 Jun. 2009]. Disponível em WWW:

<<http://www.informaworld.com/smpp/ftinterface?content=a777915295&rt=0&format=pdf>>

BERKLEY, B. J. - *Testing minimum performance levels for kanban-controlled lines*, International Journal of Production Research, 1994, vol. 32, n. 1, pp. 93-109; [Consult. 29 Jun. 2009]. Disponível em WWW:

<<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3884749>>

BITRAN, G. R.; CHANG, L. - *A mathematical programming approach to a deterministic kanban system*, Management Science, 1987, vol.33, n.4, pp. 427-441; [Consult. 29 Jun. 2009]. Disponível em WWW:

<<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=34013>>

ABDOU, G.; DUTTA, S. P. - *A systematic simulation approach for the design of JIT manufacturing systems*, Journal of Operations Management, n. 11, 1993, pp. 225-238; [Consult. 29 Jun. 2009]. Disponível em WWW:

<[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6VB7-45K1NJY-3K&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrId=943998248&\\_rerunOrigin=google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_u serid=10&md5=30ce358de70657c577cf5e5b1535c661](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VB7-45K1NJY-3K&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=943998248&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_u serid=10&md5=30ce358de70657c577cf5e5b1535c661)>

MONDEN, Y. - *What makes the Toyota production system really tick?*, Industrial Engineering, 1981, vol.13, n.1, pp. 36-46; [Consult. 29 Jun. 2009].

PHILIPOOM, P.R.; REES, L.P.; TAYLOR III, B. W.; HUANG, P. H. – *A mathematical programming approach for determining workcentre lotsizes in a justin- time system with signal kanbans*, International Journal of Production Research, 1990, vol. 28, n. 1, pp. 01-15; [Consult. 29 Jun. 2009]. Disponível em WWW:

<<http://www.informaworld.com/smpp/ftinterface?content=a776267273&rt=0&format=pdf>>

TREADWELL, Mark A.; HERMANN, Jeffrey W. – *A Kanban Module for Simulating Pull Production in Arena*, Winter Simulation Conference 2005; [Consult. 29 Jun. 2009].

Disponível em WWW:

<<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1162708.1162956>>

<http://hubpages.com/hub/Pull-Production-Kanban/> [Consult. 12 Mai 2009]

[http://elsmar.com/Pull\\_Systems/sld010.htm/](http://elsmar.com/Pull_Systems/sld010.htm/) [Consult. 12 Mai 2009]

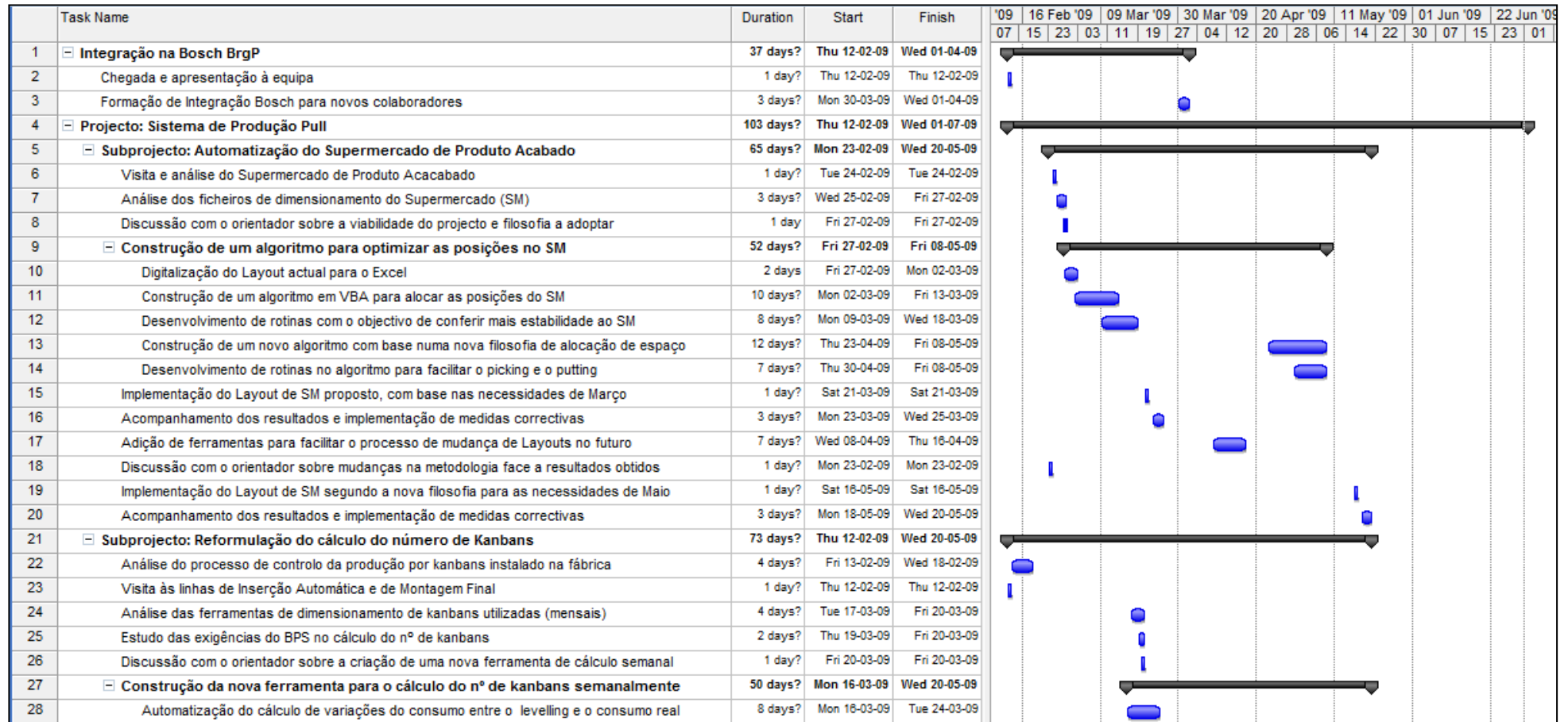
<http://www.allbusiness.com/management/623635-1.html/> [Consult. 27 Mar 2009]

[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2000\\_E0097.PDF/](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2000_E0097.PDF/) [Consult 23 Mar 2009]

ALMADA LOBO, B. – [projecção visual] *Métodos Quantitativos de Apoio à Decisão*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008;

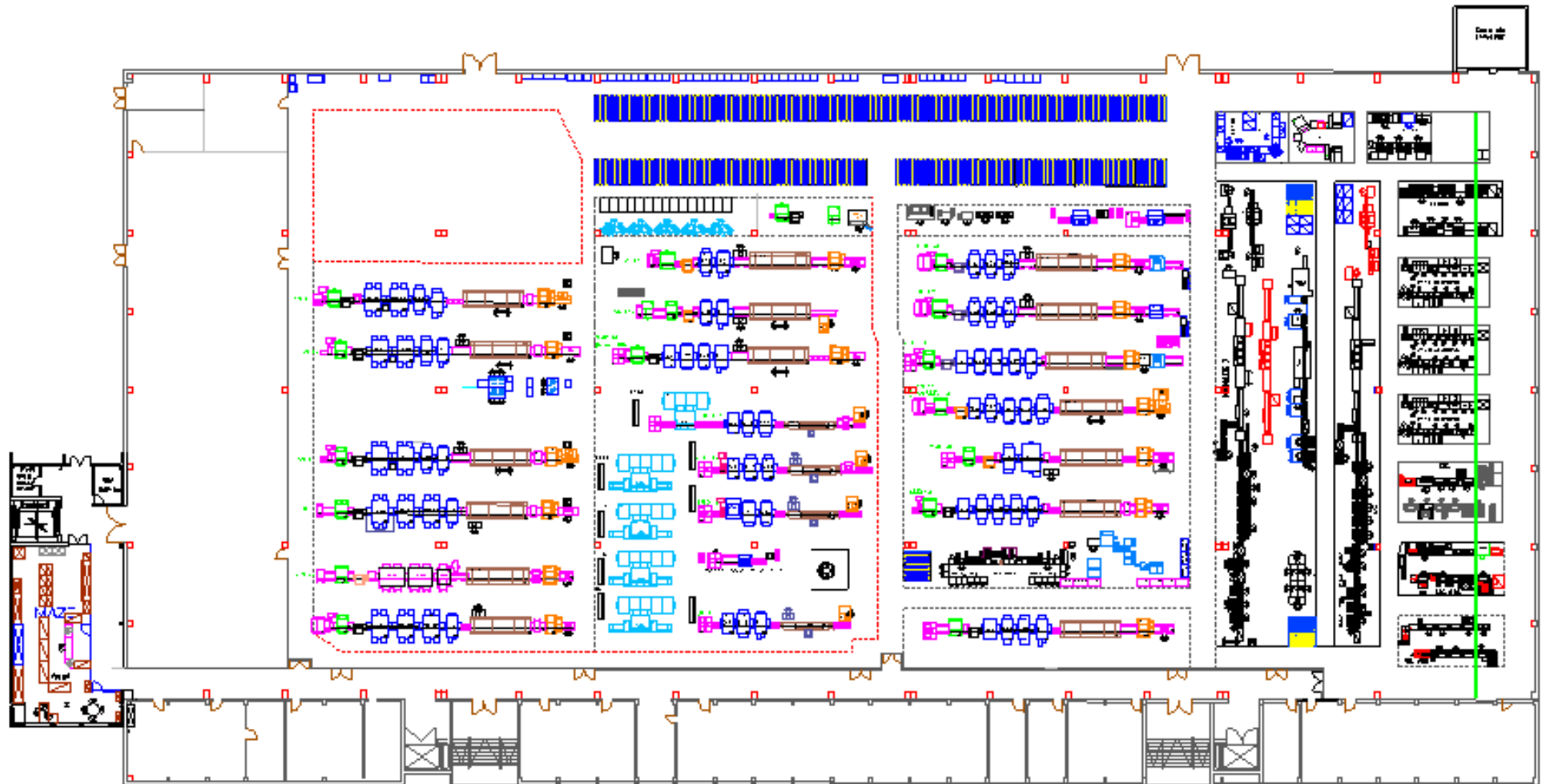
ALMADA LOBO, B. – [projecção visual] *Gestão de Manutenção*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

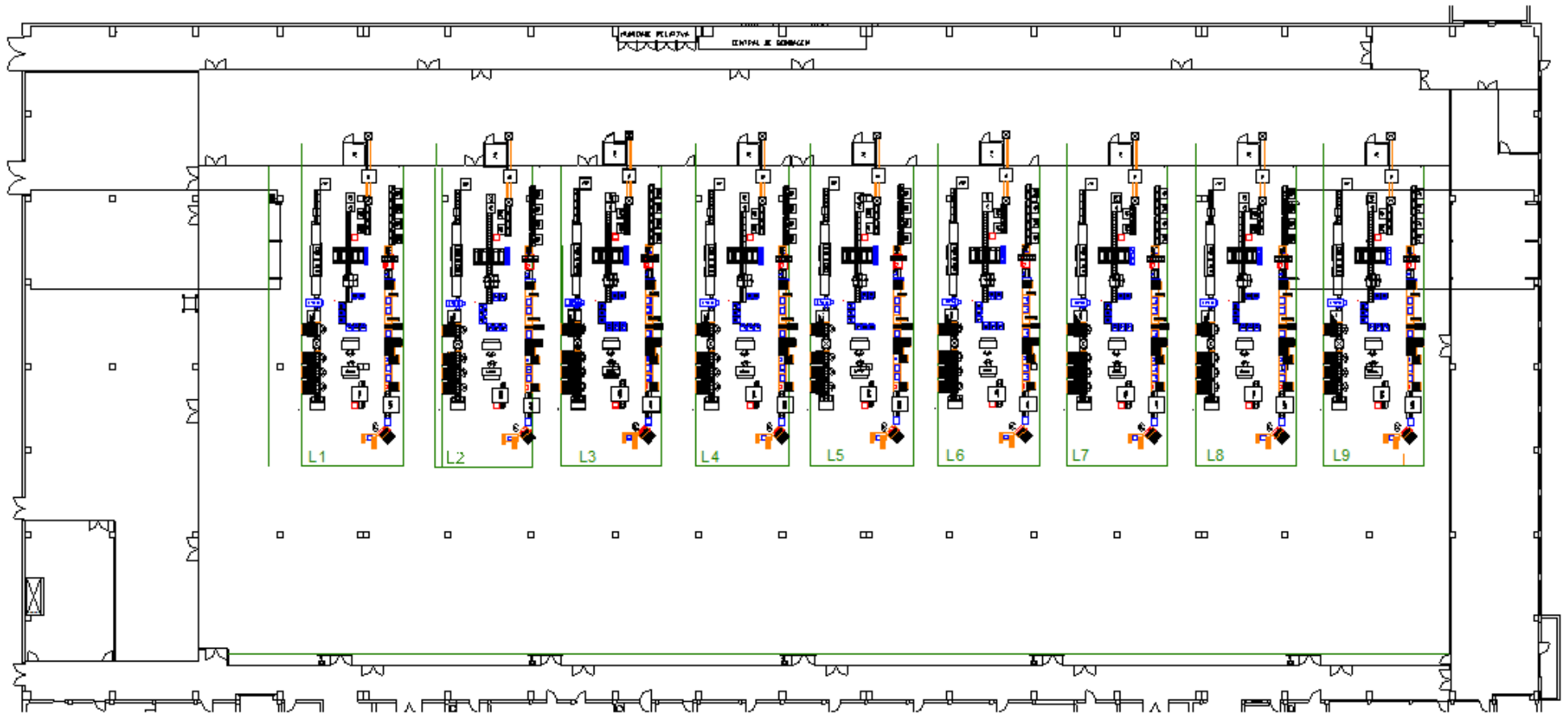
## **ANEXO A: Diagrama de *Gantt* do Projecto**



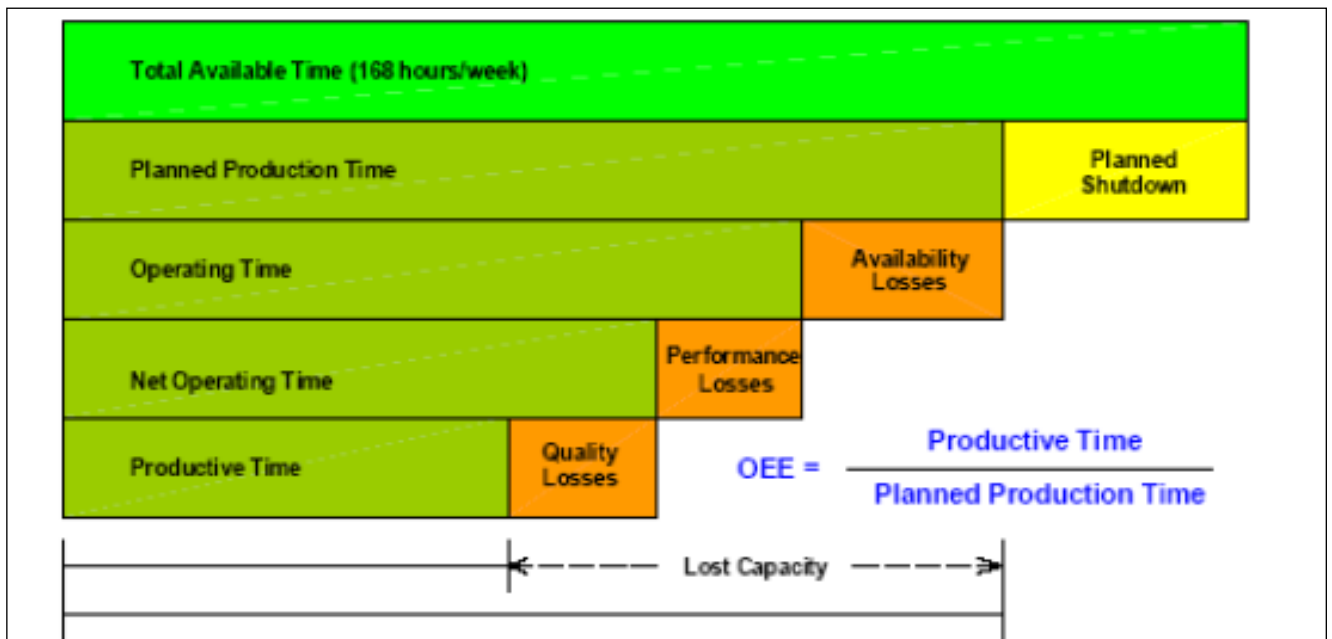
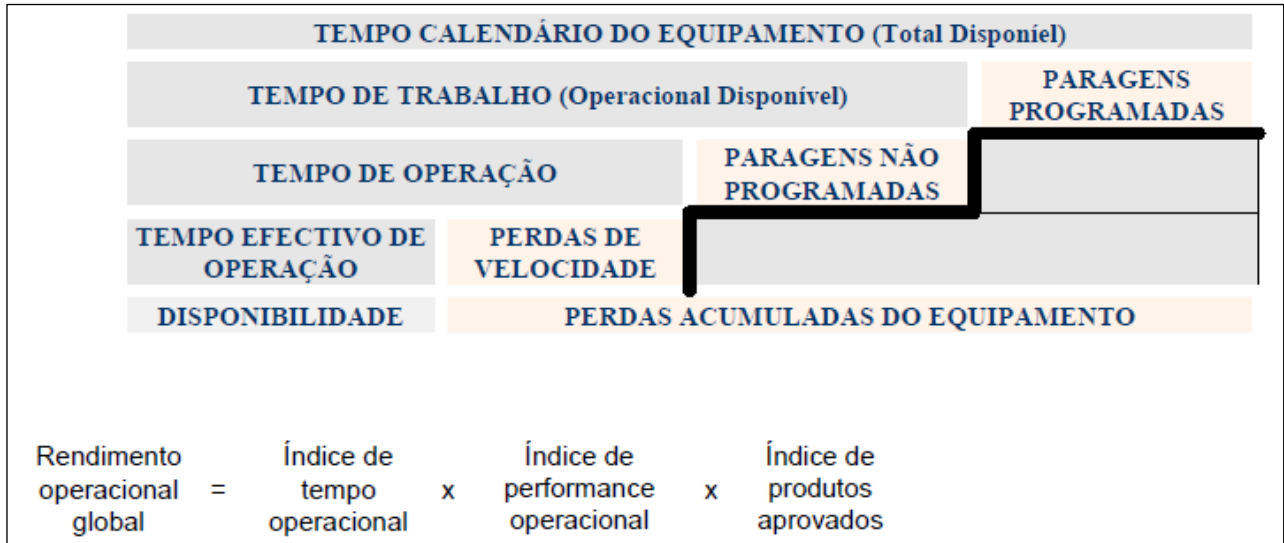
Task Name	Duration	Start	Finish	'09	16 Feb '09	09 Mar '09	30 Mar '09	20 Apr '09	11 May '09	01 Jun '09	22 Jun '09							
				07	15	23	03	11	19	27	04	12	20	28	06	14	22	30
29	3 days?	Tue 24-03-09	Thu 26-03-09															
30	3 days?	Mon 06-04-09	Wed 08-04-09															
31	1 day?	Tue 07-04-09	Tue 07-04-09															
32	4 days?	Tue 07-04-09	Fri 10-04-09															
33	2 days?	Mon 13-04-09	Tue 14-04-09															
34	1 day?	Tue 14-04-09	Tue 14-04-09															
35	30 days?	Fri 10-04-09	Wed 20-05-09															
36	13 days?	Tue 05-05-09	Wed 20-05-09															
37	22 days?	Mon 18-05-09	Tue 16-06-09															
38	2 days?	Mon 18-05-09	Tue 19-05-09															
39	1 day?	Tue 19-05-09	Tue 19-05-09															
40	20 days?	Wed 20-05-09	Tue 16-06-09															
41	25 days?	Thu 28-05-09	Wed 01-07-09															
42	1 day?	Thu 28-05-09	Thu 28-05-09															
43	17 days?	Thu 04-06-09	Fri 26-06-09															
44	5 days?	Mon 15-06-09	Fri 19-06-09															
45	1 day?	Mon 22-06-09	Mon 22-06-09															
46	4 days?	Fri 26-06-09	Wed 01-07-09															

**ANEXO B: *Layouts* da Inserção Automática e da Montagem Final**





## **ANEXO C: Definição e Cálculo do *OEE* (*Overall Equipment Efficiency*)**





## **ANEXO D: Amortecimento Exponencial – Método Linear de *Holt***



**Previsões**

$$\hat{Z}_t(k) = n_t + b_t \cdot k$$

$\hat{Z}_t(k)$ : previsão de  $Z_{t+k}$  efectuada no instante  $t$ , após ser conhecida a observação  $Z_t$ .

$n_t = \hat{\nu}_t$ : estimativa do nível da série no instante  $t$ .

$b_t = \hat{\tau}_t$ : estimativa da tendência da série

**Método Linear de Holt**

$$n_t = \alpha \cdot Z_t + (1 - \alpha) \cdot (n_{t-1} + b_{t-1}) \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

$$b_t = \beta \cdot (n_t - n_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot b_{t-1} \quad 0 \leq \beta \leq 1$$

$$\hat{Z}_t(k) = n_t + b_t \cdot k$$

**Inicialização:**

$$b_1 = 0$$

$$n_1 = Z_1$$

