



# Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E  
BIOLÓGICA

## Definição de um sistema Kanban na SRAM – Coimbra

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão  
Industrial

Autor

**Tiago Carvalho da Cruz**

Orientador

**José Luís Ferreira Martinho**

Supervisor na empresa      SRAM Corporation

**Tiago Seiça Gomes Andrade**

Coimbra, Dezembro 2023



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA



## **AGRADECIMENTOS**

Este relatório é o culminar da atribuição do título de mestre em Engenharia e Gestão Industrial no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Ao meu orientador, Professor José Martinho pela sua excelente orientação, total disponibilidade e acompanhamento no decorrer deste estágio.

Ao meu supervisor na empresa, Engenheiro Tiago Seiça, pelo profissionalismo, apoio demonstrado e transmissão de conhecimentos.

À *SRAM* pela oportunidade de inclusão numa organização verdadeiramente dinâmica com aposta em formação e desenvolvimento dos seus colaboradores.

Aos colaboradores da organização pela oportunidade de integração numa equipa motivada e capaz.

A todos os docentes do ISEC que fizeram parte deste processo pela total entrega e orientação demonstrada em todo o percurso.

A todos dedico este relatório.

## RESUMO

Este relatório resulta do estágio realizado no grupo *SRAM* na unidade industrial localizada em Eiras, Coimbra. Foi focado na secção de fabricação de componentes, uma de duas secções presentes na instalação dedicada ao fabrico de correntes para bicicletas.

Este estágio teve como objetivo a análise e a redefinição do sistema Kanban implementado, que à data de início do estágio não podia ser considerado um sistema Kanban puro, existindo intervenção ao normal funcionamento do mesmo.

Em operações críticas, restrições tanto de precedência de lotes como restrições na temperatura de processamento seriam de importância respeitar, para manter o OEE das operações em níveis aceitáveis. Pelo que o sistema desenvolvido que aproximando-se de um sistema Kanban puro deverá ter também em conta restrições em certas operações, tornando os cartões kanban sinalizadores de necessidades reais da operação seguinte, bem como munindo os operadores de regras claras e explícitas, respeitando as restrições inerentes, de modo a criar um sistema robusto, autossuficiente e dinâmico, capaz de se adaptar às variações características de um ambiente industrial.

Com o trabalho desenvolvido estima-se que o processamento dos lotes na secção fabril da fabricação dos componentes seja melhorado, havendo a redução da necessidade de *input* por parte dos responsáveis de produção, conjugado com um processamento mais eficiente do que o anteriormente verificado. Espera-se igualmente uma capacidade de adaptação maior às necessidades dos clientes com redução de *lead times* de produção e ajuste do sistema Kanban de forma proativa. A organização do armazenamento do stock intermédio também deverá ter uma melhoria existindo um maior controlo e objetividade sobre os lotes presentes na secção de fabricação de componentes.

**Palavras-chave:** Melhoria contínua, Lean, Sistema Kanban, Sequenciamento da Produção, Controlo de WIP.

## ABSTRACT

This report derives from the internship that took place in a manufacture plant part of the *SRAM* group located in the industrial area of Eiras, Coimbra. The work further presented was focused in one of two sections within the factory, named “components manufacture”.

The internship’s main goal was to analyze and redefine the current implemented Kanban system which at the time couldn’t be considered pure, having constant intervention to its operation.

In critical operations, precedence between batches and processing temperatures, offered restrictions that presented a challenge on striking a balance between implementing a pure Kanban system and aiming for the highest OEE on each operation. The developed system would share similarities with a pure Kanban system while taking in account the inherent restrictions of each operation, making the kanban cards triggers of real necessities while providing the operators with clear and explicit rules to navigate through the different constraints, creating a robust, self-sufficient, and dynamic system which is able to adapt to the characteristic unpredictability of an industrial setting.

With the developed work it is esteemed that batch processing in the mentioned production section is improved with a reduction on the dependence of *input* by the manufacture managers while in conjunction with a more efficient batch processing than the one previously in motion, better response to customers’ requests with a speedier reaction and reduced production *lead time’s* as well as an organized, controlled, and purposed existence of WIP in the system.

**Keywords:** Continuous Improvement, Lean, Kanban System, Production Sequencing, WIP Control.

## ÍNDICE

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract.....	iii
Índice.....	iv
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas .....	viii
Lista de Siglas e Acrónimos .....	ix
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento e objetivos.....	1
1.2 Estrutura do relatório.....	2
2 Enquadramento Teórico .....	3
2.1 TPS e filosofia <i>Kaizen</i> .....	3
2.2 <i>Just in Time – JIT</i> .....	4
2.3 Gestão Kanban .....	6
2.3.1 Sistemas <i>Pull</i> vs. Push.....	6
2.3.2 Sistema Kanban.....	7
2.3.3 Kanban Específico, Genérico e <i>CONWIP</i> .....	9
2.3.4 Outros métodos de sinalização de produção.....	11
2.4 <i>Drum Buffer Rope – DBR</i> .....	12
2.5 <i>Heijunka</i> .....	13
2.6 Sistema <i>MRP</i> .....	14
2.7 Classificação ABC.....	16
3 Apresentação da empresa e do grupo <i>SRAM</i> .....	17
3.1 Apresentação e história do grupo <i>SRAM</i> .....	17
3.1.1 História grupo <i>SRAM</i> .....	17
3.1.2 Unidades industriais.....	17
3.1.3 Marcas e principais produtos .....	18
3.2 A <i>SRAM</i> - Coimbra.....	19
3.2.1 Unidade industrial.....	19
3.2.2 Organização da empresa .....	20
3.2.3 Processo produtivo.....	21

4	Estudo de caso .....	27
4.1	Estado Inicial.....	27
4.2	Metodologia Aplicada .....	29
4.3	Alteração ao fluxo dos cartões kanban.....	30
4.4	Introdução de novos cartões kanban .....	35
4.5	Introdução de cartões de identificação na secção de montagem de componentes .....	36
4.6	Introdução de um ponto de divergência no processo produtivo.....	39
4.7	Cálculo dos cartões kanban.....	41
4.8	Funcionamento dos quadros kanban .....	43
4.9	Estantes .....	51
4.10	Implementação de quadros kanban .....	54
4.11	Outras tarefas realizadas .....	56
5	Conclusão e trabalho futuro .....	61
	Bibliografia .....	64
	Anexos .....	67
	Anexo 1: Localização das unidades <i>SRAM</i> .....	67
	Anexo 2: Organigrama da organização .....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do conceito TPS. Adaptado de (Lean Enterprise Institute, 2020) .....	3
Figura 2– Fluxos nos sistemas de produção <i>Pull</i> vs. <i>Push</i> . Adaptado de (González-R, Pedro & Framinan, Jose & Pierreval, Henri, 2013) .....	7
Figura 3 – Representação do método kanban específico.....	9
Figura 4 – Representação do método <i>CONWIP</i> .....	10
Figura 5 – Representação do método kanban genérico. ....	10
Figura 6 – Caixa heijunka. Adaptado de (businessmap, 2023) .....	13
Figura 7 – Representação de uma curva ABC. Adaptado de (Beheshti, Hooshang & Grgurich, & Gilbert, Faye, 2012) .....	16
Figura 8 – Lista de produtos produzidos das marcas do grupo SRAM. Adaptado de (Sram, 2023) .....	19
Figura 9 – Vistas aéreas do complexo industrial: a) vista traseira; b) vista frontal..	20
Figura 10 - Representação das duas secções destinadas à produção de correntes..	21
Figura 11 - Elementos constituintes de uma corrente. Adaptado de (Sram, 2023)	22
Figura 12 - <i>Power Lock</i> EAGLE. Adaptado de (Sram, 2023) .....	23
Figura 13 - Esquema representativo do layout da área fabril. ....	24
Figura 14 – Esquema exemplo do processo produtivo de uma placa exterior.....	25
Figura 15 – Imagem representativa das correntes produzidas na instalação industrial de Coimbra. ....	26
Figura 16 – Representação do ciclo kanban inicial. ....	30
Figura 17 – Quadro kanban referente a placas interiores e exteriores para correntes de 12 velocidades.....	31
Figura 18 – Quadro kanban principal. ....	32
Figura 19 – Fluxos Kanban na área de fabricação de componentes.....	34
Figura 20 – Componentes presentes no cartão kanban: a) frente; b) verso.....	36
Figura 21 – Estante de stock de componentes.....	38
Figura 22 – Exemplo de parte frontal e verso (respetivamente) para um cartão de uso na secção da montagem. ....	38
Figura 23 – Exemplo de um cartão genérico para um grupo de placas interiores. Verso e frente (respetivamente). ....	41

Figura 24 – Frações do processo produtivo onde existirão ciclos de cartões kanban. .....	41
Figura 25 – Representação do quadro kanban para o forno CTC 1.....	47
Figura 26 – Representação do quadro kanban para a operação TTD.....	48
Figura 27 – Representação do quadro kanban para a prensa PM2 .....	50
Figura 28 – Representação do quadro kanban para a prensa PM3 .....	50
Figura 29 – Representação do quadro kanban para a prensa P2-H100.....	51
Figura 30 – Situação inicial de WIP antes de TTD.....	52
Figura 31 – Estado inicial de WIP para operação CTC. ....	52
Figura 32 – Esquema representativo da disposição futura do supermercado para CTC/EBS.....	54
Figura 33 – Protótipo de calha para cartões kanban.....	55
Figura 34 – Layout geral da simulação realizada. ....	57
Figura 35 – Representação das peças após fim da simulação.....	58
Figura 36 – Representação da prensa PM3, em processamento de um componente e respetiva fila de espera para processamento. ....	59

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Principais diferenças entre o sistema clássico e o sistema JIT. Adaptado de (Pereira, 1996).....	6
---	---

## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

12 SPD	12 velocidades
BAR	Bariagem
CIS	Cisalhamento
CRP	Capacity Requirement Planning
CTC	forno de cementação e tempera em contínuo
DBR	Drum Buffer Rope
DPE	Prensas
EBS	Bariagem e secagem
FCH	Forno de cementação e têmpera
FIFO	First in First Out
JIT	Just in Time
MRP	Material Resource Planning
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PDP	Plano Diretor de Produção
PIC	Plano Industrial e Comercial
PLS	Peneiramento Lavagem e Secagem
SEC	Secagem
TOC	Theory Of Constraints
TPS	Toyota Production System
TTD	Tratamento delta
WIP	Work In Progress



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e objetivos.

O presente relatório foi realizado no âmbito da unidade curricular do Projeto/Estágio do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Foi realizado na empresa *SRAM* em Eiras, Coimbra entre outubro de 22 e abril de 23.

O trabalho desenvolvido teve como objetivo a redefinição do sistema Kanban implementado na área de produção da empresa.

À data do início do estágio o cálculo do número de cartões kanban em circulação não era realizado há cerca de 4 anos, pelo que, a realidade atual da empresa não era traduzida no sistema Kanban implementado. Operações críticas, como os fornos de cementação e tempera em contínuo (CTC) e os fornos de revestimento de crómio (TTD), possuíam elevadas restrições ao processamento das peças, o que conjugado com a falta de uma hierarquização definida e implementada ao processamento dos lotes não era possível a realização de FIFO nas operações, dependendo-se de uma lista realizada múltiplas vezes por semana pelo colaborador responsável, hierarquizando a ordem de produção de cada lote tendo em conta as necessidades na secção da montagem de componentes. Com origem na reunião diária de planeamento de produção, existia a manipulação do número de cartões kanban em circulação com a sua colocação e remoção tendo em conta as necessidades dos clientes. Desta forma o sistema Kanban implementado partilhava um elevado número de semelhanças com um sistema MRP.

O estágio teve como objetivo a aproximação do sistema de funcionamento da secção da fabricação de componentes de um sistema Kanban puro, com a particularidade de as operações críticas, não implementarem FIFO integral no processamento de lotes em fila de espera. Nesse sentido, de acordo com a metodologia foram aplicados os seguintes passos:

- Análise dos fluxos de peças;
- Agrupamento de cada peça em grandes grupos;
- Alteração do momento produtivo no qual o cartão kanban retorna ao quadro despoletando consequente autorização de produção;
- Introdução de um ponto de divergência no processo produtivo;
- Definição de regras para um cálculo periódico dos cartões kanban em circulação com base na procura futura;

- Definição do funcionamento dos quadros kanban de modo a obter uma sequenciação ótima dos lotes de produção em operações críticas;
- Idealização e aquisição de novas estantes a alojarem os lotes destinados a processamento nas operações CTC e TTD;
- Planeamento e construção dos quadros kanban a serem introduzidos na secção de fabricação de componentes.

Foi também descrita a metodologia implementada no sentido da realização de uma simulação com vista à análise dos tempos de processamento, WIP em cada estação e capacidade de resposta ao volume de procura, de modo a retirar conclusões no que toca ao funcionamento atual do sistema e possibilidades de melhorias futuras.

## **1.2 Estrutura do relatório**

O presente relatório encontra-se subdividido em quatro capítulos. No capítulo inicial é apresentada uma breve introdução ao relatório, as motivações que levaram ao seu desenvolvimento, a metodologia utilizada e os objetivos que se pretendem alcançar com a análise do caso de estudo. No segundo capítulo é apresentada contextualização teórica de temas relevantes para o desenvolvimento do caso de estudo. No terceiro capítulo é apresentada a empresa onde o estágio foi realizado bem como o grupo SRAM. No quarto capítulo são discutidos a situação inicial, aquando do início do estágio, bem como as metodologias aplicadas e conclusões sobre as mesmas. No quinto e último capítulo são expostas as conclusões, oportunidades de melhoria e discussão das implementações que não viram o seu término no decorrer da duração do estágio.

## 2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 2.1 TPS e filosofia *Kaizen*

O TPS (*Toyota Production System*) foi criado por Taiichi Ohno após a segunda guerra mundial no seguimento de considerações sobre os supermercados americanos. Este conceito assenta em dois grandes princípios no ambiente produtivo, tempo certo e automação (Ohno, 1982) O conceito de TPS tem como objetivo a redução dos custos, a eliminação dos desperdícios e a produção da quantidade exata necessária. Na figura seguinte é apresentada uma imagem representativa desta metodologia. (G M, 2020)

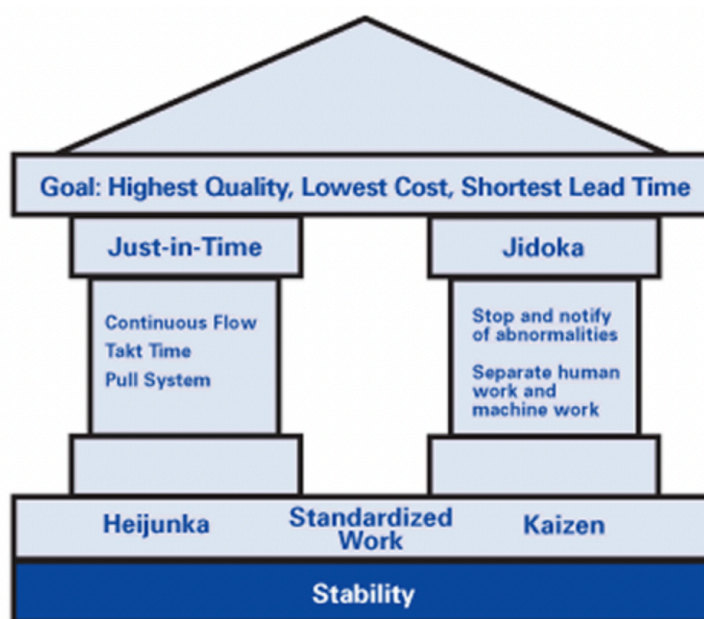


Figura 1 – Representação do conceito TPS. Adaptado de (Lean Enterprise Institute, 2020)

Como é possível observar o conceito TPS assenta em dois pilares, JIT, (descrito em mais detalhe posteriormente), é um método que permite providenciar o produto certo, na quantidade certa e no momento certo e *Jidoka* que tem como objetivo a correta paragem de uma linha de produção aquando da deteção de um defeito num produto para desse modo evitar falhas de qualidade. (G M, 2020)

A filosofia *kaizen* encontra-se intimamente ligada ao princípio de *just-in-time*, contém valores para aplicação no *gemba* (local de criação de valor), baseados na qualidade (*quality*), custo (*cost*), entrega (*delivery*) e motivação (*motivation*), QCDM.

A aplicação desta filosofia pretende providenciar o cliente com o produto correto, com a qualidade requerida, com um custo aceitável e no prazo estabelecido. (César Machado, 2019)

## 2.2 Just in Time – JIT

O conceito de JIT foi originado pela Toyota Motor Company com objetivo de satisfazer a exata procura dos clientes com o mínimo de atrasos possíveis (Sohal, Keller, e Fouad, 1989).

Citando Calvasina et al. (1989, p. 41) que apresenta uma definição detalhada do JIT: *“O JIT é um sistema de controlo de produção que procura minimizar a quantidade de matéria-prima e inventários de WIP, controlar (eliminar) defeitos, estabilizar a produção, continuamente simplificar o processo produtivo; e criar força de trabalho flexível, com elevado Know-How.”*

De modo à correta implementação do JIT é necessário ter em atenção fatores referentes à relação e modo de operação dos fornecedores, às quantidades fornecidas pelos mesmos, qualidade e entrega das mercadorias, bem como o cumprimento das 12 regras para a sua implementação, que se encontram apresentadas na página seguinte.

De seguida são apresentados os requisitos a considerar, na ótica das relações externas da organização, para a correta implementação do JIT (Sohal, Keller, & Fouad, 1989).

Na ótica dos fornecedores:

- Número reduzido de fornecedores;
- Proximidade geográfica;
- Estimular competição para contratos sobre novos produtos;
- Contratos de longa duração com fornecedores;
- Encorajamento à extensão dos benefícios JIT em toda a cadeia de valor.

Na ótica das quantidades:

- Nivelar a quantidade de encomendas recebidas;
- Redução das quantidades recebidas por encomendas;
- Encorajar fornecedores à entrega das quantidades exatas em cada encomenda.

Na ótica da qualidade:

- Imposição de requisitos mínimos aos fornecedores;
- Colaboração com fornecedores para o cumprimento dos requisitos de qualidade.

Na ótica do transporte:

- Precisão temporal para a receção de encomendas.

Para a possibilidade de implementação do JIT é necessário a melhoria da comunicação, tornando a circulação da mesma eficiente e tornando-a tanto acessível a quem a necessita, como restringindo-a a quem não a necessitar, criando

um sistema de comunicação escrita, visual e oral, eficaz, produtiva e com valor acrescentado. É necessário a aposta pela organização em capital humano polivalente e flexível, a par com formação técnica, a aposta numa massa laboral autónoma e com conhecimentos diversificados é de extrema importância. O mais importante catalisador de ação é a mudança, pelo que colaboradores motivados, oferecem menor resistência a fenómenos de mudança e à inércia (Curtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2011).

De seguida são apresentadas as 12 regras a ter em consideração para a implementação desta metodologia.

- Apenas produzir o que é pedido pelo cliente quando o mesmo o pede evitando a constituição de stocks;
- Tempo de ciclo curto;
- Possuir flexibilidade de modo a corresponder às flutuações do mercado;
- Fabricar pequenas quantidades de cada conjunto de peças ou produtos acabados;
- Conseguir efetuar uma rápida mudança de ferramentas no processo produtivo bem como uma eficaz disposição de máquinas;
- Apenas comprar quantidades necessárias para produção já encomendada;
- Organizar o processo produtivo de modo que se minimizem as perdas;
- Armazenar matérias-primas junto do local onde serão necessárias;
- Efetuar manutenção preventiva de modo que não ocorram paragens inesperadas;
- Elevados padrões de qualidade;
- Só comprar matérias-primas de qualidade superior;
- Empregar recursos humanos polivalentes (Negócios, 2021).

Com a implementação de um sistema JIT é possível obter vantagens superiores ao alcançável com um sistema tradicional. Quando comparado com o sistema tradicional, o sistema JIT apresenta uma perspetiva alternativa a questões anteriormente consideradas como padrão. Na tabela seguinte são apresentadas as principais diferenças entre o JIT e o sistema clássico.

	Sistema Clássico	Sistema Just-in-Time
Excesso de stocks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteção à variabilidade do mercado</li> <li>• Investimento na empresa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encobrimento da falhas de qualidade</li> <li>• Imobilização desnecessária de capital</li> </ul>
Movimentação de materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É necessária para a produção devendo ser diminuída</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foco na eliminação</li> </ul>
Excesso de produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aproveitamento de toda a capacidade ociosa</li> <li>• Produção em massa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mix de produtos</li> <li>• Sob encomenda</li> </ul>
Ociosidade e Tempos de espera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inerente às linhas de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Células de produção</li> </ul>
Preparação e trocas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizadas por equipas especializadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizadas pelo operador</li> </ul>
Organização e limpeza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desperdício, não contribui para o processo produtivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Essencial para o processo produtivo</li> </ul>

Tabela 1 - Principais diferenças entre o sistema clássico e o sistema JIT. Adaptado de (Pereira, 1996)

## 2.3 Gestão Kanban

### 2.3.1 Sistemas *Pull* vs. *Push*

Os sistemas *Pull* são sistemas através dos quais a produção é “puxada” pelos clientes tendo em conta as necessidades dos mesmos, enquanto nos sistemas *Push* a produção é “empurrada” para os clientes. Ou seja, no primeiro caso apenas se produz o que o cliente necessita, quando necessita, no segundo é produzido com o objetivo da geração de stocks e apenas posteriormente a venda ao cliente.

De acordo com Bonney et al. (1999) pode-se verificar que nos sistemas de produção *Push* a informação e o produto produzido seguem a mesma direção, no entanto nos sistemas *Pull* seguem direções opostas, sendo que o material segue em direção ao cliente e a informação segue do cliente para a produção.

Na figura seguinte é apresentado a comparação entre os fluxos de informação e materiais entre o sistema de produção “puxada” e o sistema de produção “empurrada”.

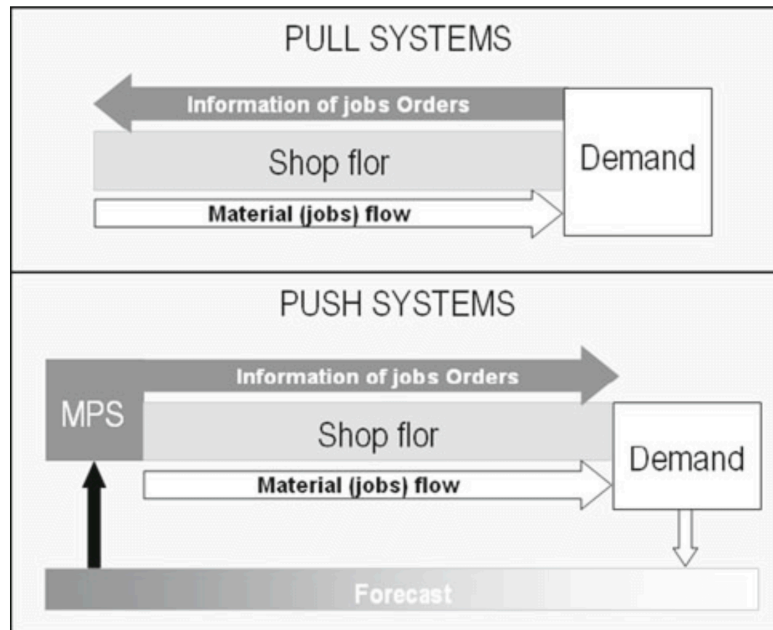


Figura 2– Fluxos nos sistemas de produção *Pull* vs. *Push*. Adaptado de (González-R, Pedro & Framinan, Jose & Pierreval, Henri, 2013)

O sistema “*Push*” é o sistema de produção convencional no qual aquando do fim do processamento do produto numa dada secção o mesmo é transferido para a estação seguinte, no entanto, devido a variações da procura ou restrições na produção pode causar acúmulo de WIP entre estações (Kumar & Panneerselvam, 2007).

O sistema de produção *Pull* despoleta a produção do posto  $j$  aquando da necessidade do posto  $j+1$  e assim sucessivamente, nesse sentido a quantidade de WIP entre estações é reduzida ao mínimo necessário minimizando o acúmulo de produção (Kumar & Panneerselvam, 2007).

O sistema Kanban foi desenvolvido pela Toyota com o objetivo de satisfazer os critérios do JIT, devendo ser considerado como uma parte integrante da implementação mais abrangente, JIT. A implementação inicial do sistema Kanban por parte da Toyota, permitiu verificar o desenvolvimento dos constrangimentos facilitando a tomada de medidas resolutivas o que influenciou positivamente a qualidade do produto final. (Esparrago, 1988)

### 2.3.2 Sistema Kanban

O sistema Kanban possui como principais componentes (Esparrago, 1988):

- Cartões de autorização;
- Lotes com quantidades standard;
- Postos de produção kanban;
- Áreas de *input* e *output*;

Antes do surgimento do sistema Kanban em ambiente industrial, já eram utilizados cartões associados a lotes de produção, sendo, no entanto, integrados num sistema de produção *Push*. O sistema Kanban é baseado em sistemas de produção *Pull* sendo que o lote de produção é mantido na estação de trabalho anterior até que a estação de trabalho seguinte manifeste necessidade e disponibilidade para o processamento daquele produto. (Esparrago, 1988)

Segundo Toyota Motor Company (1973), as regras para o uso de um sistema Kanban são:

- Não envio de produtos defeituosos para a estação seguinte;
- O processo subsequente apenas recolhe o material necessário para prosseguir o processo produtivo;
- Apenas produzir a quantidade retirada pelo processo posterior;
- Nivelar a produção;
- Estabilizar o processo de produção.

A implementação de um sistema Kanban possui como vantagens (Pinto, 2014):

- Sistema simples sem necessidade de sistemas informáticos;
- Movimentação física e de informação célere entre postos de trabalho que beneficia sinalização de problemas;
- Mais rápida adaptação a variações da procura visto que apenas se produz o que é requerido pela procura;
- Prazos de entrega diminuídos;
- O controlo de operações é realizado na área fabril diminuindo a necessidade de ordens de fabrico;
- Diminuição de stocks o que leva a uma redução de peças armazenadas e o inerente desgaste, facilidade na gestão de stocks e aumento de espaço útil para postos de trabalho;
- Como consequência das anteriores, aumento da qualidade e redução de custo.

Sendo os sistemas Kanban baseados em conceitos de produção “puxada”, devem incorporar metodologias e conceitos descritos na filosofia *Kaizen*. De seguida são apresentados conceitos relevantes para o sucesso na implementação de um sistema Kanban (Imai M., 2012):

- Envolvimento da gestão, é necessário que a gestão se comprometa em processos de melhoria contínua reforçando a sua aplicação tornando os novos procedimentos como cultura da empresa;

- Processo vs. resultado, a filosofia *Kaizen* é orientada para processo como forma de melhoria de resultados. Ou seja, quando os resultados não são atingidos é derivado dos processos que o antecederam;
- Ciclo PDCA/SDCA, a filosofia *Kaizen* apoia-se nestes métodos de modo a conseguir atingir a melhoria contínua de forma alicerçada. O ciclo PDCA (planear, executar, verificar, agir), tem como objetivo a projeção de planos de modo a atingir os objetivos definidos, sendo um processo de inovação e de elevadas mudanças deve ser seguido de um ciclo SDCA (normalizar, executar, verificar, agir) de modo a normalizar os processos anteriormente melhorados tornando-os o novo standard;
- Qualidade em primeiro lugar, a qualidade deve ter prioridade máxima sendo necessário comprometimento da gestão de topo em não tomar atitudes que acabem por minar esta prioridade mesmo que indiretamente;
- Utilização de dados, de modo a resolução de problemas é necessário a compreensão dos mesmos sendo para isso essencial a organização e recolha dos dados;
- O próximo processo é o cliente, cada processo tem um fornecedor e um cliente, este método aluz à não passagem de peças defeituosas ou informação deficiente para quem está no próximo processo, neste caso o cliente, para assim receber produtos ou serviços de qualidade.

### 2.3.3 Kanban Específico, Genérico e CONWIP

Como discutido anteriormente os métodos de produção *pull* apenas produzem aquando da comunicação de necessidade por um posto posterior, de seguida são apresentados os métodos Kanban específico, Kanban genérico e o método *CONWIP*.

O método kanban específico transmite a informação sequencialmente entre postos a montante como representado na figura seguinte.

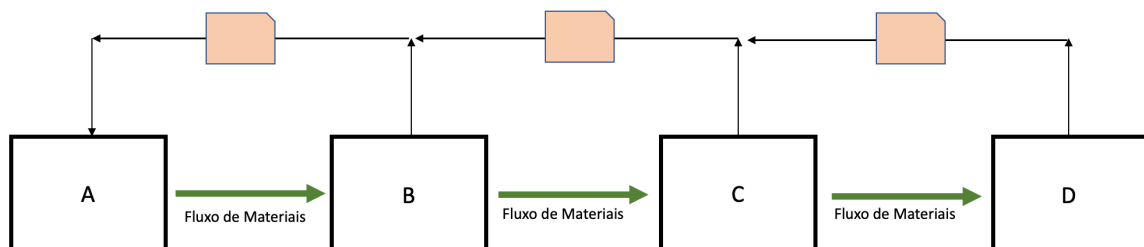


Figura 3 – Representação do método kanban específico.

Aquando do consumo da quantidade kanban definida o posto  $n+1$  transmite a autorização de produção para o posto  $n$ . Este método apresenta-se problemático na

rapidez com que a procura do cliente final é transmitida para os postos a montante, bem como na necessidade de existência de um stock mínimo de circulação de cada produto entre postos.

No sentido de mitigar os pontos negativos deste sistema é possível a implementação do método *CONWIP* que é representado na figura seguinte.

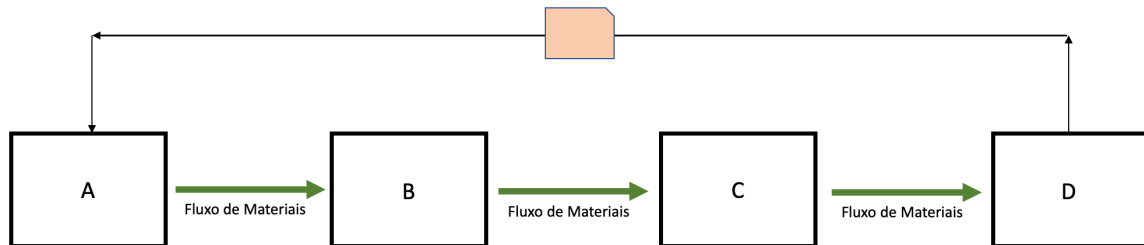


Figura 4 – Representação do método *CONWIP*.

Com a implementação do método *CONWIP* a transmissão da informação é realizada diretamente da representação da procura (jusante) para o posto a montante comunicando diretamente as necessidades de produção ao início do processo produtivo. Este método implica que os produtos serão “empurrados” nos postos intermédios, o que pode ser problemático no caso da existência de discrepâncias entre as taxas de processamento de cada posto (Curtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2011).

O kanban genérico assemelha-se ao método kanban específico apresentado anteriormente, na medida em que existe transmissão de informação entre cada posto do sistema. Como referido anteriormente o método kanban específico transmite a informação de quando e de o que produzir ao contrário do método kanban genérico que apenas transmite a informação de quando produzir. A representação deste sistema é apresentada na figura seguinte.

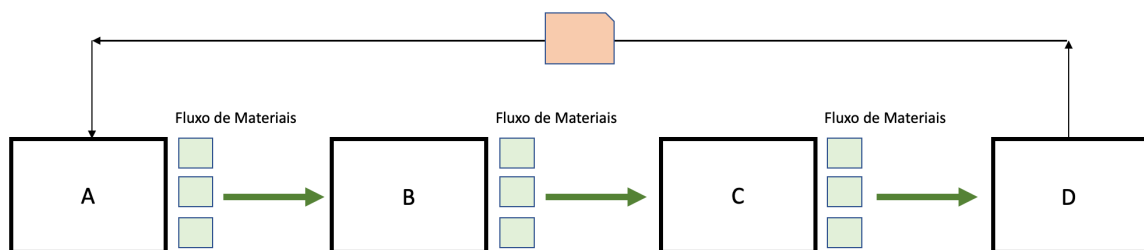


Figura 5 – Representação do método kanban genérico.

Cada posto possui um conjunto de localizações determinado para a colocação de produtos à espera de processamento, sendo regras pré-definidas, que definem o que produzir em seguida. Na figura acima apresentada, cada posto retira a informação sobre o que produzir tendo em conta os produtos fabricados pelo posto antecessor;

o posto “A” retira a informação diretamente do plano diretor de produção (Curtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2011).

### 2.3.4 Outros métodos de sinalização de produção

Nos subcapítulos anteriores foram discutidos diversos métodos de controlo de produção baseados em cartões para a regulação da atividade produtiva, de seguida são apresentados, de forma resumida, outros métodos passíveis de ser utilizados como sinalizadores de autorização de produção para o posto fornecedor (Pinto, 2014 & Lopes, 2017).

- Look-see ou marcas no chão – Criação de zonas de stock intermédio à saída de um posto de trabalho, com marcas delimitando zonas para um conjunto de peças, assim que a totalidade das marcas estejam preenchidas deve ser parada a produção desse posto apenas recomeçada assim que haja uma posição disponível para novas peças;
- Sistema de duas caixas – Criação de duas caixas para cada referência que serão colocadas juntas, em fila. O colaborador apenas retira as peças necessárias da primeira caixa (a da frente) e assim que uma das caixas deixa de ter peças o operador coloca a caixa vazia no local da segunda caixa movimentando a caixa cheia para a frente. As caixas agora sem referências são colocadas atrás sinalizando ao a necessidade de reposição;
- Indicação luminosa – O colaborador cada vez que consome determinado produto aciona um sinal luminoso que se aciona da célula/posto de trabalho em que é produzido dando assim a ordem de produção daquele produto. No estação de produção é desativado este sinal luminoso assim que recebido de modo a estar preparado para nova indicação;
- Kanban eletrónico - Transmissão através do sistema de informação da empresa;
- Kanban gravitacional - Sempre que o stock de um artigo termina num dado posto de trabalho, é colocada uma bola colorida numa calha que rola em direção à zona de abastecimento dando sinal da necessidade de reposição. As bolas estão identificadas por posto e por referência;
- Quadro kanban – Semelhante ao sistema de cartões, no entanto são usados imanes ou fichas de plástico por exemplo. O quadro contém todas as fases pelas quais irá estar sujeito o produto, quando consumido a representação física do produto é movida para a fila de espera de produção (Pinto, 2014; Lopes, 2017).

## 2.4 *Drum Buffer Rope* – DBR

O método, *Drum Buffer Rope* de controlo da produção representa uma aplicação da Teoria das restrições (TOC).

Segundo Rahman (1998) a *Theory of Constraints* indica que:

- Cada sistema possui no mínimo uma restrição, facto esse que impede as organizações de atingirem lucros ilimitados;
- A existência de restrições abre possibilidades para melhorias na organização.

Este método baseia-se na premissa de que a estação com menor capacidade ser a estação que pauta a capacidade do processo produtivo. Segundo Goldratt & Cox (2003) uma restrição ou um gargalo é algo que limita o sistema de atingir um potencial mais elevado.

Nesse sentido há elevada necessidade na identificação da restrição e adaptar o sistema de modo que funcione segundo a restrição visto que a capacidade máxima do sistema é definida pela capacidade máxima da estação mais lenta, qualquer que seja o tempo perdido nesta operação, é tempo perdido no sistema como um todo, logo, é importante que esta opere no máximo de capacidade.

De modo a aplicar a TOC com o foco na melhoria contínua é necessário ter em consideração os seguintes pontos (Rahman, 1998):

- Identificação das restrições do sistema, que podem ser de vários tipos, físicas e de gestão, devendo a sua hierarquização ser realizada de acordo com o impacto que têm para a organização;
- Decisão sobre de que forma se conseguirá explorar as restrições;
- Subordinação de todas as operações para que funcionem de forma à máxima eficácia da restrição;
- Foco no aumento da eficiência do posto gargalo, realização de projetos de melhoria contínua, até que o seu desempenho aumente de tal forma que deixe de ser a restrição do sistema;
- Evitar complacência visto que existirá sempre uma restrição no sistema.

Os produtos de *input* desta estação funcionam com um *buffer*, sendo introduzidos com o objetivo de formar um *buffer* de WIP. Neste sistema um cartão acompanha o lote desde o início do processo produtivo, quando esse lote é processado na estação gargalo é retornado ao início da linha de produção podendo ser dado início à produção do mesmo material. O WIP máximo presente desde o início da linha de produção e a estação que restringe o sistema é igual ao número total de cartões no sistema (González-R, Framinan, & Pierreval, 2012).

## 2.5 Heijunka

O método *heijunka* tem como objetivo o nivelamento da produção evitando excessivas variações na capacidade, quer da unidade fabril, quer, especificamente, das unidades de processamento (Hüttmeir et al. 2009). A caixa *heijunka* é a forma visual de representação dos itens (cartões) que têm de ser produzidos num dado intervalo de tempo.

Aquando da entrega do produto final ao cliente, o cartão kanban a ele associado retorna para o início do processo sendo colocado num quadro *heijunka*, onde neste, se encontram espaços para cartões kanban tendo em conta o que será necessário produzir (com produção nivelada). Caso exista uma grande procura atual e uma mais baixa procura futura, os cartões em excesso que voltaram ao início do processo serão armazenados num local adequado. (Furmans, 2005).

Na figura seguinte é apresentado um esquema representativo de uma caixa *heijunka*.

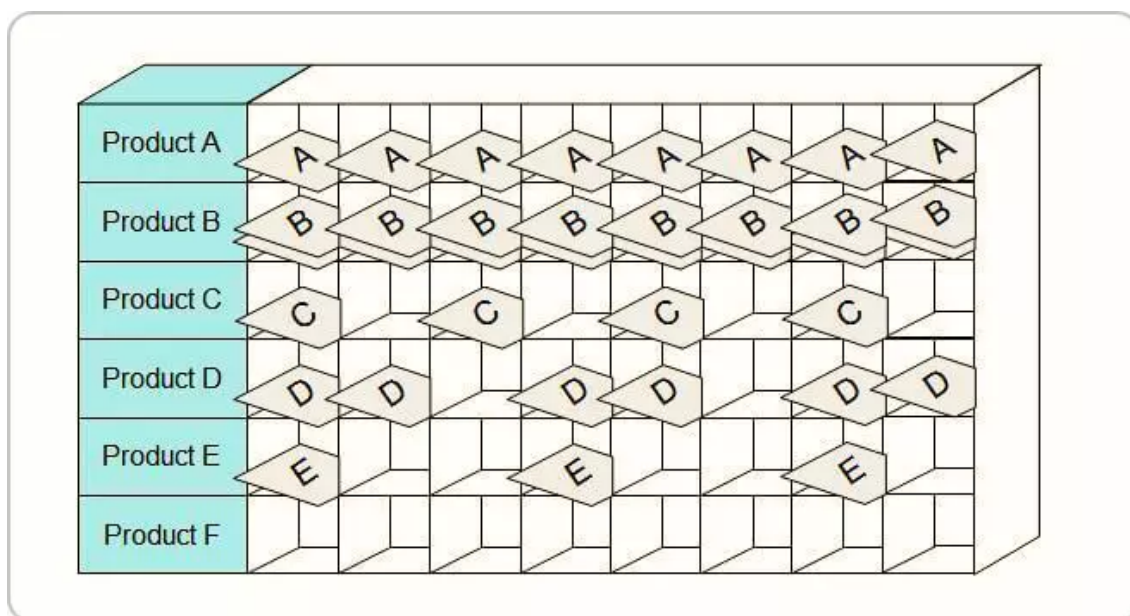


Figura 6 – Caixa heijunka. Adaptado de (businessmap, 2023)

Na figura acima é apresentada uma caixa *heijunka*, na qual está presente a produção necessária de um *mix* de seis produtos. Cada linha de uma caixa *heijunka* está associada a um produto e cada coluna associada a um horizonte temporal. Em cada espaço são colocadas as necessidades de produção de um dado produto num dado horizonte temporal.

Num sistema de produção “puxada” é possível a utilização de uma caixa *heijunka* representando uma vantagem para o sistema. Ao se introduzir no posto inicial uma representação da procura futura nivelada, capacita-o de poder de decisão sobre que produto introduzir na linha de produção, sendo uma possibilidade vantajosa quando conjugada com o método *CONWIP*.

## 2.6 Sistema *MRP*

MRP é um método de aprovisionamento de materiais para o funcionamento do processo produtivo de modo que as necessidades sejam supridas quando verificadas (Cambridge Dictionary, 2023).

MRP (*Material Resource Planning*) foi um sistema introduzido a partir do ano de 1960 que teve gradualmente maior aceitação no mundo empresarial. Nos anos 60 o grande aumento de procura em empresas indústrias dos Estados Unidos da América levou as empresas a operar segundo previsões da procura com a geração de stocks, surgindo inevitavelmente disparidade entre o produzido e a procura verificada, gerando excessos de stock ou falta de capacidade para a satisfação das necessidades dos clientes. Nesta década surgiram os primeiros sistemas MRP, com o apoio de técnicas de documentação e com o avanço da tecnologia, pelo que nos anos 70 existiu um avanço nesta área surgindo o MRPII como uma combinação de MRP e CRP (*Capacity Requirement Planning*), realizando, o último o cálculo da capacidade produtiva da fábrica analisando capacidade de resposta ao imposto pelo mercado (AOKI, 2023).

Atualmente o MRP I e II são incorporados em sistemas ERP onde, para além da gestão da produção, outras áreas da organização são também englobadas.

Segundo SAP (2023) “MRP é um sistema desenhado para planear a produção, identificando os materiais necessários, bem como as quantidades e timings para a entrega do produto requerido ao cliente com ganhos internos de produtividade”.

O MRP II não tem como principal foco, ao contrário do MRP I, a definição de tarefas rotineiras de modo a ir de encontro ao que são as necessidades do mercado, possui, no entanto, uma abordagem com vista ao crescimento da organização, analisando necessidades de crescimento e o impacto na organização que a adaptação às necessidades podem causar (Coutinho, 2020).

Para o funcionamento do sistema MRP é necessário a existência de diversos *inputs* (Ptak, 2011):

- Lista técnica do produto *BOM* (*Bill of Materials*);
- Aquisição de materiais de fontes externas;
- Registo do inventário;
- Previsão de procura independente;
- Input* do plano mestre de produção.

O plano industrial e comercial, PIC, situa-se no nível mais alto de gestão de recursos de produção imediatamente abaixo do plano estratégico da organização. Este documento configura-se como um contrato global entre a produção e o departamento comercial, tendo como objetivo, permitir um enquadramento da atividade com base nas famílias de produtos. Este plano permite a antecipação global

de potenciais problemas, como inadequação entre capacidade instalada e necessidades. Baseia-se de forma generalizada em três componentes, vendas, produção e stocks (Curtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2011).

O plano diretor de produção, PDP, é um elemento essencial na gestão dos recursos de produção, é intermédio, funcionando como uma ligação entre o PIC e o cálculo das necessidades. Este contrato define com precisão o que produzir, em que quantidade produzir e quando produzir, tem como principais funções, a gestão do cálculo das necessidades, a concretização em produtos acabados de cada família definida no PIC, comparação entre vendas reais e previsões, comparação e acompanhamento dos níveis médios de stock, comunicação com o departamento comercial sobre a disponibilidade de produtos para disponibilização aos clientes (Curtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2011).

Segundo Jacobs (2014), a BOM é o registo que contém a total descrição de um determinado produto para a sua produção, desde lista de componentes e respetivas quantidades como informações relativas ao processamento do mesmo.

A utilização de um sistema MRP possui como vantagens:

- Capacidade de cálculos complexos quando o *mix* de produtos é variado, o volume de encomendas é alto e os processos são complexos.
- Capacidade de previsão da procura.
- Ajuda na redução de stocks;
- Auxilia na standardização diminuindo recursos desnecessários aumentando a produtividade (SAP, 2023).
- Redução de *lead times*;
- Baixo custo de aquisição (Gorczyca, 2011).

E possui como desvantagens:

- Tempo extenso para implementação;
- Custos elevados, de implementação (SAP, 2023);
- Necessidade de informação elevada e detalhada;
- Contribui para redução de flexibilidade;
- Assume *lead time* constante e independente da quantidade a produzir (Gorczyca, 2011).

## 2.7 Classificação ABC

Na classificação ABC aplicada à produção, o objetivo é a classificação de artigos com base quer nas suas saídas anuais de stock como o valor em stock (Curtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2011).

Esta classificação pode ser realizada para a análise de vários parâmetros sendo possível verificar a aplicação da regra de Pareto quando aplicada ao contexto de produção e vendas de determinados produtos, é possível aferir que 20% dos produtos analisados contribuem com 80% das vendas totais.

Após a realização da análise, os itens são classificados segundo 3 categorias, A, B e C, os produtos pertencentes à classe A são caracterizados por possuírem necessidades de gestão elevadas, os itens de classe C são caracterizados pela necessidade de um nível de gestão baixo, possuindo menos importância para o desenvolvimento da atividade da organização (Gonçalves, 2014).

Nesse sentido é possível discriminar a divisão realizada ao *mix* de produtos com base nestes valores padrão, sendo os mesmos adaptados à realidade de cada empresa (Gonçalves, 2014):

- Classe A – 20% dos Produtos, 80% do volume de vendas;
- Classe B – 30% dos Produtos, 15% do volume de vendas;
- Classe C – 50% dos produtos, 5% do volume de vendas.

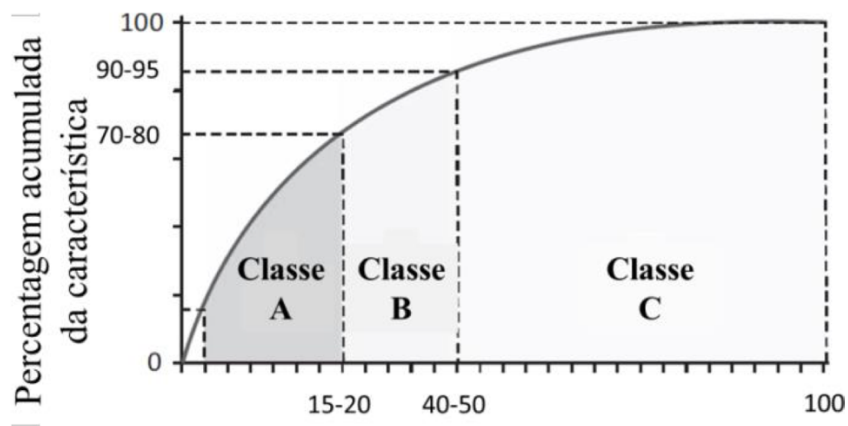


Figura 7 – Representação de uma curva ABC. Adaptado de (Beheshti, Hooshang & Grgurich, & Gilbert, Faye, 2012)

## 3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DO GRUPO *SRAM*

### 3.1 Apresentação e história do grupo *SRAM*

#### 3.1.1 História grupo *SRAM*

O grupo *SRAM* configura-se como uma referência mundial na produção de componentes para bicicletas, fundada em 1987 por Stan Day e em parceria com Sam Patterson idealizaram e conceberam uma forma inovadora de alternar entre mudanças da bicicleta diretamente do guidador, a qual nomeada de “Grip Shift”. A criação deste produto por Stan Day e Sam Patterson deu início à *SRAM*

Com o passar dos anos a *SRAM* verificou um crescimento acentuado enquadrando-se como referência no mercado atual, crescimento esse marcado por constante inovação e aquisição de empresas presentes no mercado.

Em 1997 a *SRAM* adquire a *Sachs* empresa alemã especializada em correntes e mudanças para bicicletas, esta aquisição permitiu a *SRAM* posicionar-se no mercado de forma mais favorável visto que adquiriu o *Know-How* presente na organização. Em 2001 a *SRAM* lança para o mercado o seu primeiro “XO rear derailleur” mecanismo situado na roda traseira da bicicleta que permite a movimentação da corrente afim da alteração das mudanças. Em 2002 a empresa *RockShox*, que havia introduzido ao mundo do ciclismo a suspensão frontal, integra o grupo *SRAM*. Em 2004 é efetuada a aquisição da empresa *Avid* fabricante de travões em disco hidráulicos e da empresa *Truvativ*. Em 2007 a *SRAM* lança a gama “RED”, a gama com maior qualidade da marca, era caracterizada por ser a gama mais leve, ajustável e mais rápida de alternadores de mudanças, sendo adotada por diversos profissionais proporcionou ótimos resultados tanto em provas de ciclismo de estrada, “cross cycling” e provas de triatlo, também em 2007 é realizada a compra da empresa *Zipp*. Em 2011 a empresa *Quarq* foi adquirida pelo grupo *SRAM* Em 2012 a *SRAM* introduz um sistema de alternadores de mudança para BTT denominado de “XX1”, em 2015 apresenta um alternador de mudanças wireless, apresentando como vantagens uma maior precisão, um tempo de Setup e uma necessidade de manutenção menor. Em 2022 foram adquiridas as empresas *Hammerhead* e *Velocio*. (Sram, 2023)

A empresa apresenta um papel ativo em projetos de cariz social, tendo criado o “World Bicycle Relief” um projeto que distribui bicicletas em comunidades encarecidas.

#### 3.1.2 Unidades industriais

Atualmente a *SRAM* possui presença internacional quer com sedes, unidades industriais quer com centros de desenvolvimento ou centros de apoio.

- 1- Sede Global *SRAM*, Chicago IL;

- 2- Unidade Industrial de produtos *RockShock*, Colorado Springs;
- 3- Unidade de desenvolvimento, prototipagem e testes, San Luis Obispo, CA;
- 4- Unidade Industrial e de desenvolvimento de medidores de potencia *Quark*, Spearfish, SD; Indiannapolis
- 5- Unidade Industrial de rodas *Zipp*, Indianapolis, IN
- 6- Centro de apoio à venda, Vancouver, Canada;
- 7- Sede europeia, Nijkerk, Holanda;
- 8- Centro europeu de desenvolvimento e treino, Schweinfurt, Alemanha;
- 9- Centro global de produção e desenvolvimento de correntes, Coimbra, Portugal;
- 10- Apoio técnico e unidades de formação para o mercado francês, Chambéry, França;
- 11- Sede *SRAM* continente asiático, Taichung, Taiwan;
- 12- Escritório onde grande parte dos departamentos financeiros e de IT estão situados, Waterford, Ireland;
- 13- Unidade Produtiva, Kunshan, China;
- 14- Unidade produtiva *SRAM* Taichung, Taiwan;
- 15- Serviços de vendas, Marketing, entre outros, Melbourne, Austrália.

Em anexo são apresentados os dados acima de forma visual.

### **3.1.3 Marcas e principais produtos**

Como referido anteriormente a *SRAM* para além do desenvolvimento próprio de produtos realizou aquisições de empresas implementadas no mercado, na figura seguinte são apresentados os principais produtos produzidos pelo grupo *SRAM*, relativos às marcas *Rockshox*, *Truvativ*, *Zipp*, *Quarq*, *Time*, *Hammerhead*.

Marca	Principais Produtos
<b>ROCKSHOX</b>	Suspensão Frontal Suspensão Traseira Acessórios Tubo de conexão do quadro ao assento ( <i>seatpost</i> )
<b>TRUVATIV</b>	Barras Conexão guiador com barra de direção ( <i>stem</i> ) Pedivelas (cranque) Ligação da Pedivela ao Quadro ( <i>bottom bracket</i> ) Acessórios
<b>ZIPP</b>	Rodas Eixos Aros HandleBars Conexão guiador com barra de direção ( <i>stem</i> ) Tubo de conexão do quadro ao assento ( <i>seatpost</i> ) Alternadores de mudanças Acessórios
<b>QUARQ</b>	Medidores de potência Bicicleta estática "Veletron" Sensores de pressão dos pneus Sensores de ajustamento da suspensão Acessórios
<b>TIME</b>	Pedais Ligação do pedal ao sapato ( <i>bike cleat</i> )
<b>HAMMERHEAD</b>	Sistema de GPS e Parametros de treino Acessórios

Figura 8 – Lista de produtos produzidos das marcas do grupo SRAM. Adaptado de (Sram, 2023)

## 3.2 A SRAM - Coimbra

### 3.2.1 Unidade industrial

Na unidade industrial da *SRAM* em Coimbra a produção está dividida em duas unidades fabris, a representada na figura em baixo, local de realização do estágio, onde são produzidas as diversas correntes e contidos a maior parte dos serviços administrativos e uma segunda unidade onde são produzidos pedais, cubos e aros de pneus.



Figura 9 – Vistas aéreas do complexo industrial: a) vista traseira; b) vista frontal.

Este complexo industrial possui escritórios onde se localizam as atividades de Engenharia, RH, Contabilidade entre outras, possui também localizações para a receção e armazenamento de matéria-prima bem como para o armazenamento e expedição do produto final. A área industrial pode ser dividida em três grandes partes, manutenção de maquinaria, produção de componentes de correntes e montagem de correntes. Possui cerca de 150 colaboradores e um volume de negócios aproximado de 2 a 6 milhões de euros semanalmente.

### 3.2.2 Organização da empresa

A SRAM Portugal está dividida em onze departamentos organizacionais coordenados localmente pela Diretora Geral em Portugal, bem como funcionalmente pelo *manager* de cada departamento. O setor produtivo no seu funcionamento diário é principalmente influenciado pelo departamento de Produção, responsável por assegurar a satisfação das necessidades dos clientes, pelo departamento de Engenharia de Produção responsável pela maquinaria presente na área produtiva onde também estão incluídas responsabilidades associadas à manutenção e pelo departamento de Qualidade na definição e controlo dos parâmetros estipulados.

No anexo 2 está apresentado o organigrama da organização, de seguida são listados os departamentos organizacionais presentes na SRAM:

- Departamento Financeiro;
- Departamento de Recursos Humanos;
- Departamento de Projetos e SAP;
- Departamento de Cadeia de Valor;
- Departamento de Ambiente Segurança e Infraestruturas;
- Departamento de Gestão do Cliente;
- Departamento de Produção;
- Departamento de Engenharia de Produção;
- Departamento de Melhoria Continua;
- Departamento de Engenharia e Desenvolvimento;
- Departamento de Qualidade.

O estágio e as metodologias neste relatório descritas foram desenvolvidos no âmbito do departamento de Melhoria Continua.

### 3.2.3 Processo produtivo

Como referido anteriormente a área fabril é constituída por duas secções distintas na produção de correntes, a primeira secção é denominada de “fabricação de componentes”, sendo a segunda denominada de “montagem de correntes”.

Na secção de fabricação de componentes é realizado todo o processo produtivo para a fabricação dos diversos componentes constituintes de uma corrente, tendo como *input* as diversas matérias-primas e como *output* os componentes de uma corrente em estado de processamento final. A secção de montagem de correntes recebe o *output* da secção prévia e tem como objetivo a montagem dos diversos componentes, gerando como *output* uma corrente finalizada.

Na figura seguinte é apresentado de forma esquemática as duas secções acima referidas.

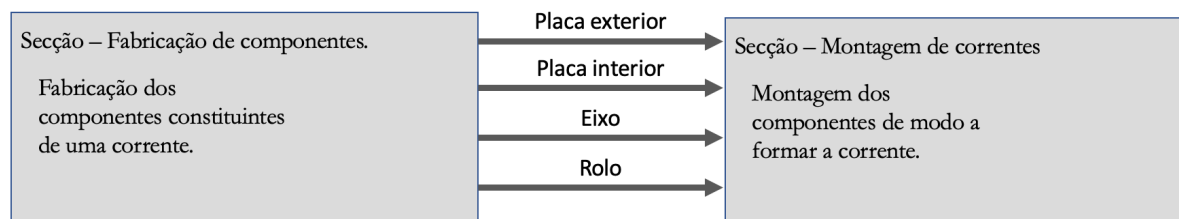


Figura 10 - Representação das duas secções destinadas à produção de correntes.

Uma corrente é constituída por quatro tipos de componentes:

- Placa exterior;

- Placa interior;
- Eixo;
- Rolo.

Na figura seguinte é apresentada a disposição dos mesmos numa corrente.

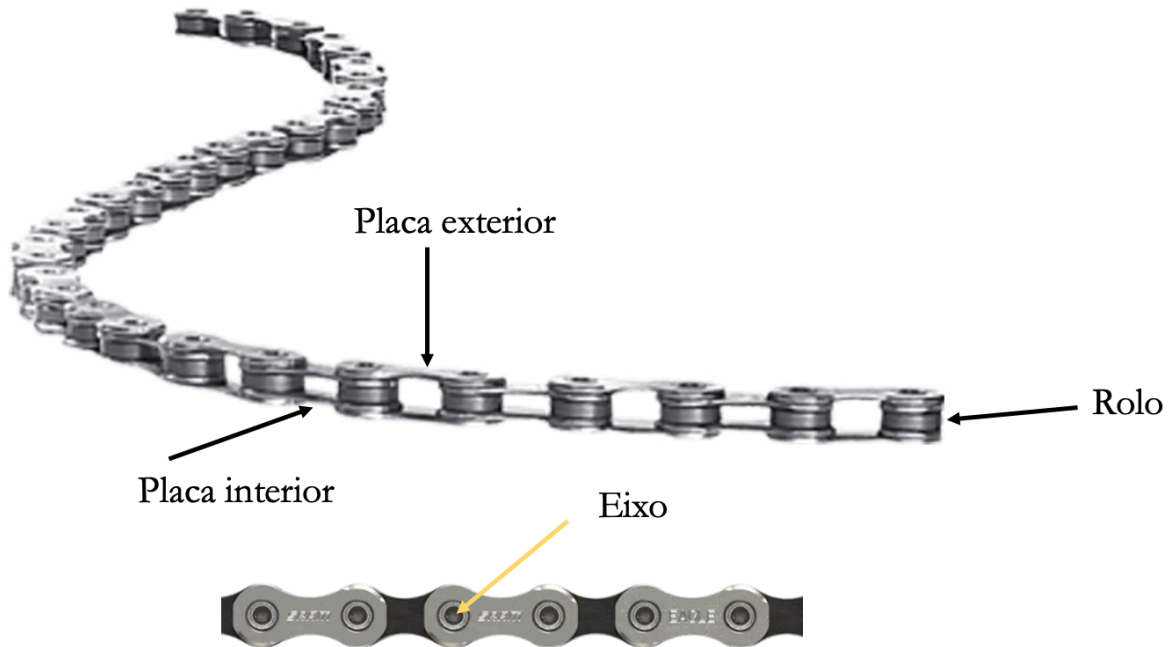


Figura 11 - Elementos constituintes de uma corrente. Adaptado de (Sram, 2023)

Sendo a corrente vendida ao cliente final “desconectada”, existe ainda outro componente que tem como objetivo a conexão de ambas as extremidades de modo que possa ser corretamente utilizada, este é denominado de “*Power Link*” ou de “*Power Lock*” sendo a diferença entre ambos residente na possibilidade de serem utilizados para “conectar” uma corrente mais do que uma vez. Este componente é constituído por uma placa e um eixo que são unicamente utilizados em componentes deste tipo.

Na figura seguinte é apresentada uma imagem referente a um *Power Lock*.



Figura 12 - Power Lock EAGLE. Adaptado de (Sram, 2023)

A metodologia descrita neste relatório teve como foco principal a análise e intervenção na secção de fabricação de componentes. Esta operação, com o referido anteriormente, tem como objetivo a produção dos componentes integrantes de uma corrente.

Nesta secção são realizados diversos processamentos que podem ser abstraídos em:

- Tratamento inicial da matéria-prima;
- Bariagem e secagem;
- Revestimento de crómio;
- Cementação, têmpera e revenido;
- Niquelagem.

O tratamento inicial da matéria-prima varia tendo em conta a peça tratar-se de uma placa (interior ou exterior) ou de um eixo. Os rolos não possuem um tratamento inicial no mesmo sentido que as restantes peças.

Os eixos são inicialmente processados na operação de cisalhamento (CIS) onde de aço trefilado são cortados os eixos, existindo a possibilidade de estas peças serem rececionadas do fornecedor já cortadas pelo que nesse caso as mesmas não são processadas inicialmente nesta operação.

No que toca às placas são inicialmente processadas nas prensas (DPE) onde de uma tira de aço se dá a forma inicial às mesmas.

A operação de Bariagem e Secagem pode ser realizada tanto em operações separadas como na operação BAR e a operação SEC ou de forma contínua como é o caso da operação EBS.



sendo sucedido novamente pelo processo de bariagem e de secagem, terminando, com um tratamento de níquel e posterior secagem.

Na figura seguinte é apresentado o esquema produtivo descrito.

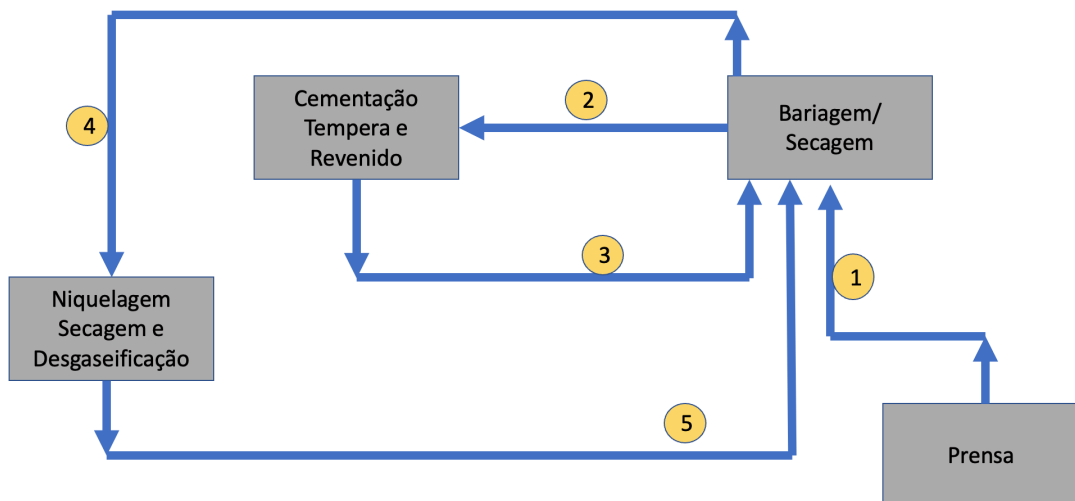


Figura 14 – Esquema exemplo do processo produtivo de uma placa exterior.

Na figura seguinte são apresentadas as correntes produzidas pela unidade fabril de Coimbra, são produzidas correntes para aplicação em sistemas de:

- 1 velocidade;
- 7 velocidades;
- 8 velocidades;
- 9 velocidades;
- 10 velocidades;
- 11 velocidades;
- 12 velocidades.



## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Estado Inicial

Como referido no subcapítulo anterior o processo produtivo de uma corrente tem início com a produção dos seus componentes na secção de fabricação de componentes. Posteriormente o contentor contendo os lotes de cada componente, é armazenado numa estante adjacente à secção de montagem de componentes sendo retirado aquando da necessidade da referida secção.

A secção de fabricação de componentes operava segundo um sistema Kanban com apenas um ciclo (compreendendo todas as operações). Os contentores que aguardavam uso pela secção da montagem de componentes permaneciam associados a um cartão kanban, cartão esse que acompanhava o lote até à totalidade do seu uso na secção (montagem). Aquando da finalização do uso do contentor, o cartão kanban a ele associado retornaria para o início do processo produtivo na secção de fabricação de componentes.

No início do processo produtivo na secção de fabricação de componentes, existiam dois quadros kanban, ambos associados à mesma fase do processamento de peças (início da produção), alojando diferentes referências.

O quadro kanban principal (Figura 18) tinha a ele associado a maior parte das referências produzidas na secção de fabricação de componentes. Alojava os cartões kanban associados a todos os eixos, rolos e às placas interiores e exteriores para sistemas de 11, 10, 9, 8, 7 e 1 velocidades. O segundo quadro kanban (Figura 17) era apenas referente a placas interiores e exteriores para sistemas de 12 velocidades.

Todos os cartões rececionados da secção de montagem de componentes eram colocados no quadro principal inicialmente onde também existiam calhas referentes às referências destinadas ao segundo quadro kanban, sendo o responsável de turno encarregado por os atribuir ao quadro kanban referente às placas para sistemas de 12 velocidades.

Este sistema apresentava diversas limitações, os cartões kanban em circulação não eram calculados desde 2018 pelo que não refletiam a realidade em que a organização se encontrava. Existia a manipulação constante do número e precedência dos cartões kanban em circulação. O sistema implementado também apresentava outras limitações, enumeradas de seguida:

- Ciclo excessivamente longo;
- Não existência de regras de precedência em operações críticas;
- Elevado *input* necessário.

A existência de apenas um quadro kanban no início do processo produtivo significava que para o processamento nas restantes operações os lotes teriam de ser

“empurrados” nas restantes operações, o que com a existência de tempos de ciclo diferentes, operações críticas com um elevado número de restrições e um nivelamento da capacidade produtiva deficiente, o sistema apresentava-se propenso a erros, a uma considerável acumulação de WIP e à diminuição dos OEE de certas operações.

A metodologia neste estágio teve como principais objetivos a resolução das problemáticas associadas às operações:

- CTC;
- TTD;
- DPE.

A operação em que se inserem as prensas (DPE) é a operação inicial para o processamento de placas. As calhas associadas ao armazenamento de cartões kanban destinados ao processamento nesta operação encontram-se organizadas por prensas, o que significa que todas as referências processadas numa dada prensa são associadas à mesma calha no quadro kanban.

Isto revelava-se problemático visto a possibilidade de exposição a elevadas mudanças de fabrico, o que não é desejável.

O sequenciamento na operação dos fornos em contínuo é realizado diariamente pelo colaborador responsável pela gestão da produção na secção de fabricação de componentes, exigindo uma elevada micro gestão da sua parte causando perturbações na realização de outras tarefas, bem como, uma grande dependência da hierarquização e do *Know-How* que o mesmo possui.

Na operação CTC o seguimento de FIFO puro afetaria significativamente o OEE da operação, sendo necessária uma solução intermédia para esta operação.

Na fase inicial esta operação dependia de uma lista de precedências, entre os lotes em curso, realizada pelo colaborador responsável pela produção.

Os fornos CTC apresentavam como principais restrições:

- Diferenças na concentração dos banhos de têmpera;
- Diferenças na temperatura de processamento de revenido.

No que toca às diferenças da concentração dos banhos de têmpera, sendo a sua alteração um processo dispendioso, é imperativo que se limite essa ação, evitando processar no mesmo forno peças com uma concentração consideravelmente diferente assim como sequenciar peças com concentrações excessivamente díspares.

Em relação às diferenças na temperatura de processamento de revenido, o problema surge quando se sequencia peças com requisitos de processamento muito díspares entre si causando alterações à temperatura do forno constantes.

A operação Tratamento Delta (TTD) que aplica às peças um revestimento de crómio, é constituída no total por 13 fornos, sendo que cada forno processa geralmente cerca de 30 kg por ciclo de processamento e estando os lotes de produção compreendidos entre 250 e 350 kg, o que acrescido ao elevado tempo necessário para o arrefecimento pós processamento torna esta operação manifestamente longa.

Na situação atual o sequenciamento na operação da bariagem é realizado por um conjunto de regras dúbias, implícitas e não documentadas, em grande parte dependentes do colaborador na bariagem num dado turno.

O sistema atual causa também elevadas quantidades de WIP não estratégico e nesse sentido não acrescentando valor ao processo na resposta à variabilidade da procura.

Embora o sistema atual opere com cartões kanbans, na realidade, aproxima-se consideravelmente mais de um sistema de MRP sendo retirados (diariamente) cartões kanban dos quadros para evitar a sua produção e introdução de novos cartões para dar aso à produção desses lotes pelo que à data de início do estágio os cartões kanban operavam como uma ordem de produção para que se pudesse produzir o que estava previsto no sistema “MRP”.

## 4.2 Metodologia Aplicada

Tendo em conta o apresentado no subcapítulo anterior será apresentada a metodologia desenvolvida, que teve como objetivo a resolução das questões acima mencionadas de modo a que a hierarquização na operação dos fornos em contínuo bem como nos fornos de revestimento de crómio seja realizada pelos operadores de forma automática visto a existência de regras claras, definidas e dinâmicas tendo em conta o contexto atual e futuro da fabricação de componentes, bem como a criação de dois pontos de stock estratégico de modo a minimizar a influência da variabilidade da procura.

As implementações destas metodologias tiveram como objetivos:

- FIFO e hierarquização facilitada ao operador dos lotes em pontos estratégicos do processo produtivo;
- Diminuição de *lead time* e melhor resposta à variabilidade;
- Implementação de um sistema Kanban aproximado do Kanban puro.

Como referido anteriormente em todas as operações compreendidas entre a operação inicial e final não existiam quadros kanban, tipicamente os componentes não seguiam uma ordem FIFO sendo ajustada a sua sequência de operação pelo profissional responsável na área de fabricação de componentes, o mesmo se sucedia na ordem dos cartões kanban presentes no quadro, sendo retirados, colocados e ordenados tendo em conta as necessidades refletidas na reunião diária de planeamento. Nesse sentido foi necessário analisar de que forma seria possível limitar as necessidades de manipulação do sistema Kanban, e quais as medidas

passíveis de ser tomadas para a criação de um sistema robusto e adaptável. Nos próximos subcapítulos será exposta a abordagem que teve lugar, que é enumerada de seguida:

- Análise ao fluxo das peças e subsequente categorização em grupos de fluxos;
- Introdução de cartões de identificação na área da montagem de componentes;
- Introdução de um ponto de divergência no processo produtivo;
- Cálculo do número de cartões kanban em circulação;
- Definição de novo funcionamento dos quadros kanban;
- Estantes de armazenamento dos lotes;
- Construção de novos quadros kanban.

No próximo subcapítulo são apresentados os resultados da análise realizada do fluxo de todas as peças produzidas na unidade fabril.

### 4.3 Alteração ao fluxo dos cartões kanban

Como referido anteriormente o fluxo dos cartões kanban à data de início do estágio abrangia, para todas as peças, na fabricação de componentes, um ciclo compreendido entre a primeira operação de uma dada peça e a última operação, antes do início do processamento na secção da montagem, como representado na imagem abaixo.

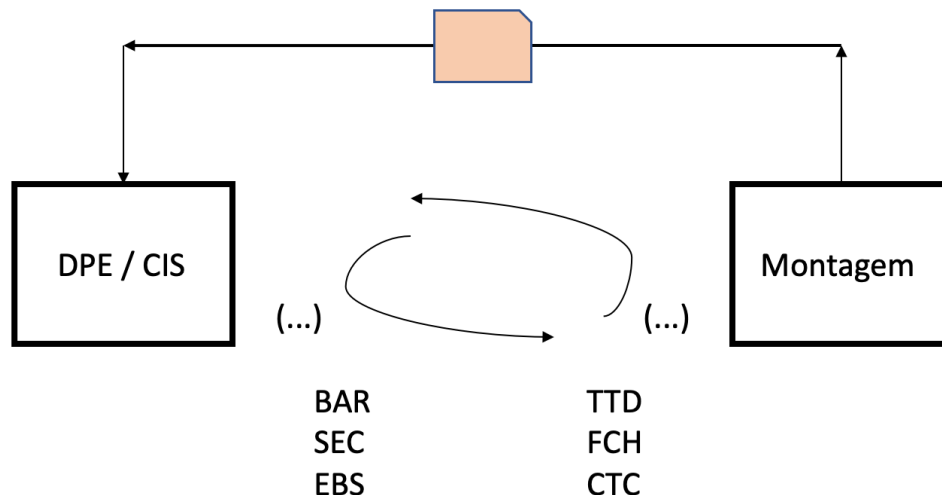


Figura 16 – Representação do ciclo kanban inicial.

Na secção de fabricação de componentes existiam dois quadros kanban, sendo um referente às placas interiores e exteriores para a fabricação de correntes de 12 velocidades e outro referente aos restantes componentes como rolos, eixos e restantes placas interiores e exteriores.

O quadro kanban referente a placas de 12 velocidades (modelos compreendidos nas gamas EAGLE, T-TYPE e D1) era constituído apenas por quatro calhas como é apresentado na figura seguinte.



Figura 17 – Quadro kanban referente a placas interiores e exteriores para correntes de 12 velocidades.

Tipicamente aquando do fim de consumo de um lote de placas para fabricação de correntes de 12 velocidades pela secção da montagem o respetivo cartão kanban não é devolvido ao quadro na figura acima, sendo introduzido numa calha designada no quadro kanban principal, (Figura 18). De modo que os cartões presentes no quadro apresentado na figura acima permaneçam sequenciados segundo a ordem esperada de processamento, fica a cargo do chefe da secção das prensas a recolha dos mesmos do quadro principal e a posterior colocação no quadro acima apresentado.

O quadro kanban principal é constituído por 12 calhas sendo a sua subdivisão realizada tendo em conta a prensa na qual uma determinada peça é cortada; para componentes que não são processados nas prensas como é o caso dos eixos e dos

rolos, existe uma calha associada aos rolos e duas calhas associadas aos eixos, para os eixos que iniciam o seu processamento na operação de cisalhamento e para os eixos que são rececionados do fornecedor já cortados. Existe ainda uma calha vermelha que é preenchida quando determinado lote seria o próximo a ser processado não existindo, no entanto, o material necessário para o produzir. Nesse sentido toda a vez que determinado colaborador pretende retirar um cartão de uma calha deve verificar a calha colorida a vermelho de modo a aferir se existe algum lote a ser processado primeiro e se já existe material para o processar.

Na figura abaixo é apresentado o quadro kanban acima referido.



Figura 18 – Quadro kanban principal.

A abordagem tomada à alteração dos fluxos dos cartões kanban foi iniciada por analisar as operações pelas quais todas as peças eram processadas e a posterior subdivisão das mesmas em grandes grupos semelhantes.

Para além da gama de processamento de cada peça, seria necessário categorizá-las segundo a procura que tipicamente têm, originando um tratamento diferente no processamento das mesmas, como será discutido posteriormente. A procura por parte dos clientes das diversas referências foi tida em consideração tendo sido definido que os componentes que representassem 80% da procura total seriam considerados *HighRunners* sendo que os restantes teriam a denominação de *LowRunners*.

No que toca aos lotes considerados *LowRunners* e de modo a reduzir o excesso de stock dos mesmos presente no processo produtivo foi definido que apenas existiria um ciclo de cartão kanban compreendido entre a primeira operação e a última, sendo o funcionamento para estes componentes semelhante ao anteriormente implementado; aquando do fim do uso de um componente *LowRunner* por parte da secção da montagem, o cartão seria devolvido ao início do processo dando autorização de produção (método *CONWIP*).

No que toca as restantes peças, consideradas *HighRunners*, devido à necessidade de melhor responder à variabilidade da procura, com uma reposição de componentes mais rápida na secção da montagem, seria necessário a existência de ciclos mais curtos. Como discutido no Subcapítulo 4.8, existia a necessidade da realização de uma melhor hierarquização das peças a serem processadas de modo a atender às restrições inerentes nas secções TTD e CTC, como discutido também no Subcapítulo 4.6, foi criado um ponto de divergência para determinadas peças *HighRunners* de modo a melhor responder à variabilidade da procura, tendo sido também retirada informação do departamento de *manufacturing* relativa aos postos gargalos do sistema; foi tomada a decisão de munir as operações CTC e TTD com quadros kanban encurtando a extensão dos ciclos kanban presentes na secção de fabricação de componentes.

Na figura abaixo são apresentados os diferentes ciclos kanban propostos para a secção da fabricação de componentes. De forma simplificada e relevante para a escolha dos ciclos kanban abaixo mencionados, o processo tanto pode ter início na operação das prensas, nas cisalhas, no stock de eixos ou no stock de rolos, sendo que posteriormente uma determinada peça pode ser processada em ambas as operações TTD e CTC ou apenas numa das duas, terminando o processo posteriormente.

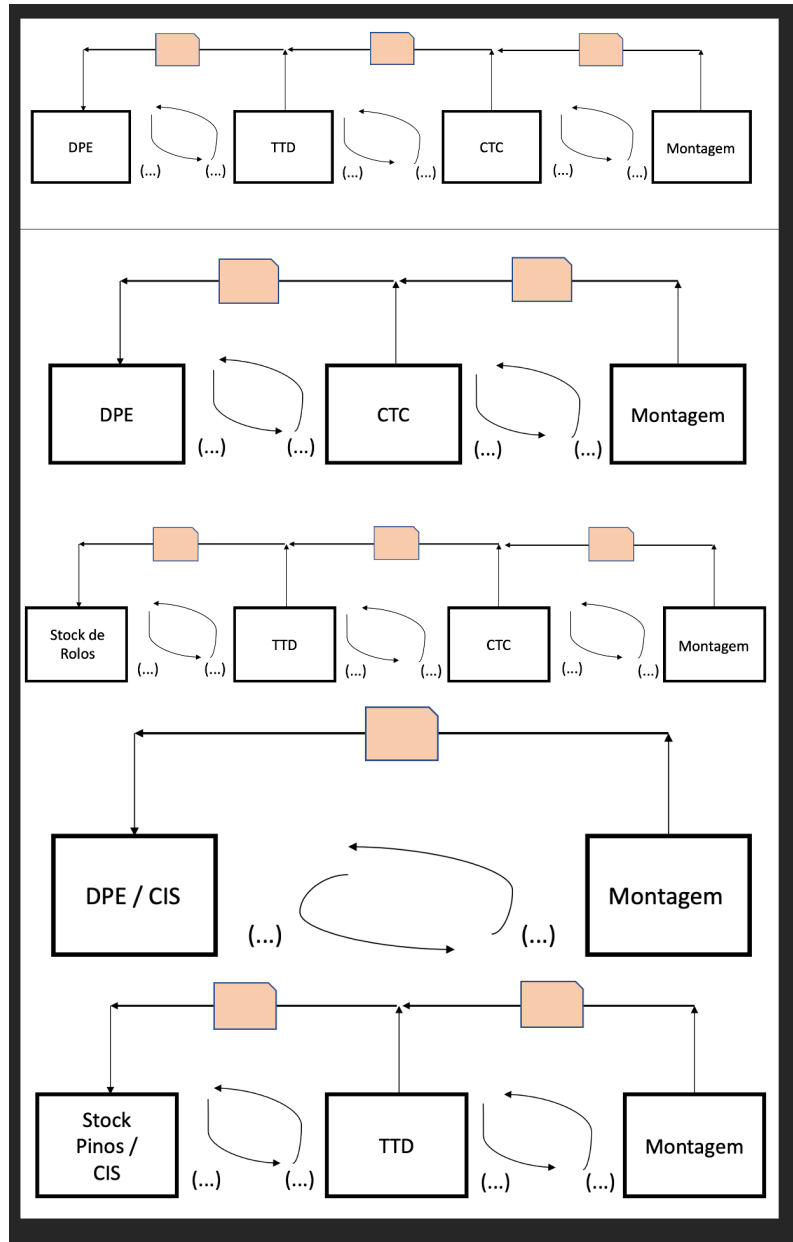


Figura 19 – Fluxos Kanban na área de fabricação de componentes.

Como é possível verificar na figura, o primeiro ciclo de cartões kanban, bem como o terceiro são referentes tanto para placas, que iniciam o seu processamento nas prensas, como para rolos iniciando o seu processo produtivo no stock de rolos, em ambos os ciclos, para peças *HighRunners*, as peças são procesadas tanto na operação TTD como na operação CTC.

O segundo ciclo apresentado é referente a placas que não sejam processadas na operação TTD mas na operação CTC assim como de forma contrária o último ciclo, referente a eixos que sejam processados na operação TTD, tanto tendo o seu processo produtivo iniciado na operação CIS ou no stock já existente.

O quarto ciclo apresentado é referente às peças *LowRunners* existindo apenas um cartão kanban para todo o processamento realizado na secção da fabricação de componentes.

A decisão na realização desta análise ao ciclo kanban previamente implementado deriva da verificação de alguns obstáculos ao processamento ótimo:

- Não existência de regras definidas e implementadas para combater restrições inerentes a certas operações;
- Um ciclo kanban excessivamente longo prejudica o controlo sobre o processamento de lotes;
- Um ciclo kanban excessivamente longo, responde mais lentamente a variações na procura.

Com esta análise e proposta de alteração, passa a existir na secção de fabricação de componentes ciclos mais curtos, criando a necessidade de stock intermédio (controlado) antes de cada uma destas operações e situando-se mais a jusante que o quadro kanban previamente implementado. Espera-se que a resposta às variações da procura será melhorada; a proposta de implementação de quadros kanban nas operações CTC e TTD, gargalos do sistema, dá o primeiro passo no combate às restrições inerentes das operações, melhorando o sistema como um todo, visto que um minuto ganho na operação gargalo é um minuto ganho no sistema.

#### **4.4 Introdução de novos cartões kanban**

Como mencionado no subcapítulo anterior foram propostas alterações aos ciclos kanban atualmente implementados, com introdução de novos quadros kanban tornando os ciclos kanban mais curtos. Nesse sentido seria necessário a introdução de novos cartões kanban em circulação de modo a corresponder com as novas restrições do sistema a implementar.

Os cartões a serem introduzidos têm como componentes:

- 1 – Símbolo correspondente à calha onde devem ser introduzidos;
- 2 – Informação do nome da peça à qual está associado;
- 3 – Para que correntes a peça é destinada;
- 4 – partNumber presente no sistema SAP;
- 5 – Descrição relativa à qualidade do aço;
- 6 – Descrição relativa ao lote de aço;
- 7 – Número do cartão kanban;

- 8 – Código de barras com proósito de atribuição de novo lote;
- 9 – Informação sobre o peso standard esperado do lote e peso real;
- 10 – Operações nas quais o lote associado deve ser processado;
- 11 – Informação sobre que ciclo é realizado pelo cartão kanban e a que quadro deve ser devolvido;
- 12 – Espaço para a colocação da etiqueta referente à ordem de produção.

Na figura seguinte é apresentado a frente e o verso de um cartão kanban “400 100”, placa exterior destinada à produção da corrente “GX- T-TYPE”, cartão com vista a ser utilizado entre as operações das prensas e CTC.

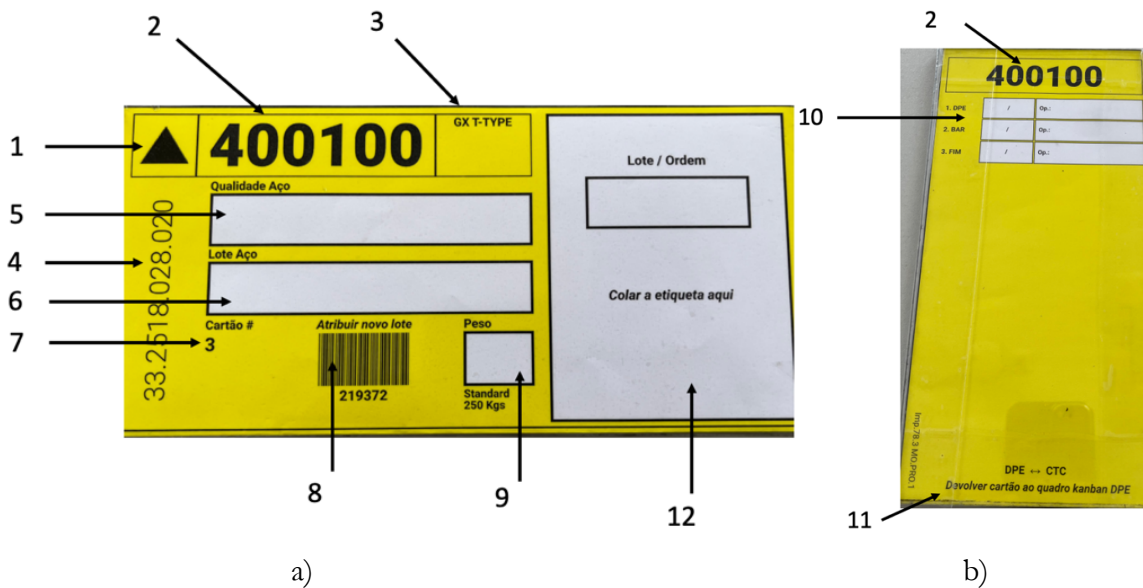


Figura 20 – Componentes presentes no cartão kanban: a) frente; b) verso.

Existem também, outros dois tipos de cartões kanban que estariam também em circulação, cartões de identificação a introduzir na secção da montagem das correntes, cartões kanban genéricos, com características ligeiramente diferentes que serão discutidos em subcapítulos seguintes.

A implementação desta metodologia surge naturalmente das alterações definidas no Subcapítulo 4.3 a existência de mais ciclos kanban cria a necessidade da existência de mais cartões kanban, bem como de diferenciação em relação aos ciclos a que pertencem.

#### 4.5 Introdução de cartões de identificação na secção de montagem de componentes

Anteriormente, o cartão kanban associado a um lote apenas sinalizava ordem de produção para a secção de fabricação de componentes, colocando o cartão kanban no quadro respetivo, aquando do fim do seu uso pela secção de montagem de

correntes, significando que para o cálculo da quantidade de cartões kanban em circulação o *lead time* teria de englobar o tempo de uso de um lote por parte da secção de montagem de correntes. Aumentando *lead time* teriam de existir mais cartões kanban em circulação, foi tomada a decisão de que a partir do momento em que a secção da montagem retirasse um lote da estante de stock de componentes (Figura 21) o cartão a ele associado retornaria para o quadro kanban correspondente podendo-se assim dar início à produção de um novo lote.

Tendo em conta esta alteração foi introduzido um novo cartão que permanecerá nas linhas de montagem e que substitui o cartão kanban associado ao lote de modo que em qualquer momento, de forma facilitada em cada linha de montagem se possa ter conhecimento de que lotes se encontram em utilização (Figura 22).

O cartão tem como componentes:

- As correntes ou o número de velocidades à qual aquela referência pode estar associada;
- Espaço para transferir a etiqueta de identificação da ordem de produção, do cartão anterior;
- Identificador único da peça;
- Peso standard do lote e peso real;
- Identificação do último quadro kanban utilizado por aquela peça.

Ou seja, em comparação com o cartão kanban apresentado no subcapítulo anterior, este, possui os mesmos componentes excetuando localização para a colocação da qualidade do aço e do lote do aço bem como espaço para a colocação da ordem de produção. No verso do mesmo também não existem operações realizadas pela peça.

De seguida são apresentadas figuras relativas à estante de componentes de peças acabadas provenientes da secção de fabricação de componentes com o objetivo de fornecer a secção de montagem de correntes e na figura imediatamente seguinte a parte frontal e verso de um cartão de rolo para uso na montagem.



Figura 21 – Estante de stock de componentes.



Figura 22 – Exemplo de parte frontal e verso (respetivamente) para um cartão de uso na secção da montagem.

Com o implementado opta-se por retirar do cálculo do número de cartões kanban em circulação a variabilidade existente entre cada peça no que toca ao tempo de consumo na secção de montagem, assumindo esse tempo como sendo nulo.

A decisão aparenta ser positiva, retirando da estimação sobre a necessidade da secção da montagem um fator que poderá não estar diretamente relacionado com a mesma. Considerando duas situações positivas:

Lote com baixa procura e tempo de processamento elevado na secção da montagem;

Lote com elevada procura e rápido processamento na secção da montagem.

Como descrito no Subcapítulo 4.3 duas das componentes utilizadas para o cálculo do número de cartões kanban, são o *lead time* e procura do cliente (físico/estação subsequente). O resultado do produto entre ambas as variáveis possui uma correlação positiva com o número de cartões que originam do cálculo.

Na primeira situação acima descrita, antes da alteração proposta, o cartão kanban apenas sinalizaria ordem de produção à estação (secção) precedente aquando do fim do processamento na secção da montagem, pelo que para o cálculo das diferentes peças ter-se-ia de considerar o elevado *lead time* na referida secção, originando um número de cartões kanban em circulação e conseqüentemente uma quantidade de stock intermédio consideravelmente mais elevada do que a necessária. Enquanto que, na segunda opção a relevância do *lead time*, na secção da montagem, para o cálculo do número de cartões em circulação ficará “absorvido” pela elevada procura dos clientes.

Excluindo a variabilidade do tempo de processamento na secção montagem, retornando o cartão assim que o seu uso for iniciado, atribui-se uma maior importância à procura dos clientes em função de uma melhor consideração sobre o *lead time* “real” (na ótica do cliente) de uma determinada peça, resultando na existência de uma menor quantidade de stock intermédio em circulação.

Tendo em consideração simultaneamente que um lote com pouca procura, mas com um elevado tempo de processamento na secção da montagem pode representar um constrangimento na satisfação das necessidades do cliente, sendo, no entanto, algo que não se soluciona com a existência de mais lotes em circulação na secção de fabricação e componentes, mas antes pela otimização do processamento na secção da montagem de componentes.

#### **4.6 Introdução de um ponto de divergência no processo produtivo**

De modo a melhor responder à variabilidade da procura, e com vista a simultaneamente reduzir a quantidade de lotes em circulação foi considerada a opção da introdução de um ponto de divergência no processo produtivo, ou seja, a existência de um stock estratégico num dado ponto do processo que contivesse um

conjunto de lotes de referências genéricas que tendo em conta as necessidades dos clientes pudessem prosseguir o processo seguindo a gama de produção específica para uma determinada necessidade. Com a introdução deste stock estratégico de peças genéricas, o objetivo será a redução de tempo na satisfação das necessidades manifestadas pela secção da montagem de correntes, conseguindo simultaneamente uma redução do stock em circulação.

Após uma análise ao processo produtivo de cada uma das peças foi possível concluir que existiam conjuntos de peças que até um dado ponto do processo produtivo possuíam as mesmas características sendo possível serem tratadas como equivalentes até esse ponto.

De modo a ser possível retirar esta conclusão foram analisadas as diferentes peças em diversas métricas. Concluiu-se que para ser possível considerar duas peças como iguais até um dado ponto teriam que:

- Possuir as mesmas propriedades geométricas;
- Terem as mesmas insígnias/marcações;
- Possuírem até ao dado ponto gamas iguais.

Foi possível concluir que para todos os grupos de peças nos quais era exequível a introdução de um ponto de divergência o mesmo poderia ser realizado no fim do processamento pela operação CTC, ou seja, para uma determinada referência genérica que englobava as peças de uma determinada família a mesma poderia existir até ao fim do processamento da operação CTC, após a qual se especificaria a gama de produção numa determinada peça. No entanto sendo a operação CTC um gargalo do sistema e necessitando de atenção específica para o seu funcionamento foi definido que o lote de referência genérica seria processado na operação CTC já associado a uma referência específica.

Após esta análise concluiu-se que seria possível criar seis grupos de agrupamentos de peças, um de placas exteriores e cinco de placas interiores englobando no total 15 componentes. Ou seja, até à estante localizada antes da operação de CTC as peças presentes em cada grupo seriam tratadas como uma, com uma identificação diferente que representasse um dado conjunto, sendo que as placas exteriores eram identificadas pelo prefixo “400” seguido de até três dígitos específicos para cada família de peças, assim como as placas interiores identificadas com o prefixo “500”. O cartão, para além das informações comuns aos cartões kanban no processo da fabricação de componentes, possuía também informação das peças presentes na família englobada pela referência genérica.

Na figura seguinte é apresentado um cartão kanban “genérico” de placas interiores “500 920”, contendo as placas interiores “500 28” e “500 29”.



Figura 23 – Exemplo de um cartão genérico para um grupo de placas interiores. Verso e frente (respetivamente).

Esta proposta de alteração alinha-se com a reformulação do sistema Kanban, que foi proposto analisar, antevendo uma redução do stock intermédio bem como uma mais rápida resposta às necessidades da secção posterior.

#### 4.7 Cálculo dos cartões kanban

Devido ao processo implementado descrito neste relatório, foi necessário realizar o cálculo dos cartões kanban, definindo quantos cartões de cada componente estariam em circulação em cada ciclo kanban.

Tendo em conta o descrito no Subcapítulo 4.3 seria necessário efetuar o cálculo dos cartões kanban nas subdivisões do processo produtivo apresentadas na figura abaixo.

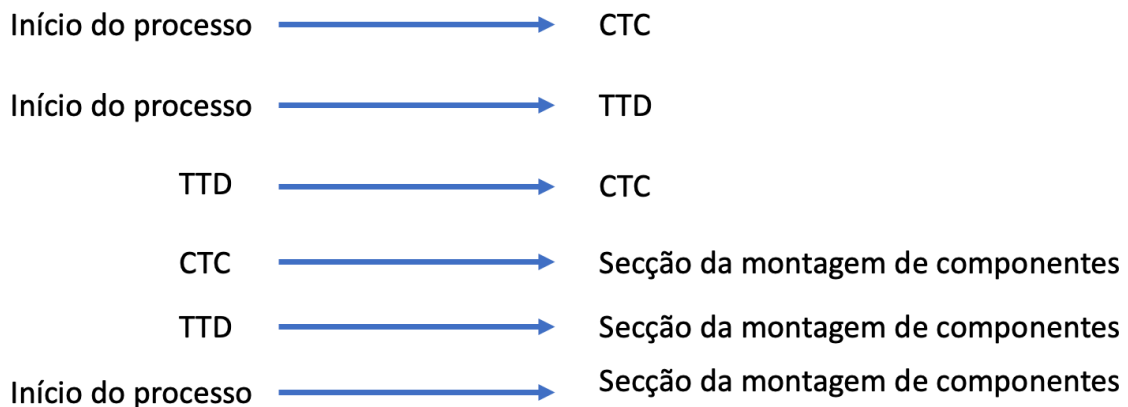


Figura 24 – Frações do processo produtivo onde existirão ciclos de cartões kanban.

Tendo em conta o descrito na figura acima é possível verificar a existência de um ciclo de cartões kanban para as peças determinadas como *LowRunners* bem como para as restantes peças, quer sejam processadas apenas na operação CTC, apenas na operação TTD ou em ambas.

De modo a proceder ao cálculo dos cartões em circulação foram tidos em conta três tipos diferentes de stocks de segurança que serão apresentados de seguida:

- Stock de ciclo de processamento normal, tem como objetivo responder ao normal consumo diário de uma determinada peça, bem como ao tempo necessário para a reposição da mesma;
- Stock da procura, desenhado para responder à variabilidade da procura;
- Stock de segurança, direcionado a contrapor falhas de stock não planeadas, falhas ou falta de equipamentos, ou imprevistos com maquinaria usada.

De modo a calcular o stock de ciclo de processamento normal foi necessário o cálculo de dois componentes, procura média diária e *lead time* para reposição.

Para o cálculo da procura média diária foi analisada a procura diária dos clientes para um período posterior ao cálculo, período de duração de três meses, calculando-se posteriormente a procura diária segundo a equação apresentada a baixo.

$$Procura\ média\ diária = \frac{\sum_{i=0}^{n=90} Procura\ de\ clientes_i}{n} \quad (4.7.1)$$

De modo a calcular o *lead time* para reposição foi analisado para cada peça o tempo de operação em cada uma das fases do seu processo produtivo, constituindo a fase inicial do cálculo. De seguida seria necessário estimar o tempo de espera de cada lote antes de cada operação; devido à não existência de dados relativos a esta matéria estimou-se um tempo de espera de duas horas antes de cada operação para cada lote. A equação de cálculo é apresentada de seguida.

$$LeadtimeToReplenish = \sum_{i=0}^{n=NO} TPO_i + 2H \quad (4.7.2)$$

Na qual:

- TPO – Tempo de processamento numa determinada operação;
- NO – Número de operações.

Tendo em conta o apresentado acima o stock de ciclo de processamento normal é calculado segundo a equação apresentada de seguida.

$$\begin{aligned} & Stock\ de\ ciclo\ de\ processamento\ normal & (4.7.3) \\ & = Procura\ média\ diária * LeadTimeToReplenish \end{aligned}$$

Para o cálculo do stock da procura, foi necessário o cálculo da variação da procura dos clientes, optando-se pelo uso do coeficiente de variação.

O coeficiente de variação é uma medida estatística da dispersão dos pontos em torno da média. Tem como vantagem ao contrário do desvio padrão poder ser usada para comparação entre diferentes conjuntos de dados (Taylor, 2023). A equação de cálculo é apresentada de seguida.

$$\text{Coeficiente de Variação} = \frac{\text{Desvio Padrão}}{\text{Média}} \quad (4.7.4)$$

Nesse sentido o cálculo do stock da procura de clientes é definido por:

$$\text{Stock de procura clientes} = \text{stock de ciclo de processamento normal} * \text{Coeficiente de variação} \quad (4.7.5)$$

Para o cálculo do stock de segurança foi necessário atender ao cálculo do *scrap rate* calculado da seguinte forma:

$$\text{Scrap Rate} = \frac{\text{Quantidade Refugo}}{\text{Quantidade Produto final}} \quad (4.7.6)$$

Nesse sentido o cálculo do stock de segurança é o seguinte:

$$\text{Stock de segurança} = (\text{Stock de procura clientes} + \text{Stock de ciclo de processamento normal}) * \text{Scrap} \quad (4.7.7)$$

Após a definição dos parâmetros acima referidos, o cálculo do número de cartões kanban a existirem num determinado ciclo para uma determinada peça é realizado da seguinte forma:

$$\text{N. Cartões} = \frac{\text{Stock de Ciclo de processamento normal} + \text{Stock de procura clientes} + \text{Stock de segurança}}{\text{Quantidade por lote de produção}} \quad (4.7.8)$$

Foi definido que este cálculo seria realizado com uma periodicidade de duas semanas e que teria em conta a procura de clientes nas três semanas seguintes, sendo ajustados os cartões em circulação (a cada duas semanas) tendo em conta os resultados do mesmo.

Com isto permitia-se que a realidade do processo produtivo estivesse ajustada à realidade real da empresa não sendo necessária uma intervenção extensiva por parte dos colaboradores responsáveis, tornando o sistema Kanban robusto e autossuficiente.

## 4.8 Funcionamento dos quadros kanban

Como referido no Subcapítulo 4.3 existiam, à data de início do estágio dois quadros kanban, um referente aos componentes de placas interiores e exteriores destinados à produção de correntes de 12 velocidades e outro destinado aos cartões kanban dos restantes componentes.

Com as alterações propostas na secção de fabricação de componentes, passariam a existir quatro kanban distribuídos em três fases do processo produtivo:

- Dois quadros kanban no início do processo produtivo;
- Um quadro kanban na operação TTD;
- Um quadro kanban na operação CTC.

Os quadros previamente existentes no início do processo produtivo manter-se-iam ainda que com alterações ao funcionamento. Foi proposta a introdução de um quadro kanban na operação TTD bem como um na operação CTC englobando, na prática três funcionamentos separados correspondentes a cada um dos três fornos. Em ambas as operações TTD e CTC foi criado stock intermédio antes do processamento.

Com vista a reduzir ao máximo o *input* e microgestão pelo responsável pela fabricação de componentes foi necessário a criação de regras adaptáveis e que englobassem a maioria de acontecimentos possíveis providenciando aos operadores indicações claras de como proceder, retirando do processo decisões que pudessem induzir interpretações variadas e tomadas de decisão dúbias.

Pelo que, como já referido, todos os componentes cuja procura representasse 20% da procura total seriam considerados *LowRunners* originando uma abordagem diferente aquando do tratamento.

Para ambos os locais onde foram criados postos de stock intermédio, foi idealizado que para os lotes considerados *HighRunners* seriam definidas regras para o processamento dos mesmos relativas à sequenciação e quantidade de lotes a produzir, enquanto para os lotes *LowRunners* aquando do processamento dos mesmos será seguido um processamento segundo FIFO.

Em relação à abordagem tomada para os fornos CTC, antes do processamento, idealizou-se a existência de um supermercado onde permaneceriam os lotes considerados *HighRunners*, e um carril para o processamento dos lotes *LowRunners* onde seria seguido FIFO no processamento.

Existiam à data, 3 fornos de cementação e têmpera em contínuo. Cada um dos fornos CTC teria um quadro kanban seguindo uma metodologia relativa a sequenciamento e hierarquização semelhante aos restantes, alterando principalmente as peças a processar em cada um.

Principais razões que dificultam uma atribuição arbitrária de peças para processamento nesta secção:

- Entre fornos – concentração do banho de têmpera;
- Intra forno – temperatura de revenido.

Uma das principais razões que dificultaria o processamento de qualquer peça em qualquer forno é a concentração do banho de têmpera que cada peça necessita para

ser processada, visto que a alteração deste parâmetro é dispendiosa. Nesse sentido iniciou-se atribuição de cada referência a cada forno tendo em conta esta restrição.

Após a existência de grupos de famílias de peças que pudessem ser processadas em cada forno, foi importante ter em conta a segunda grande restrição, de modo a otimizar o processamento dos lotes em cada forno foi necessário ter em consideração qual a temperatura de revenido necessária para o processamento de cada peça, visto que a alteração significativa desta temperatura entre lotes não seria a melhor opção para manter o OEE dos fornos em níveis aceitáveis. Nesse sentido foram definidas famílias de peças tendo em conta temperaturas de revenido semelhantes, resultando num quadro, no qual analisando as calhas da esquerda para a direita observar-se-ia temperaturas de revenido crescentes nas peças pertencentes a cada calha.

As considerações sobre estas duas restrições, resultaram em três quadros distintos, em que cada continha diferentes referências ordenadas por temperaturas de revenido. De seguida seria necessário a definição de quantos lotes, de uma determinada calha seriam produzidos, antes da mudança para a calha seguinte. Para cada calha de lotes *HighRunners* foram estimados o número de lotes máximo e mínimo a produzir, tendo em conta a necessidade típica na secção da montagem/procura por parte do cliente final. Ou seja, independentemente da quantidade elevada de cartões kanban que se encontrassem numa calha apenas se processariam lotes correspondentes ao máximo definido para uma determinada calha, depois dos quais passar-se-ia a considerações sobre a próxima família de lotes a ser processada, o mesmo aplicando-se ao mínimo de lotes a serem processados numa dada calha, caso esta restrição não seja cumprida a calha em questão não terá qualquer lote processado.

Ainda que os lotes estivessem organizados pelos parâmetros acima referidos, existia ainda uma restrição que prejudicaria o OEE dos fornos caso não fosse atendida, com a passagem de peças diferentes de forma sequencial nos fornos, era necessário a introdução de porcas para a “limpeza” de peças residuais que pudessem existir de um processamento anterior de modo a evitar contaminação de lotes; para ressaltar esta limitação idealizou-se um local onde se pudessem colocar os cartões kanban que cumprissem o máximo e o mínimo definidos, para (dentro dos mesmos), se realizar o sequenciamento mais vantajoso. Ou seja, supondo um máximo de lotes passíveis de serem processados numa dada calha de 3 com a seguinte ordem  $A \rightarrow B \rightarrow A$ , o operador colocá-los-ia no local acima referido, sequenciando-os por exemplo,  $A \rightarrow A \rightarrow B$ , independentemente do lote que se encontrasse na quarta posição (neste caso) e, não obstante a sua relevância para um melhor OEE dos fornos, ou por qualquer outra razão, jamais poderia fazer parte desta ordenação.

Acima foi descrita a metodologia idealizada para o processamento dos lotes *HighRunners* na operação CTC. Devido às restrições inerentes do sistema e sendo a CTC operação gargalo do sistema da produção de componentes, seria imperativo atender às mesmas.

De seguida é apresentado de forma resumida as restrições bem como as soluções idealizadas:

- Concentrações dos banhos de tempera – Atribuição dos lotes aos diferentes fornos tendo em conta este parâmetro;
- Temperatura de revenido – Colocação de lotes com temperaturas iguais na mesma calha e ordenação das mesmas de forma crescente de modo a reduzir a variação de temperatura entre diferentes calhas;
- Número de lotes a processar de uma determinada família – Definição de lotes mínimos e máximos a serem processados em cada calha;
- Sequenciamento ótimo – Local designado para ordenação de lotes a processar de uma determinada calha.

No que toca à metodologia implementada para lotes *LowRunners*, as restrições da concentração do banho de têmpera bem como a de temperatura de revenido seriam também aplicáveis tendo sido agrupados quer por forno CTC quer pela sua temperatura de revenido.

Como referido anteriormente estes lotes, antes do processamento, estariam colocados num carril onde seria seguido um sequenciamento FIFO.

Um determinado conjunto de listas estariam associadas a cada um dos quadros kanban da operação CTC e conseqüentemente cada uma associada a uma determinada temperatura de revenido. Ao contrário dos lotes *HighRunners* estes lotes não teriam uma calha em específico, no entanto, cada lista estaria associada à transição entre duas calhas, ou seja, no fim do processamento de uma determinada família de uma determinada calha, antes de considerações sobre a calha seguinte, seria verificada a lista de lotes *LowRunners* presente nessa transição, caso o lote a ser processado no carril (FIFO) se encontrasse nessa lista seria processado caso contrário prosseguir-se-ia com o processamento da família correspondente à próxima calha. No caso de haver um processamento de um lote *LowRunner* entre duas calhas apenas um e só um poderá ser produzido não obstante a existência de mais “x” lotes pertencentes à mesma lista nas próximas posições de processamento.

De forma resumida o processamento dos lotes *LowRunners* era feito da seguinte forma:

- Sequenciamento FIFO;
- Produção de um lote mediante o cumprimento de determinadas condições;
- Apenas um lote *LowRunner*, pode no máximo ser produzido entre cada calha.

Devido à possibilidade de manutenção ou à não necessidade de funcionamento dos três fornos em simultâneo as calhas foram idealizadas como sendo móveis podendo ser introduzidas nos quadros kanban de qualquer um dos fornos.

Na figura abaixo é apresentado um esquema representativo de um quadro dos fornos CTC.

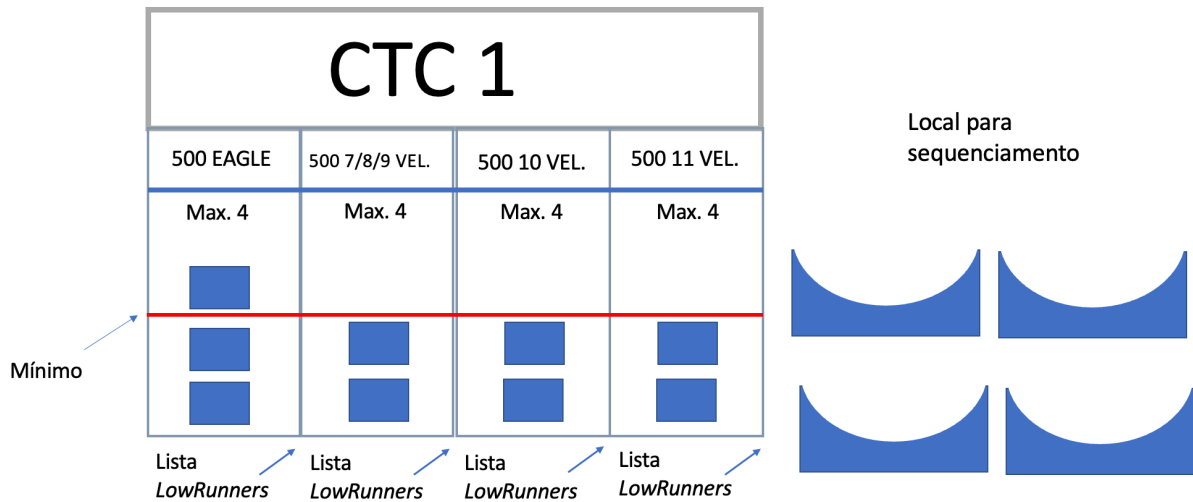


Figura 25 – Representação do quadro kanban para o forno CTC 1.

Ou seja, como descrito anteriormente é possível verificar na figura a existência de um mínimo representativo de três lotes, sendo que apenas as calhas que possuem 3 ou mais lotes terão lotes processados, entre cada calha existe uma lista de *LowRunners*, ou seja após o processamento da calha correspondente a placas “500 EAGLE” é necessário verificar a lista presente imediatamente à direita antes de se proceder a considerações sobre a calha “500 7/8/9 VEL.”. Como previamente descrito a temperatura de revenido, no quadro apresentado, será mínima na calha denominada “500 EAGLE” aumentando sequencialmente onde terá o seu valor máximo na calha “500 11 VEL.”.

O quadro Kanban referente à operação de TTD (tratamento delta) seguia um funcionamento semelhante à dos quadros anteriormente apresentados, possuía apenas duas calhas, uma referente às placas e outra referente aos eixos e aos rolos, tendo ambas as calhas a elas associadas uma lista de referências *LowRunners* a serem processadas. Existia também um espaço, algo que derivou da observação da organização dos operadores no decorrer da realização do processamento dos lotes, para a colocação do estado atual em que determinado lote se encontra podendo ao mesmo ser atribuído o estado de “em carregamento” ou “carregado” como demonstrado na figura abaixo.

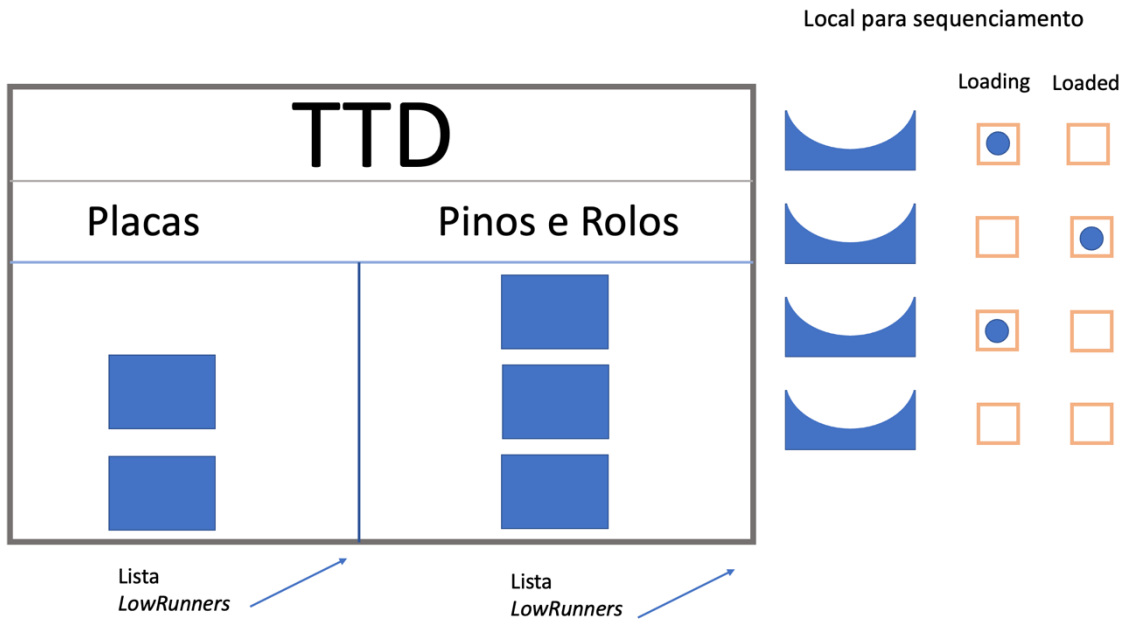


Figura 26 – Representação do quadro kanban para a operação TTD.

Em relação às prensas existia uma diferença no que toca à gama de velocidades produzidas, as placas (interiores e exteriores) destinadas à produção de correntes de 12 velocidades possuíam um modo de funcionamento diferente ao das restantes placas.

Para as prensas destinadas à produção de placas excetuando as de 12 velocidades foi definido que teriam um modo de funcionamento semelhante ao dos quadros do CTC. Divididas por famílias de conjuntos de peças a processar em cada prensa, cada calha possuía indicação do máximo e do mínimo a processar de cada família em cada prensa, existiam também, tal como na operação CTC, espaços externos às calhas que permitiam a realização de um ordenamento posterior, desde que dentro do lote máximo e mínimo estipulado.

Todas as placas que fossem destinadas a correntes de 12 velocidades eram cortadas em quatro prensas nas quais passaram a existir famílias de peças agrupadas quer por calha de cada quadro, quer por prensa.

No que toca às placas destinadas a produzir correntes de 12 velocidades existiam quatro calhas:

- 1 - Destinada à produção de placas exteriores EAGLE;
- 2 - Destinada à produção de placas interiores EAGLE;
- 3 - Destinada à produção de placas exteriores D1/T-TYPE;
- 4 - Destinada à produção de placas interiores D1/T-TYPE.

Existirá sempre uma prensa permanentemente associada à produção de cada uma das placas referidas nos 4 pontos acima, onde cada uma terá uma calha associada e não sendo efetuado qualquer tipo de sequenciamento posterior, seguindo-se um

sistema Kanban puro, FIFO; há ainda 2 prensas móveis que têm como objetivo assistir de modo a evitar a existência de um elevado número de cartões a aguardar processamento. Uma das duas prensas alternará entre as placas exteriores EAGLE e as D1 e T-TYPE enquanto a segunda prensa móvel alternará entre as placas interiores de EAGLE e as D1 e T-TYPE.

Cada calha possuirá um número máximo de lotes, sendo a ultrapassagem deste máximo sinalizador para a prensa móvel de iniciar a produção deste conjunto de peças. A prensa móvel apenas irá realizar a mudança caso a calha à qual se encontra atualmente associada não possua mais cartões do que aqueles definidos pelo seu máximo.

Foram também idealizadas alterações no que toca ao funcionamento das prensas de processamento de placas interiores e exteriores para correntes compreendidas entre uma e onze velocidades.

Anteriormente, como possível verificar na Figura 18, as calhas organizavam as placas a processar tendo em conta a prensa onde fossem inicialmente processadas, ou seja, para uma dada prensa todas as placas que nela fossem processadas seriam colocadas na mesma calha. Este sistema apresentava alguns problemas, sendo as prensas, através de informação retirada do departamento de *manufacturing*, um gargalo do sistema, seria necessária a otimização do processamento dos lotes nas mesmas. Embora a escolha das peças a processar em cada prensa tivesse tido em consideração as facilidades na mudança de fabrico não era possível o processamento aplicando FIFO puro existindo a possibilidade de uma mudança de fabrico a cada lote tratado. Nesse sentido aquando do início do estágio existia um ordenamento dos cartões kanban a serem processados, na tentativa de mitigar os aspetos negativos do sistema implementado.

Tendo em conta o acima referido foi desenhado um sistema semelhante ao idealizado para os fornos CTC com a separação das peças processadas em cada prensa em famílias e organizadas de modo que a transição de uma calha para a seguinte otimizasse as mudanças de fabrico numa dada prensa. Tal como nos fornos CTC foram também definidos máximos e mínimos para os cartões a serem processados em cada calha.

As prensas destinadas ao processamento de placas exteriores e interiores que não sejam destinadas a correntes de doze velocidades são, prensa PM2, PM3, P2-H100 e a prensa Colombo.

A prensa PM2 processa placas exteriores de 8/9 e 10 velocidades.

A prensa PM3 processa placas interiores de 1/7/8/9/10 e 11 velocidades.

A prensa P2-H100 processa placas exteriores de 11 velocidades, *Power-Locks* para utilização em correntes de 12 velocidades, bem como outras referências.

A prensa colombo não foi considerada nesta análise visto as peças nela processadas apresentarem uma procura residual, sendo tomada uma decisão ocasional cada vez que for definido que a mesma irá produzir.

De seguida são apresentadas as figuras representativas dos quadros kanban acima referidos.

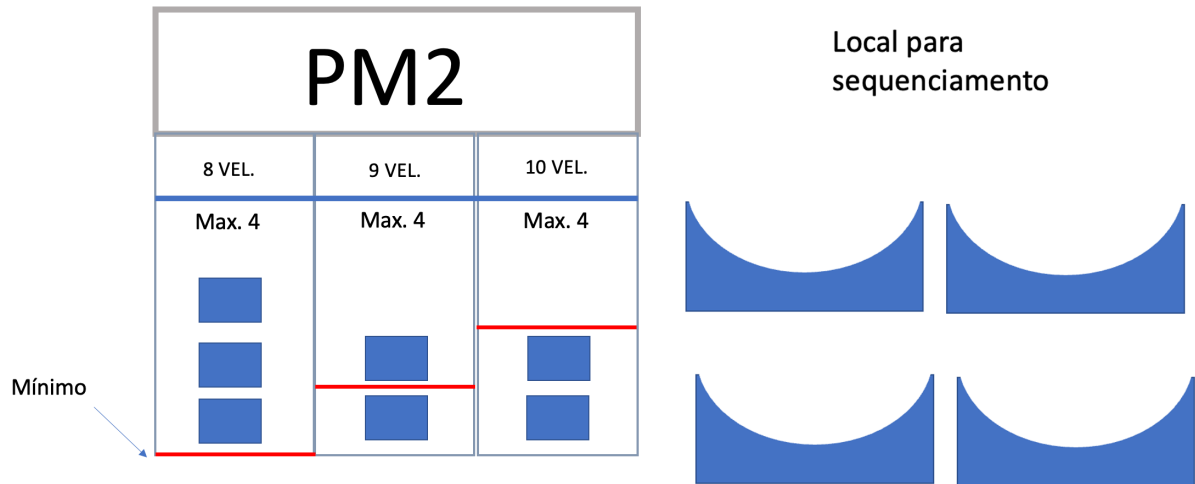


Figura 27 – Representação do quadro kanban para a prensa PM2

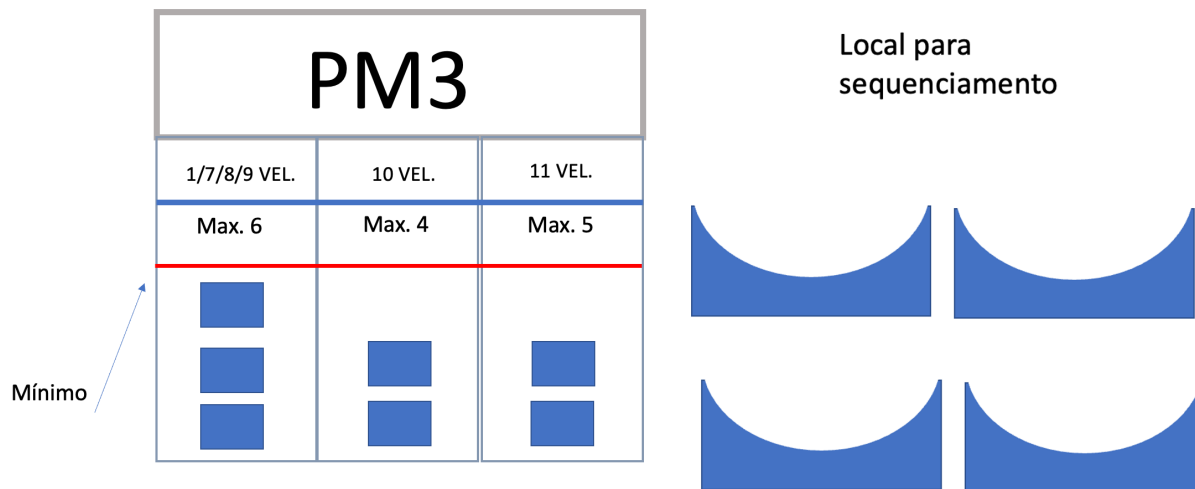


Figura 28 – Representação do quadro kanban para a prensa PM3

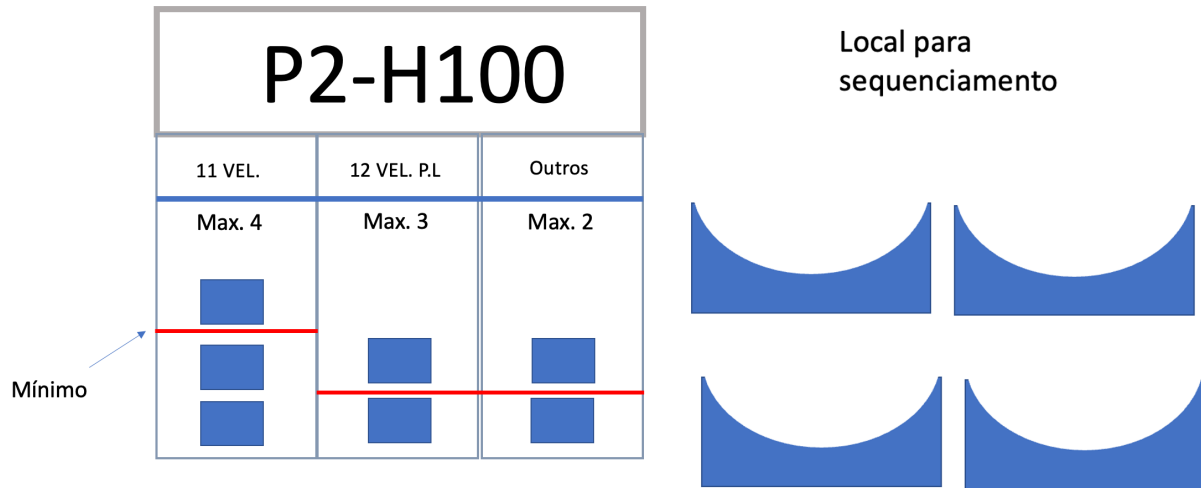


Figura 29 – Representação do quadro kanban para a prensa P2-H100

O acima apresentado deriva da necessidade de uma reforma ao sistema Kanban implementado. Tal como o cálculo correto e regular do número de cartões kanban em circulação, de modo que o sistema Kanban represente a realidade da empresa a definição dos parâmetros acima referidos derivam da necessidade de se otimizar o funcionamento de diversas operações gargalos do sistema, onde um sequenciamento no processamento seguindo o método FIFO puro revelar-se-ia prejudicial. Aquando das análises para a proposta destas alterações, as operações aqui mencionadas não seguiam um sistema FIFO no processamento dos lotes, estando dependentes de *know-how* específico e ambíguo de colaboradores para o seu funcionamento.

As alterações propostas neste capítulo apresentam uma resposta ao modo de operação anteriormente implementado, a criação de regras claras e explícitas capacitam os operadores de tomada de decisão, bem como criam um conjunto de métricas mensuráveis e definidas permitindo diversas análises sobre o desempenho do sistema, criando um *standard* de funcionamento atual e tornando alterações futuras informadas em bases factuais.

## 4.9 Estantes

Tendo em conta as alterações propostas, com a implementação de quadros kanban em duas operações presentes no decorrer das operações da fabricação de componentes e a inerente criação de stock intermédio imediatamente antes das mesmas, foi necessária a avaliação de necessidades dos supermercados futuras nas duas operações mencionadas, TTD e CTC.

As próximas duas figuras apresentam a situação atual à data do início do estágio na operação TTD. A estante era constituída por três níveis, no entanto era usual a não utilização da estante de forma completa para lotes a processamento na operação e frequentemente a colocação de contentores fora dos lugares designados para os mesmos.



Figura 30 – Situação inicial de WIP antes de TTD.

No que toca à operação CTC em conjunto com a operação EBS (bariagem e secagem) o supermercado das mesmas era constituído por quatro carris, como apresentado na figura em baixo.



Figura 31 – Estado inicial de WIP para operação CTC.

Em ambos foi estimado qual seriam as necessidades de stock intermédio que existiriam antes das operações e nesse sentido foi idealizada a disposição futura dos lotes de stock intermédio.

De modo a estimar o correto tamanho dos supermercados para aferir as necessidades de armazenamento futuras foram aplicadas as equações (4.7.3), (4.7.5)

e (4.7.6), tendo sido, no entanto no cálculo final considerado um fator de segurança originando a seguinte equação final de estimação do tamanho futuro dos supermercados.

$$N. Lotes = \frac{2 * Stock de Ciclo de processamento normal + Stock de procura clientes + Stock de segurança}{Quantidade por lote de produção} \quad (4.9.1)$$

No que toca à disposição de stock intermédio com o objetivo de ser processado na operação TTD, foi idealizada uma estante com quatro níveis, os três níveis superiores seriam designados ao armazenamento de lotes *HighRunners* de modo a serem processados segundo a lógica anteriormente referida, enquanto que o primeiro nível seria designado ao armazenamento de lotes *LowRunners* estando definido que a colocação dos mesmos é efetuada do lado direito da estante e a remoção do lado esquerdo da mesma, existindo um desnível complementado com rolos de modo a que disponham na proximidade do local de onde seriam retirados, conseguindo-se assim realizar FIFO nesta estação, para os lotes *LowRunners*.

Em relação à disposição do stock intermédio antes de processamento na estação CTC e EBS foi idealizada existência de 3 carris:

- Carril 1 – Destinado ao processamento na operação EBS no início do processo produtivo;
- Carril 2 – Destinado ao processamento na operação EBS no fim do processo produtivo;
- Carril 3 – Destinado ao processamento de lotes *LowRunners* para a operação CTC.

Nas extremidades dos três carris (extremidade de colocação de lotes e de remoção de lotes) estariam duas estantes destinadas ao armazenamento de lotes *HighRunners* para processamento na operação CTC, bem como na lateral de um dos carris ao longo do seu comprimento existiria uma estante com o mesmo fim.

Na figura a baixo é apresentado um esquema representativo da disposição futura do supermercado para servir CTC e EBS.

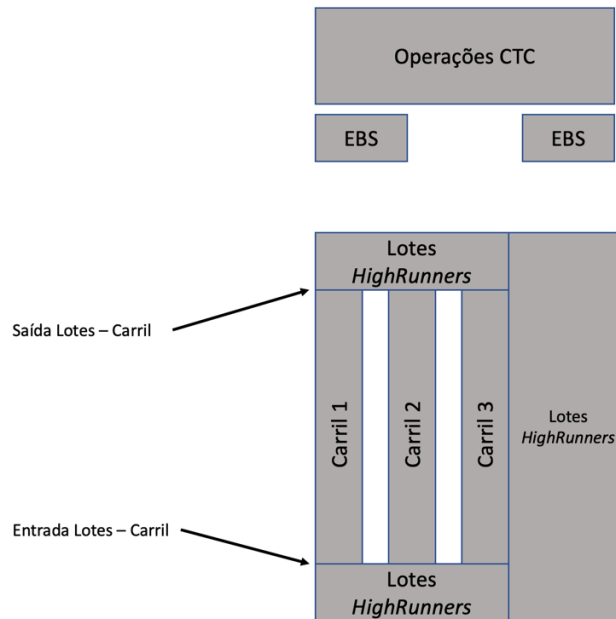


Figura 32 – Esquema representativo da disposição futura do supermercado para CTC/EBS.

Para ambas as operações (TTD e CTC), aquando do processamento de um lote *HighRunner* de um dado tipo, cuja referência existisse mais que uma vez no supermercado, a data de início de processamento presente no cartão kanban de cada uma teria de ser consultada de modo a decidir sobre que lote tratar.

#### 4.10 Implementação de quadros kanban

De modo à implementação dos quadros kanban conforme o planeado e tendo sido realizadas mudanças consideráveis ao modo de funcionamento da secção da fabricação de componentes, optou-se pela não encomenda a uma empresa especializada dos mesmos, optando-se pela construção interna de forma provisória numa fase inicial, de modo a provar o conceito.

Os quadros kanban já existentes manter-se-iam, sendo alterados para refletir as alterações idealizadas. Em relação aos quadros das operações CTC e TTD optou-se pela criação de calhas em cartão que posteriormente seriam introduzidas numa base em cartão na qual também existiriam espaços para a sequenciação de lotes tal como referido anteriormente.

Como referido anteriormente, Subcapítulo 4.4, dois dos componentes presentes são:

- Informação sobre a localização do quadro ao qual pertencem;
- Símbolo da calha na qual devem ser introduzidos.

Devido ao apresentado em cima, cada calha construída possuiria o símbolo que a identificava unicamente, possuindo também a família de peças a qual estão associadas.

Na figura seguinte é apresentada uma calha referente à família de peças “500 10 VEL.”, placas interiores para uso em correntes de 10 velocidades.



Figura 33 – Protótipo de calha para cartões kanban.

A opção da realização dos quadros numa fase inicial de forma provisória, deriva da extensão das mudanças idealizadas e da influência para o funcionamento da secção de fabricação de componentes. Com a possibilidade de as regras criadas terem de ser revistas, a sua transmissão aos colaboradores ajustada, bem como outros aspetos, optou-se pela criação de quadros de forma provisória até se acordar sobre as fundações das mudanças implementadas.

#### 4.11 Outras tarefas realizadas

Aquando do início do estágio era possível verificar no chão de fábrica a existência de estrangimentos em diversas operações, excesso de stock intermédio formado e elevados *lead times* da maioria dos produtos. De modo à melhor perceção e análise do problema em questão foi proposta a realização de uma simulação que evidenciasse as condições e o surgimento dos estrangimentos.

Idealizou-se uma simulação na qual estariam representadas todas as operações presentes na secção da fabricação de componentes, existiram espaços determinados para a permanência de stock intermédio antes do processamento em cada operação, a simulação seguiria o funcionamento da secção de fabricação de componentes com tempos de processamento semelhantes aos verificados na realidade e com a entrada de peças no sistema segundo a cadência imposta pelos clientes.

Seriam retirados dados do nível de stock presente em cada operação durante o decorrer da simulação bem como o *lead time* total de processamento na secção de fabricação de componentes e a capacidade de resposta do sistema às necessidades impostas pelo mercado.

De modo a determinar a procura a ser simulada foi realizada uma análise das encomendas de correntes por um período futuro de 3 meses e transpostas para as necessidades em lotes de cada referencia aplicando a equação (4.7.1).

Para aferir qual o limite para a entrada de uma determinada peça no sistema para que pudesse satisfazer as necessidades impostas pelo mercado foi aplicada a seguinte equação:

$$LD_{max} entrada = D_{cliente} - LT_M - LT_C \quad (4.11.1)$$

Na qual:

- $D_{cliente}$  – Data requerida pelo cliente;
- $LT_M$  – *Lead time* na secção da montagem de componentes;
- $LT_C$  – *Lead time* na secção de fabricação de componentes.

Devido ao tempo de processamento na secção da montagem bem como ao tempo de processamento mais o tempo de espera em cada operação na secção das peças soltas foi definido a data e a hora máxima até à qual se deveria dar início o processamento de cada lote de modo que a procura pudesse ser satisfeita até ao momento que se verificasse.

O layout da fábrica foi disposto em folhas A4 numa mesa bem como os lotes a serem produzidos durante o período da simulação.

Nas figuras seguintes são apresentadas fotografias ilustrativas da simulação realizada.



Figura 34 – Layout geral da simulação realizada.



Figura 35 – Representação das peças após fim da simulação.

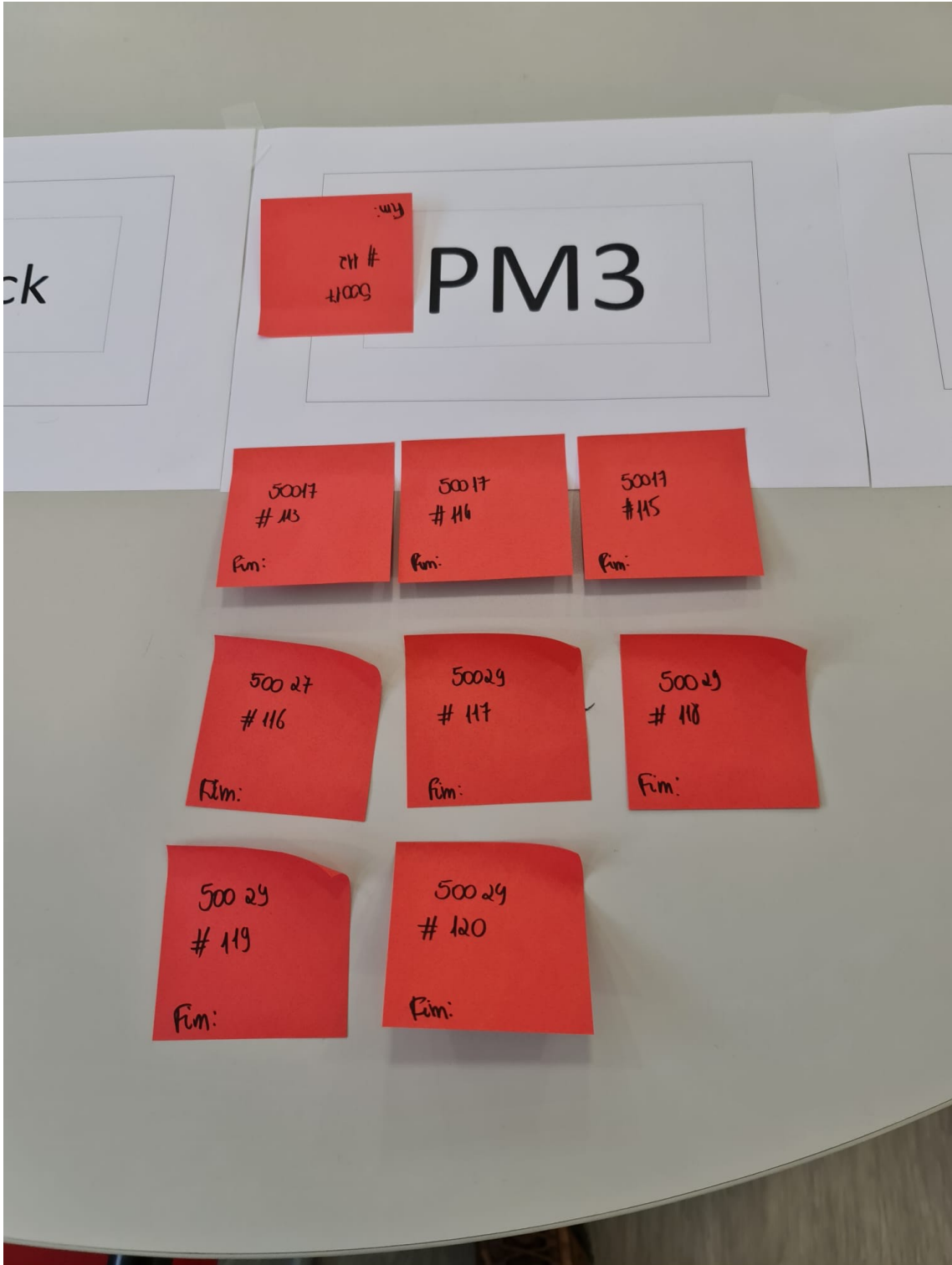


Figura 36 – Representação da prensa PM3, em processamento de um componente e respetiva fila de espera para processamento.

Sendo muito custosa a realização da simulação com iterações de minuto a minuto para uma precisa aferição da data de início de processamento dos diversos lotes e do tempo de operação em cada estação de tratamento, foi necessário a definição de um múltiplo através do qual se ajustaria o *lead time* de cada componente, nesse sentido

foram definidos intervalos de 60 minutos através dos quais as durações dos diversos componentes foram ajustadas.

Com a evolução da simulação foi notório que a manutenção deste sistema era algo custosa verificando-se elevada lentidão no desenvolvimento da mesma, a definição do intervalo de 60 minutos beneficiava a aproximação ao *lead time* real de cada componente prejudicando, no entanto, a fluidez e rapidez da simulação. Pelo que a correta aceção de um múltiplo a utilizar para os diversos componentes verificou-se desafiante. A simulação revelou-se também propensa a erros com dificuldades no controlo dos tempos de operação de cada peça na sua estação bem como dificuldades na verificação do fim do tratamento numa dada estação de todas as peças a cada iteração, pelas razões referidas optou-se pelo seu encerramento.

Foi possível, no entanto apurar a existência de uma concentração de lotes elevada e cíclica entre as operações de 1º bariagem e dos fornos de CTC. Variadas operações permaneciam com uma capacidade utilizada baixa até ao momento em que se exigia (pelo WIP) uma capacidade acima da suportada.

Com a realização da simulação foi possível aferir que no horizonte temporal das necessidades dos clientes a secção de fabricação de componentes possui capacidade de satisfação das mesmas, pelo que no sentido de nivelar a capacidade utilizada nomeadamente nos fornos CTC e na operação da bariagem, operações utilizadas pela grande maioria das peças, seria interessante o controlo dos lotes a serem processados pelas prensas, operação de cisalhamento, stock de rolos e eixos de modo a que as necessidades elevadas e cíclicas impostas às operações fossem menos evidentes reduzindo assim o WIP em cada operação. Embora não tenha sido realizada a totalidade da simulação, as conclusões passíveis de retirar estiveram muito próximas da motivação e objetivo na análise e alteração do sistema Kanban previamente implementado.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

O trabalho realizado no decorrer deste estágio teve como objetivo a redefinição do modo de operação, no processamento, hierarquização e armazenamento de lotes, na secção de fabricação de componentes. Foram desenhadas alterações profundas cuja implementação total não foi possível realizar no decorrer da duração do estágio.

Aquando do início do estágio existia uma elevada dependência da intervenção constante de responsáveis pela produção na definição do que produzir, com a retirada e colocação de cartões kanban em circulação definindo ordens de produção tendo em conta o planeamento diário da produção bem como na definição da ordem de processamento, com a ordenação dos cartões kanban presentes nos quadros, bem como a ordenação do processamento dos lotes em operações críticas, como se verificava na operação CTC e TTD. A combinação destes fatores não se revelava benéfica para o ótimo funcionamento do processamento dos lotes devido à elevada intervenção necessária, revelava-se propenso a erros e a um elevado comprometimento em garantir o mais correto processamento. O elevado tempo despendido na realização destas tarefas não proporcionava abertura para os responsáveis pela produção se focarem, na totalidade, na resolução de restantes dificuldades.

Nesse sentido seria necessário não só assegurar que os cartões em circulação refletiam as verdadeiras necessidades dos clientes, mas também garantir que em operações críticas o processamento dos lotes seria realizado de forma ótima, equipando os operadores de possibilidade de decisão segundo regras claras e definidas.

Tendo em conta o acima mencionado, foi definido o cálculo de cartões kanban a cada 2 semanas tendo em conta a procura por parte dos clientes que se verificaria nas 3 semanas seguintes, foram também introduzidos quadros kanban nas operações CTC e TTD, com regras claras e definidas relativamente ao processamento dos lotes, assegurando um processamento otimizado dos mesmos segundo as restrições de cada operação. Foram também modificadas as regras e processamento dos quadros já existentes, tanto no quadro para placas de correntes de 12 velocidades, onde se documentaram regras para o processamento nas prensas afetas a cada calha e regras para as prensas móveis, bem como no quadro presente no início do processo produtivo contendo as restantes referências.

Existia também a necessidade, como é comum à maior parte das empresas industriais, de uma melhor resposta à variabilidade da procura, possibilitando prontidão na satisfação das necessidades dos clientes. Uma das medidas implementadas nesse sentido foi a criação de um cartão que acompanhasse o lote de produção no decorrer da operação na secção da montagem de componentes, possibilitando uma reposição mais breve do mesmo na estante de armazenamento prévia à secção de montagem de componentes, diminuindo a dependência na variabilidade relativa à secção de montagem de componentes enquanto

simultaneamente reduzindo o *lead time* real de produção de um lote. A criação de stock intermédio, controlado e estratégico em dois pontos do processo produtivo, permitiu uma resposta mais ágil às necessidades da secção seguinte, reduzindo o *lead time* desde o início da sinalização da necessidade até à satisfação da mesma. Foi também realizada a análise sobre as características dimensionais e de processamento das peças de modo a perceber em que ponto do processamento existia o ponto de divergência, a partir do qual duas peças deixariam de ser consideradas iguais. A implementação desta metodologia antevê uma resposta consideravelmente mais rápida às necessidades impostas existindo assim no centro do processo produtivo um conjunto de lotes genéricos com possibilidade de responder a qualquer que seja a necessidade da secção da montagem de correntes.

Devido à duração do estágio algumas das alterações idealizadas e concebidas, não foram implementadas na sua totalidade. As novas estantes para a produção das quais uma empresa especializada foi contactada, apenas não foram instaladas no chão de fábrica, tendo sido realizadas reuniões a fim de acertar especificações aprovados os desenhos técnicos enviados pela mesma. Como referido anteriormente optou-se pela não encomenda de quadros kanban a uma empresa externa tendo-se decidido pela criação dos mesmos internamente. Aquando do fim do estágio os quadros haviam sido idealizados e várias calhas dos mesmos haviam sido construídas. Todos os cartões kanban com o objetivo de substituir os existentes em circulação, com vista à implementação das metodologias referidas neste relatório, haviam sido contruídos e aptos a entrar em circulação.

De modo que as metodologias desenvolvidas se traduzam num sistema em pleno funcionamento é necessário acompanhamento no seguimento das regras definidas para os quadros CTC no que toca aos mínimos e máximos definidos para cada calha, ajustando-os caso necessário. O processamento de apenas um lote presente na lista de *LowRunners* entre cada calha também deve ser tido em conta e alterado se necessário. A definição dos lotes considerados *HighRunners* bem como os considerados *LowRunners* também devem estar sujeitos a mudanças caso necessário. Os *triggers* das prensas que definem em que momento as prensas móveis mudam a família de componentes em processamento também devem estar sujeitos a possíveis alterações e a um acompanhamento constante numa fase inicial da implementação.

As mudanças idealizadas foram desenhadas tendo em conta a realidade atual da empresa, sendo, no entanto, dinâmicas e podendo ser adaptadas conforme a necessidade.

Sendo uma operação na qual grande parte dos componentes são processados, seria importante implementar um sistema de hierarquização na operação da bariagem traduzindo para regras claras o que à data do estágio eram regras implícitas e pertencentes ao *Know-How* de determinados profissionais, possibilitando a sua análise e melhoria, retirando dubiedade ao processo, uniformizando-o.

A metodologia desenvolvida neste estágio, configura-se como uma análise tardia e deveras necessária na área produtiva da organização. Embora a totalidade dos

parâmetros definidos possam não se verificar como definitivos após a implementação prática, representam sem dúvida o início de um comprometimento num melhor funcionamento do processamento dos lotes na secção de fabricação de componentes. Nesse sentido é de extrema importância o comprometimento dos colaboradores diretamente responsáveis bem como dos diversos departamentos que possam ter influência no sistema implementado.

## BIBLIOGRAFIA

- AOKI. (5 de novembro de 2023). *O que é MRP?* Obtido de Web site de AOKI: <https://www.aokisistemas.com.br>.
- Beheshti, Hooshang & Grgurich, & Gilbert, Faye. (2012). *ABC Inventory Management Support System With a Clinical Laboratory Application*. Journal of Promotion Management, 18, 414-435. <https://doi.org/10.1080/10496491.2012.715502>.
- Bonney, M. C., Zhang, Z., Head, M. A., Tien, C. C., & Barson, R. J. (1999). *Are push and pull systems really so different?* International Journal of Production Economics, 59(1–3), 53–64.
- Businessmap. (5 de novembro de 2023). Obtido de Web site de businessmap: <https://kanbanize.com/continuous-flow/heijunka>.
- Calvasina, R.V., Calvasina, E.J., Calvasina, G.E. (1989). *Beware the new accounting myths*. Management Accounting, 12, 41–45.
- Cambridge Dictionary. (10 de novembro de 2023). *MRP*. Obtido de Web site de Cambridge Dictionary: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/mrp>.
- César Machado (2019). *Aumento Da Produtividade Em Organização de Manutenção de Pesados de Passageiros*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Coutinho, T. (18 de agosto de 2020). *Sistemas MRP: como a integração de informações age na otimização de processos produtivos*. Obtido de Web site de Voitto: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/sistemas-mrp>.
- Curtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefous, M. (2011). *Gestão da Produção*. Paris: Lidel.
- Esparrago, R. A., Jr. (1988). *Kanban*. Production and Inventory Management Journal, 29(1), 6.
- Furmans, K. (2005). *Models Of Heijunka-Levelled Kanban-Systems*. Ifl, University of Karlsruhe (TH). 5th International Conference on Analysis of Manufacturing Systems - Production and Management 2005, Zakynthos Island, Greece, pp. 243–248.
- G M, Anoop. (2020). *A Brief Overview on Toyota Production System (TPS)*. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology 8:2505–9. doi: 10.22214/ijraset.2020.5415.
- Gonçalves, T. (2014). *Análise e melhoria de operações de um armazém JIT: caso de estudo*. Tese de Mestrado. Lisboa: Universidade nova de Lisboa.
- González-R, Pedro L., José M. Framinan, & Henry Pierreval. (2012). *Token-Based Pull Production Control Systems: An Introductory Overview*. Journal of Intelligent Manufacturing, 23(1), 5–22. doi: 10.1007/s10845-011-0534-4.

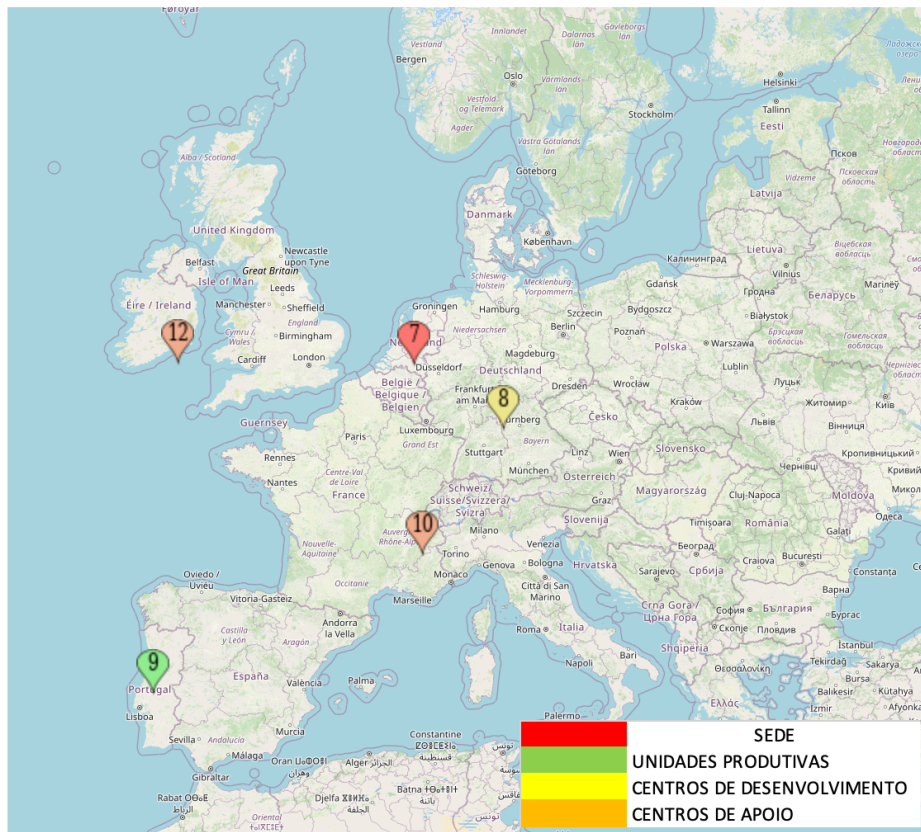
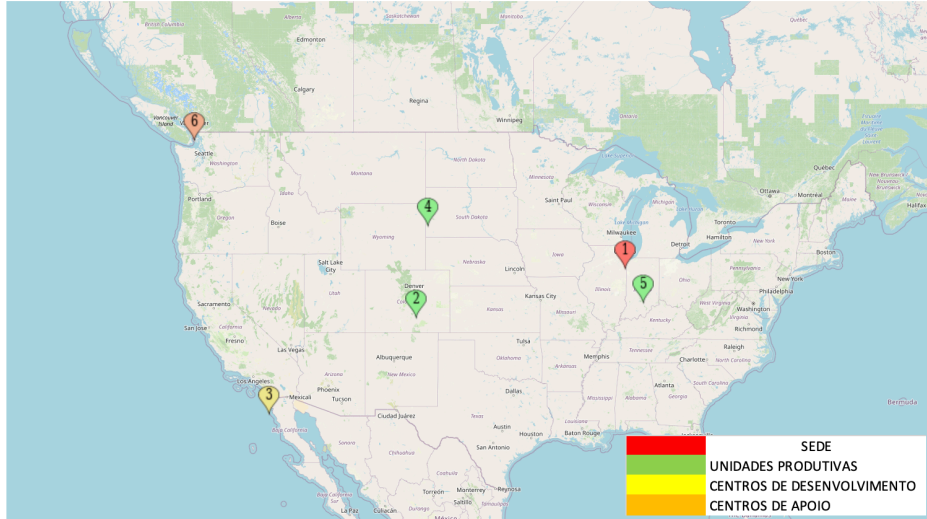
- Gorczyca, M. & Janiak, A. (2011). *Manufacturing Control Systems*. Wroclaw University of Technology. ISBN 978-83-62098-88-0
- Goldratt, E.M., & Cox, J. F. (2003). *The Goal: Excellence in manufacturing*. European Journal of Operational Research, 26(3), 412-413. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90143-8).
- Hüttmeir, Andreas, Suzanne de Treville, Ann van Ackere, Léonard Monnier, & Johann Prenninger. (2009). *Trading off between Heijunka and Just-in-Sequence*. International Journal of Production Economics, 118(2), 501–7. doi: 10.1016/j.ijpe.2008.12.014.
- Jacobs, F.R. & Chase, R.B. (2014). *Operations and supply chain management* (14<sup>a</sup>ed). McGraw-Hill Education.
- Kumar, C. Sendil, & R. Panneerselvam. (2007). *Literature Review of JIT-KANBAN System*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 32(3–4), 393–408. doi: 10.1007/s00170-005-0340-2.
- Lean Enterprise Institute. (2 de julho de 2020). *Toyota Production System*. Obtido de Web site: <https://www.lean.org/lexicon-terms/toyota-production-system/>
- Lopes, D. F. (2017). *Análise e implementação de um sistema Kanban numa empresa metalomecânica*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Ohno, Taiichi. (1982). *How the Toyota Production System Was Created*. Japanese Economic Studies 10(4):83–101. doi: 10.2753/jes1097-203x100483.
- Ovidiu, S., & Dascalu, C. (2010). *The Advantages And Risks Of Using An Erp System In The Context Globalization*. International Journal of Modern Manufacturing Technologie. ISSN, 2(2).
- Pereira, C. (1996). *A integração entre o sistema contábil e o Just-in-Time*. Tese de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean* (6aedição), Lisboa: Lidel.
- Ptak, C. A., & Smith, C. (2011). *Orlicky's material requirements planning* (3rd ed.), New York: McGraw-Hill.
- Rahman, Shams-Ur. (1998). *Theory of Constraints A Review of the Philosophy and Its Applications*. International Journal of Operations & Production Management, 18(4), 336–55. doi: 10.1108/01443579810199720.
- SAP. (12 de novembro de 2023). *Material requirements planning (MRP) overview*. Obtido de <https://www.sap.com/products/erp/what-is-mrp>
- Sohal, A. S., A. Z. Keller, & R. H. Fouad. 1989. *A Review of Literature Relating to JIT*. International Journal of Operations & Production Management 9(3):15–25. doi: 10.1108/eum0000000001228.
- Sram. (10 de novembro de 2023). *Company*. Obtido de Web site: <https://www.sram.com/>

Taylor, S. (14 de novembro 2023). *Coefficient of Variation*. Obtido de Web site de Corporate Finance Institute.

Toyota Motor Company. (1973). *Toyota Handbook*. Tesla Inc.

## ANEXOS

### Anexo 1: Localização das unidades *SRAM*



# Definição de um sistema Kanban na SRAM – Coimbra

