



**António José Oliveira
Alves**

**Criação de uma ferramenta de optimização dos
circuitos logísticos**



**António José Oliveira
Alves**

**Criação de uma ferramenta de optimização dos
circuitos logísticos**

Relatório de Projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira, Professor Associado com Agregação do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro e da Doutora Ana Maria Pinto de Moura, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos por todo o apoio, suporte e confiança depositados em mim ao longo de toda a minha vida.

À Alichandra Castro, pilar essencial no meu percurso académico e essencialmente por nunca ter deixado de acreditar em mim.

o júri

presidente

Professora Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor António Gil D'Orey de Andrade Campos
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Ana Maria Pinto de Moura
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao orientador deste projecto Professor Carlos Manuel dos Santos Ferreira, pela disponibilidade, suporte, conselhos e paciência.

À co-orientadora Professora Ana Moura pela colaboração e apoio imprescindíveis neste projecto.

Ao Engenheiro Carlos Abrantes pela oportunidade concedida e rigor exigido, assim como ao Engenheiro Sérgio Gonçalves pelo acompanhamento e disponibilidade prestados.

Ao Hugo Lopes, Cláudia Costa e Edgar Baptista por toda a ajuda na minha integração e aprendizagem na área do PC&L Improvement.

A todos os colaboradores da Faurecia Assentos Automóveis, desde os operadores até ao pessoal administrativo, cada qual com o seu contributo directo ou indirecto para o sucesso deste projecto.

Aos meus amigos por estarem presentes nos melhores e piores momentos.

palavras-chave

Optimização, Mizusumashi, Logística, Lean, CVRP, Abastecimento

resumo

A crescente complexidade e incerteza do séc. XXI no que concerne à volatilidade e competitividade dos mercados mundiais, gerou desafios inerentes à gestão e optimização dos processos industriais. Neste contexto, as indústrias devem impor uma mudança de paradigmas e de métodos de gestão tradicionais. A aplicação dos conceitos Lean, principalmente no que diz respeito à melhoria contínua, redução de desperdícios e criação de valor permite o desenvolvimento sustentável das organizações. O desafio deste trabalho consiste na procura de processos mais eficazes e eficientes, nomeadamente na área da logística interna, recorrendo não só mas também aos princípios desta filosofia.

O presente projecto, efectuado na Faurecia Assentos Automóveis, teve como objectivo principal, o desenvolvimento de uma ferramenta intuitiva para a optimização dos circuitos de abastecimento internos de forma a reduzir desperdício na actividade dos mesmos, quer em termos de capital humano, como em utilização de equipamento. A ferramenta desenvolvida permitiu optimizar os circuitos estudados e poderá de igual forma ser útil no planeamento de novos circuitos de abastecimento. De forma complementar elaboraram-se melhorias pontuais nos circuitos, assim como nas variáveis com eles relacionadas de forma a melhorar não só a sua actividade funcional, como também tornar o processo de abastecimento das linhas de montagem mais eficiente.

keywords

Optimization, Mizusumashi, Logistics, Lean, CVRP, Supply

abstract

The increasing complexity and uncertainty of the XXI century concerning to volatility and competitiveness in world markets has generated challenges inherent to the industrial methods management and optimization. Within this context, industries must impose a change of paradigms and methods of traditional management. The application of Lean concepts, mainly regarding continuous improvement, waste reduction and value generation allows a sustainable development of organizations. The challenge of this work consists in searching efficient and effective processes, particularly in the area of logistics using, not only but also, the principles of this philosophy. The current work, performed at Faurecia Automotive Seating had, as its main objective, the development of an intuitive tool for the optimization of internal supply chains to reduce waste in the same activity, both in terms of human capital, as in use of equipment. The tool developed allowed the optimization of the studied routes and can be equally useful in the planning of new supply routes. Complementarily occasional improvements in the routes are drawn up as well as the variables associated with them in order to improve their functional activity but also to make the process of supplying the assembly lines more efficient.

Índice de Conteúdo

Capítulo I – Introdução	1
1.1- Motivação	1
1.2- Objectivos e Metodologia	1
1.3- Contribuição esperada	2
1.4- Estrutura do documento	2
Capítulo II - Enquadramento Teórico	3
2.1- Estado da arte	3
2.2- Evolução das ideologias de produção	4
2.3- <i>Toyota Production System</i> – génese e evolução	4
2.4- Filosofia <i>Lean</i>	6
2.4.1- Conceito e princípios	6
2.4.2- Produção <i>Lean</i> e desperdício	8
2.5- <i>Just-in-Time</i>	10
2.5.1- JIT e Logística	11
2.6- A Logística e os novos desafios	11
2.7- <i>Kanban</i>	12
2.8- Tempo <i>TAKT</i> vs Tempo de Ciclo	16
2.9- Sistema <i>mizusumashi</i>	17
2.10- Investigação operacional	18
2.10.1- Problemas de optimização	18
2.10.2- Métodos exactos vs métodos heurísticos	19
2.10.3- <i>Vehicle Routing Problems</i>	20
2.10.4- Optimização e novas tecnologias	23
2.11- Conclusão	23
Capítulo III – Caso de estudo	25
3.1- Génese e evolução do Grupo Faurecia	25
3.2- Faurecia em Portugal	26
3.3- Actividade funcional da empresa	27

3.4- Apresentação do projecto de estágio	29
3.4.1- Etapa de <i>Production Training</i>	29
3.4.2- Circuitos logísticos internos e logística inerente	30
3.4.3- Trabalho Standard	33
3.4.4- <i>Petit Train</i> e método de trabalho	34
3.3- Estudo e análise dos circuitos de abastecimento	35
3.4- Análise e implementação de melhorias pontuais nos circuitos logísticos	37
3.4.1- Análise de melhoria do circuito “Pintura PQ25 AF Linha 1, 2, 3 e 6”	38
3.4.2- Análise de melhorias no circuito “Coquilhas PQ25”	41
3.5- Melhorias no picking	45
3.6- Melhorias no sistema kanban	46
3.7- Melhorias no seguimento de horário dos circuitos	46
3.8- Desenvolvimento da ferramenta de optimização dos circuitos logísticos	47
3.8.1- Restrições de transporte e abastecimento interno	47
3.8.2- Descrição do problema	49
3.8.3- Ferramenta de optimização e ficheiros associados	53
3.8.4- Optimização do circuito “PQ25 9B Componentes”	54
3.8.5- Optimização do circuito “A7 (Componentes + Pintura)”	61
 Capítulo IV – Conclusões	 63
Futuros Desenvolvimentos	64
 Bibliografia	 67
 ANEXOS	 69

Índice de Figuras

Figura 1 - Sete tipos de desperdícios da filosofia <i>Lean</i>	8
Figura 2 - Kanban na produção pull (Fonte: PPD Team, 2002).....	13
Figura 3 - Problemas expostos através da redução do número de kanbans (Fonte: PPD Team, 2002).....	15
Figura 4 - Diagrama do processo de modelação matemática (Fonte: Arenales, Armentano, Morabito, Yanasse, 2007)	18
Figura 5 – Linha do tempo do historial da Faurecia (Fonte: Faurecia intranet).....	25
Figura 6 - Faurecia no mundo (Fonte: www.faurecia.com)	26
Figura 7 - Implantações fabris em Portugal (Fonte: www.faurecia.com)	26
Figura 8 - Exemplos de produto acabado na FAA SJM (Fonte: Faurecia intranet).....	27
Figura 9 - Layout da FAA SJM1 (Fonte: Faurecia intranet)	28
Figura 10 - Fluxograma do método de trabalho dos PT.....	34
Figura 11 - Cesto metálico utilizado no circuito "Coquilhas PQ25"	41
Figura 12 - Mesa de abastecimento das coquilhas PQ25.....	43
Figura 13 - Ciclo de caixas para transporte e abastecimento de componentes	48
Figura 14 - Formatação de comentários no X-Press IVE.....	54
Figura 15 - Dados relativos ao número de paragens e veículos disponíveis	54
Figura 16 - Velocidade média dos PT.....	55
Figura 17 - Matriz das distâncias entre as paragens.....	55
Figura 18 - Paragens e sentidos de movimentação num corredor	56
Figura 19 - Tempos de carga e descarga de componentes.....	56
Figura 20 - Procura em cada paragem por tipo de caixa	57
Figura 21 - Volume de cada tipo de caixa	57
Figura 22 - Capacidade de cada veículo	58
Figura 23 - Coordenada de cada paragem considerada.....	58
Figura 24 - Solução do problema e resultados obtidos	59
Figura 25 - Solução do problema e resultados obtidos	61

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Elementos fundamentais do sistema de produção da <i>Toyota</i>	5
Tabela 2 - Categorias de transporte logístico interno na FAA	31

Tabela 3 - Análise e comparação de cenários	43
Tabela 4 - Tipos de caixas e dimensões respectivas.....	49
Tabela 5 - Tabela de comparação da otimização do circuito PQ25 9B.....	59
Tabela 6 - Tabela de comparação da otimização do circuito A7	62

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Tempos circuitos logísticos internos (PT).....	36
Gráfico 2 - Tempos circuitos logísticos internos 2 (PT).....	37
Gráfico 3 - Tempos do circuito Pintura PQ25 AF L1, 2, 3 e 6 (original), Anexo 5	38
Gráfico 4 - Tempos do circuito Pintura PQ25 AF L1, 2, 3 e 6 (1ª alteração), Anexo 5	39
Gráfico 5 - Circuito Pintura PQ25 AF L1, 2, 3 e 6 (2ª alteração), Anexo 5	40
Gráfico 6 - Tempos do circuito Coquilhas PQ25 (original)	41
Gráfico 7 - Tempos do circuito Coquilhas PQ25 (1ª alteração)	42
Gráfico 8 - Resultados obtidos na aplicação da ferramenta ao circuito PQ25 9B.....	60

Lista de Abreviaturas

AF – Designação da empresa para Assentos Frontais

BFG – Bertrand Faure Group

CVRP – Capacitated Vehicle Routing Problem

EasyPro – Carruagem destinada ao transporte de material de e para pintura

EF – Designação da empresa para Encostos Frontais

FAA – Faurecia Assentos Automóveis

Focli – Ferramenta de optimização dos circuitos logísticos internos

HSE – Health Safety & Environment

I&D – Sigla que designa investigação e desenvolvimento

IO – Investigação Operacional

JIT – Just in Time

Kaizen – Palavra japonesa que significa melhoria contínua

Mizusumashi – Designação dada ao sistema comboio logístico e operador

PC&L Improvement – Production Control & Logistics Improvement

PK – Picking

Poka-yoke – Sistema que evita a passagem de um defeito para a próxima operação ou processo

PT – Petit-train

Rack – Estante para armazenamento dos componentes

SJM – São João da Madeira

SMED – Single Minute Exchange of Die

TMC – Toyota Motor Corporation

TPA – Truck Preparation Area

TPS – Toyota Production System

UAP – Unidade Autónoma de Produção

VRP – Vehicle Routing Problem

WIP – Work-in-progress

Capítulo I – Introdução

1.1- Motivação

A escolha pelo projecto desenvolvido na Faurecia Assentos Automóveis (FAA) é justificada pela importância da gestão e optimização da logística interna na indústria automóvel e consequente impacto na eficiência de todo o sistema organizacional. O seu desenvolvimento tem como alicerce o pensamento *Lean* e vai de encontro à necessidade da integração e implementação de medidas de melhoria contínua nos processos operacionais da empresa, visto que a eliminação de custos e desperdícios, traduz-se num aumento de lucro e produtividade, respectivamente. Este projecto pretende ter um impacto positivo na melhoria no fluxo logístico inerente ao abastecimento das linhas de montagem na empresa, assim como no conhecimento pessoal do autor, reportando não só à exigência deste tipo de indústria, como também à aplicação das ferramentas estudadas ao longo do seu percurso académico e outras ferramentas ou processos ainda desconhecidos até à data do estágio.

1.2- Objectivos e Metodologia

O principal objectivo deste projecto consiste no desenvolvimento de uma ferramenta que permita a optimização dos circuitos logísticos internos realizados na FAA, no transporte e abastecimento de componentes necessários às linhas de montagem e de material destinado à pintura, de forma a não só eliminar os desperdícios em capital humano, assim como no equipamento dedicado aos circuitos. De forma complementar, pretende-se efectuar uma análise generalizada dos processos logísticos na empresa assim como ao estado real dos circuitos de abastecimento internos. O objectivo fulcral passa por sua vez por estudar e implementar algumas melhorias naqueles circuitos e finalmente testar e avaliar a ferramenta desenvolvida quanto à sua adaptabilidade ao problema proposto e facilidade de utilização. Para a criação desta ferramenta tornou-se necessário efectuar a identificação e estudo dos circuitos de abastecimento, tendo em conta as rotas efectuadas e respectiva duração, tipo de veículos utilizados, restrições ergonómicas impostas pelo departamento de Health, Safety & Environment (HSE) e finalmente número e tipo de componentes a distribuir em cada linha de montagem. Foi

com o maior agrado que aceitei este desafio, com o objectivo de contribuir para a melhoria e optimização dos circuitos internos, assim como a oportunidade concedida pela FAA e todos os colaboradores da área da logística na consolidação dos meus conhecimentos que serão sem dúvida de valor inquestionável para o meu futuro sucesso profissional.

1.3- Contribuição esperada

No final deste estágio pretende-se de um ponto de vista mais abrangente, dominar todos os aspectos e variantes relacionados com o planeamento, execução e optimização dos circuitos logísticos internos. Mais especificamente e de acordo com os objectivos delineados no início deste projecto, pretende-se que a ferramenta criada esteja em conformidade com o problema considerado de forma a abranger o maior número de casos possíveis e que seja simples, intuitiva e *user friendly*, de forma a facilitar o seu uso por parte dos colaboradores e o potencial da solução obtida.

1.4- Estrutura do documento

O presente relatório é constituído por quatro capítulos. Após uma primeira introdução genérica, serão abordados, no segundo capítulo, os conceitos teóricos relacionados com o projecto elaborado, nomeadamente no que diz respeito à filosofia *Lean*, à função e importância da logística na relação com outras áreas funcionais numa organização e finalmente alguns conceitos relativos à optimização de rotas aplicáveis ao problema em estudo. No terceiro capítulo é apresentado o grupo Faurecia, assim como especificamente a filial na qual este projecto foi desenvolvido. Este capítulo reporta também ao caso de estudo e projecto desenvolvido em todas as fases decorridas, assim como nos resultados obtidos. O capítulo quatro descreve as principais conclusões obtidas no trabalho desenvolvido ao longo deste estágio. Finalmente é referenciada e listada a bibliografia utilizada no âmbito do projecto assim como os anexos que complementam o trabalho efectuado na empresa.

Capítulo II - Enquadramento Teórico

2.1- Estado da arte

O mercado actual é caracterizado, não só por uma globalização e competitividade crescente, mas também por uma instabilidade e grau de exigência elevados. Dia a dia ocorrem alterações imprevisíveis e variação na procura, principalmente no que diz respeito à indústria automóvel. As estruturas tornam-se cada vez mais pesadas e os clientes cada vez menos dispostos a suportarem os custos provenientes das mesmas. Com uma conjuntura económica mais desfavorável e face à crise vivida nos últimos anos, as indústrias portuguesas têm de contrariar esta tendência, tendo por base a aplicação de conceitos de melhoria contínua aos seus processos de fabrico, operações e processos logísticos inerentes à empresa. Estes conceitos têm como objectivo a obtenção de resultados superiores, no que diz respeito à qualidade final dos seus produtos e serviços, sem que este facto provoque por um lado, um aumento nos custos operacionais e por outro, uma desvalorização do valor criado. De um ponto de vista financeiro, a criação de lucro deve sobrepor a visão tradicional em que o preço é dado pela soma do custo e do lucro, para uma visão futura em que o preço menos o custo é igual ao lucro. A logística interna, como parte integrante de uma organização, é responsável pelo planeamento, coordenação e controlo dos processos e fluxos que integram a empresa. De um modo geral a eficiência do processo logístico traduz-se na maximização da relação entre resultados e recursos. Desta forma torna-se imperativo eliminar defeitos e actividades que não acrescentam valor, assim como reduzir a variabilidade, atingindo um grau de fiabilidade, flexibilidade e rapidez nos diferentes processos adoptados.

A melhor forma de eliminar custos e desperdícios passa pela implementação de uma filosofia *Lean* em toda a organização. O conceito *Lean* teve a sua origem na *Toyota*, constituindo uma evolução natural do *Toyota Production System* (TPS). Esta filosofia tem vindo a desenvolver-se de forma crescente, facto conseqüente não só da investigação e desenvolvimento incidente nesta área, mas também do contributo das várias áreas de actividade às quais esta filosofia tem sido aplicada nos últimos anos. Os grandes resultados e benefícios mensuráveis fazem do *Lean*, nos dias correntes, uma filosofia com proporções mundiais.

2.2- Evolução das ideologias de produção

“There isn’t any person anywhere who isn’t capable of doing more than he thinks he can” – Henry Ford

As ideologias de produção tendem a acompanhar os contextos económicos e sociais a nível mundial. Desde a produção artesanal até á produção *Lean* passando pela produção em massa, a envolvente organizacional interna e externa foi sofrendo alterações de acordo com o comportamento e tendência do mercado, necessidades e limitações de cada organização e factores adjacentes ao desempenho das próprias indústrias.

2.3- Toyota Production System – génese e evolução

“A lot of people think that rationalizations means turning out more stuff. In fact, the essence of rationalization is turning out better stuff” – Taiichi Ohno

O sistema de produção da *Toyota* foi idealizado por volta de 1950, pelas mãos de *Eiji Toyoda* e da visão e intelecto de *Taiichi Ohno*. *Ohno* percebeu que o sistema de produção em massa, adoptado por esta altura, não seria de possível implementação na indústria automóvel japonesa, tendo em conta as dificuldades económicas e sociais vividas no pós-guerra e a reduzida disponibilidade de recursos, nomeadamente pessoas, espaço e materiais.

O conceito de produção em massa tinha como objectivo a redução de custos unitários de produção através de elevadas taxas produtivas. O elevado custo da maquinaria ou produção de um novo produto e o facto de a interrupção da produção, derivada de qualquer mudança, constituir custos e perdas de tempo indesejáveis sustentava a opção por esta ideologia. Apesar do produto final ser disponibilizado a um custo mais baixo, a pouca variedade existente, a necessidade de lidar com níveis de *stock* e lotes de produção elevados, os métodos de trabalho desanimadores, os processos de fabrico e de gestão complexos e pouco flexíveis e a baixa preocupação com a qualidade do produto final, constituíam alguns dos graves problemas deste modelo. Considerando estes factores e tendo em conta o visível aumento na procura de

variedade agregada à pretensão de custos baixos, surge o TPS na *Toyota Motor Corporation*.

Ohno concluiu que o sistema de produção em massa implementado por *Henry Ford* era eficiente em períodos de alto crescimento económico, porém, mal preparado para períodos antagónicos. A seu ver, este sistema criava desperdício baseado nos excessos de produção, visto que tudo o que existisse para além da quantidade mínima de materiais, peças, equipamentos ou até operários, necessários para produzir um determinado produto, favorecia o aumento de custos (Costa e Miranda, 2006).

O TPS constituiu deste modo uma revolução ideológica na indústria automóvel, que teve por base uma filosofia de melhoria contínua, baseada no envolvimento e participação de todos os colaboradores, na introdução de práticas de prevenção de erros ou *poka-yoke*, no desenvolvimento do sistema de controlo *kanban*, no sistema *pull*, na organização do trabalho ou *5S's*, no controlo visual ou *Andon*, na manutenção produtiva total, redução de *setups*, produção celular e pessoas polivalentes, no balanceamento dos processos, na automação com características humanas e finalmente na gestão da qualidade. De acordo com Pinto (2009), os elementos fundamentais deste sistema são seis e encontram-se descritos na seguinte tabela:

Tabela 1 - Elementos fundamentais do sistema de produção da *Toyota*.

ELEMENTOS DO TPS

Processos <i>Just-in-Time</i>	Produzir em JIT requer um fluxo contínuo de materiais e de informação coordenados de acordo com o sistema <i>pull</i> , em que o cliente desencadeia os processos produtivos, desde a montagem até à matéria-prima.
<i>Jidoka</i>	Automação com características humanas através da criação de condições que levem à perfeição dos processos, isto é, sem erros nem atrasos.
<i>Heijunka</i>	Produção nivelada, ou seja estável e sem grande oscilação, através da criação de condições para a manutenção de um fluxo contínuo de fabrico, redução de <i>stocks</i> e maior consistência nos processos.

Processos uniformizados	A uniformização torna os processos mais estáveis e previsíveis e consequentemente mais fáceis de gerir.
Melhoria contínua	Compromisso no sentido da melhoria do desempenho da organização, procurando a total eliminação do desperdício de forma contínua e apoiada em pessoas e sistemas simples.
Estabilidade	Base central do TPS. Tal como afirmou <i>Deming</i> “os objectivos da gestão não podem ser alcançados através de sistemas instáveis”.

Só após o estabelecimento de um sistema de fabrico estável é que se torna possível a redução de custos. Ainda segundo Pinto (2009), a essência do TPS é descrita por quatro regras básicas:

- i) Todas as operações devem ser devidamente especificadas relativamente ao conteúdo do trabalho, sequência, tempos e resultados;
- ii) Cada relação cliente/fornecedor deve ser directa, inequívoca no envio de solicitações e recepção de respostas;
- iii) O fluxo de cada produto ou serviço deve ser simples e directo;
- iv) Qualquer melhoria deve ser feita sob a supervisão de um responsável na empresa.

2.4- Filosofia *Lean*

2.4.1- Conceito e princípios

“The Lean approach percolates into ever wider circles of operations, it ceases to be about best practice and starts to become a part of the fabric of doing business” - Corbett

O conceito de *Lean thinking* é considerado uma extensão e evolução do TPS, quando este foi adoptado por outros sectores para além da indústria, como a saúde e os serviços.

Segundo Womack e Jones (2003), a palavra *Lean* identifica um modelo de produção e filosofia que têm como princípio fazer cada vez mais com cada vez menos. O

objectivo desta filosofia passa por conseguir atingir a perfeição na organização de forma equilibrada, sincronizada, simplificada, racional e principalmente sem desperdícios, assentando num conjunto de ideais, tais como a redução contínua de custos, obtenção de zero defeitos nos produtos, zero produtos em *stock* e uma elevada variedade de produtos disponíveis.

Esta perfeição só é tangível através da optimização de toda a estrutura da organização, maximizando e criando valor ao longo de toda o ciclo de produção, tendo como base as necessidades do consumidor e a melhoria contínua.

A filosofia *Lean* rege-se por cinco princípios fundamentais. São eles o valor, a cadeia ou fluxo de valor, o fluxo contínuo, a produção *pull* e por fim a perfeição.

1) Valor - O valor é o ponto crítico inicial para um pensamento *Lean*. Uma correcta definição do valor pressupõe a definição de como satisfazer as expectativas do cliente a um preço e tempo específicos e como manter relações duradouras com os fornecedores.

2) Cadeia ou Fluxo de Valor - Cadeia ou fluxo de valor é não só a identificação do conjunto de actividades necessárias para projectar, desenvolver e oferecer um produto ou serviço, tendo em conta as tarefas a efectuar desde o conceito de desenho e engenharia até à ordem de produção, mas também a gestão de toda a informação envolvida no projecto desde a ordem de produção até à entrega, assim como a tarefa da transformação física desde a matéria-prima até ao produto acabado.

3) Fluxo contínuo - Conhecido o valor e identificada a cadeia de valor devemos gerar um fluxo contínuo nos processos.

4) Produção *Pull* - Nada deve ser produzida até que o cliente final sinalize a sua necessidade. Este facto constitui uma inversão do fluxo produtivo. A resposta às solicitações do cliente deve ser preparada, tendo em conta a variação nos mercados.

5) Perfeição - A perfeição advém não só da total transparência dos processos mas também da participação de todos os envolvidos, sejam estes colaboradores, clientes, distribuidores ou terceiros, na procura da melhoria contínua. Quanto maior perfeição for exigida, maior vai ser o número de entraves ao fluxo pretendido que vão ser revelados e que devem ser eliminados.

Os diversos benefícios provenientes da procura e aplicação de um sistema *Lean* são essencialmente o crescimento do negócio, o aumento da produtividade, do nível de serviço, da satisfação do cliente e da capacidade de resposta, a redução de custos, *stocks*, espaço ao nível da fábrica, tempo *lead* e barreiras impeditivas à realização do trabalho, assim como acidentes de trabalho. Com este sistema torna-se possível também aumentar o envolvimento de todos os colaboradores e a optimização do uso de recursos.

O conceito *Lean* surge, por isso, associado aos princípios do trabalho em equipa, melhoria contínua ou *kaizen* e eliminação de desperdícios. O princípio de eliminação de desperdícios tem um âmbito alargado, incluindo tudo o que sejam excessos de tempo e recursos, ou seja, tudo o que não acrescenta valor na cadeia produtiva.

2.4.2- Produção *Lean* e desperdício

Womack e Jones (2003) referem-se à filosofia *Lean* como o antídoto para o desperdício, sendo que o desperdício é definido como qualquer actividade ou recurso com utilização indevida, que não acrescenta valor ao produto final ou que contribui para o aumento de custos, de tempo e da não satisfação do cliente ou das restantes partes interessadas da organização. Os desperdícios considerados na filosofia *Lean* são sete e identificam-se na seguinte figura:

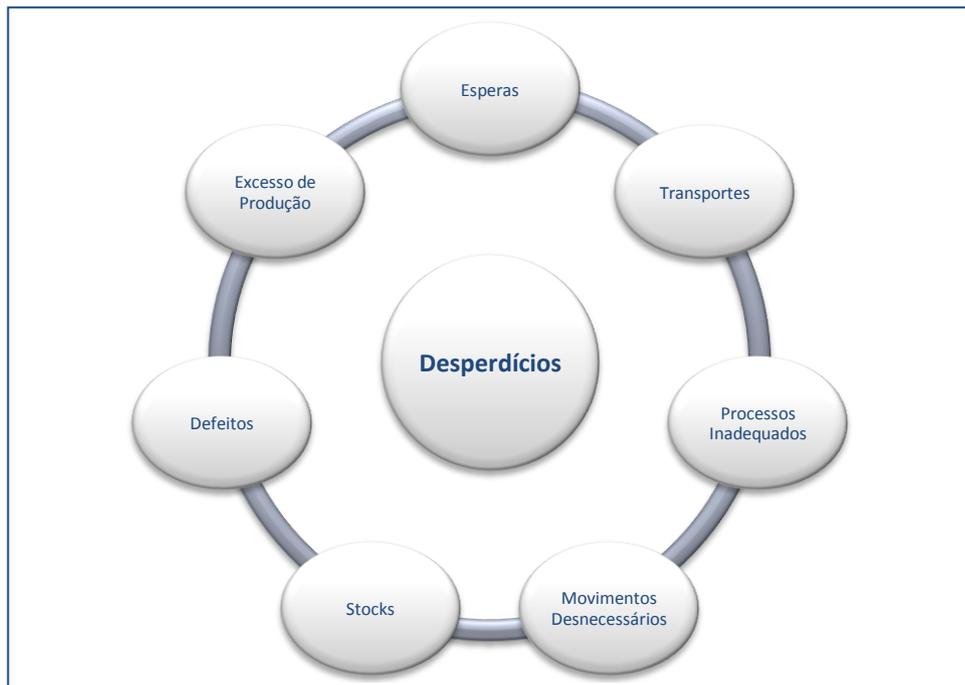


Figura 1 - Sete tipos de desperdícios da filosofia *Lean*

- A) Excesso de produção** - O excesso de produção implica o consumo desnecessário de matérias-primas, a ocupação desnecessária do armazém, a indevida ocupação de meios de transporte, *stock* e mão-de-obra excessiva. Para contrariar esta tendência deve recorrer-se a um planeamento nivelado e em conformidade com o pedido do cliente, não deixando contudo de ter em conta as flutuações no mercado.
- B) Esperas** - As esperas na produção podem derivar de avarias nos equipamentos, da mudança de ferramentas, de atrasos, da falta de material ou mão-de-obra, de *layout* não adequado, da interrupção da sequência de operações ou da existência de gargalos na produção. Para reduzir os problemas de esperas pode adoptar-se não só uma manutenção preventiva, reestruturação do *layout*, análise de capacidades e optimização de recursos, como também o sequenciamento e desenvolvimento do planeamento da produção.
- C) Transportes** – O transporte é a actividade responsável por todo o fluxo de materiais. O que se pretende, ao actuar sobre esta forma de desperdício não é a sua eliminação, visto que este facto leva a uma entropia de todo o sistema produtivo, mas sim optimizar todas as operações que se relacionam com esta actividade, minimizando os custos inerentes a esta operação.
- D) Processos inadequados** - A existência de processos inadequados pode ter origem em instruções de trabalho pouco claras, requisitos de clientes não definidos ou pouco específicos e de especificações de qualidade excessivas. De forma a minimizar o efeito deste tipo de desperdício, deve apostar-se na elaboração de instruções de trabalho claras, bem definidas e adequadas aos processos.
- E) Stocks** - Os *stocks* são um tipo de desperdício que surge do excesso de movimentação, da ocupação desnecessária de armazém, da ocorrência de problemas de qualidade e ainda da existência de produtos desactualizados. O planeamento das necessidades de material, a adopção do *Just-in-Time* (JIT) e a existência apenas do material estritamente necessário em *stock*, são algumas das formas de reduzir este tipo de desperdício.
- F) Movimentações desnecessárias** - É considerada uma movimentação desnecessária sempre que se faça algo que não acrescente valor e seja dispensável ou quando algo se encontra desarrumado e está a obstruir uma passagem, realçando falta de organização do trabalho, um mau *layout* nos postos produtivos ou a adopção de

práticas de trabalho incorrectas e desajustadas. Para combater esta forma de desperdício deve colocar-se *stock* de material próximo do posto de trabalho e planear a reposição do mesmo, de forma a evitar esperas ou paragens.

G) Defeitos - Os defeitos são desperdícios que surgem de problemas internos da qualidade ou de danos no transporte e armazenamento. Para se evitar a ocorrência deste desperdício, devemos colocar foco na melhoria da qualidade do produto ou serviço, elaborar instruções de trabalho adequadas e ter um bom controlo interno da qualidade.

2.5- Just-in-Time

“JIT is making the industry work for the company as the human body works for every individual” – Taiichi Ohno

O JIT é uma abordagem metódica e disciplinada que nasceu na consequência do desenvolvimento do TPS, na aplicação generalizada deste sistema à indústria mundial e que visa não só aprimorar e tornar eficaz a produtividade global, como também eliminar desperdícios. Este método tem por base a provisão apenas da quantidade necessária de componentes, na qualidade correcta e em momentos e locais certos, utilizando o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e mão-de-obra para este efeito. Assim o JIT assenta no princípio de que nenhuma actividade deve ser realizada num sistema até que seja realmente necessária.

De acordo com Pinto (2009), a filosofia JIT assenta em três ideias básicas. A primeira é a integração e optimização de todo o processo de fabrico, que começa na concepção e projecto de um novo produto ou serviço, passando por todo o processo até à entrega ao cliente e na qual se insere o conceito de valor dos produtos ou serviços. O JIT procura reduzir ou eliminar as funções e sistemas desnecessários aos processos e actividades, tais como inspecção, re-trabalho, *stocks*, entre outras. A segunda ideia é a melhoria contínua através do desenvolvimento de sistemas internos que encorajem a melhoria constante, não apenas dos processos e procedimentos, mas também das pessoas dentro da empresa. A terceira ideia básica da filosofia JIT é entender e responder às necessidades dos clientes. Isto significa a responsabilidade de atender o cliente nos requisitos de qualidade do produto, prazo de entrega, qualidade e custo. Esta

filosofia é alcançada através da aplicação de elementos que requerem um envolvimento total dos colaboradores e trabalho em equipa.

2.5.1- JIT e Logística

De um ponto de vista logístico, o JIT é um conceito *pull* cujo principal objectivo é assegurar a sincronização de todos os elementos da cadeia, a identificação atempada dos transportes e necessidades e a criação de uma disciplina bem definida no que diz respeito ao planeamento. Tendo em conta que o inventário excessivo deve ser evitado, a gestão do fluxo interno de materiais torna-se crucial.

Em suma os pré-requisitos de uma logística JIT passam por:

- Abordagem disciplinada ao planeamento e calendarização das necessidades internas;
- Elevado grau de comunicação e planeamento entre os parceiros da cadeia de abastecimento;
- Parcerias com empresas externas de consolidação interna de *inputs* e sequenciamento de entregas;
- Desenho estrutural de veículos e estruturas físicas que suportem e facilitem de forma rápida as cargas e descargas;

2.6- A Logística e os novos desafios

“Logistics is the very essence of trade” – Ballou (2004)

A logística é um conceito que se prende com o fluxo e armazenamento de bens. No mundo empresarial esta actividade ganha expressão no final do séc. XIX, associada ao abastecimento e constituição de *stock*. Durante esta altura e nos anos que se seguiram, as organizações perceberam o impacto vital que a gestão logística tem na obtenção de vantagem competitiva (Christopher, 1998).

A globalização criou desafios logísticos relativos a tempos de fluxo e a custos de armazenamento e transporte. Neste contexto a logística surge como o processo estratégico de gestão não só da procura, distribuição, armazenamento de materiais, componentes ou produtos finais, assim como do fluxo de informação relacionado através

da organização, desde o fornecedor até ao cliente final. Actua deste modo como o elo entre o mercado e as operações ou actividades da organização (Carvalho, 2010).

Deste modo e de uma forma genérica, é uma parte do processo da cadeia de abastecimento que enfatiza o interesse em gerir de forma integrada não só as interacções entre áreas funcionais de uma empresa mas também as interacções entre empresas, tendo como fio condutor o canal de fluxo do produto. A coordenação e colaboração sistemática e estratégica através das áreas funcionais e inter-organizacionais potenciam a redução de custos e o aumento do nível de serviço ao cliente, melhorando por este motivo o desempenho individual e colectivo de todos os intervenientes.

A logística integra três áreas de intervenção. A logística de entrada lida com as previsões, níveis de *stock* e compras ou aprovisionamento. A logística interna diz respeito ao armazenamento, manuseamento e fluxos da actividade industrial. Finalmente a logística de saída está relacionada com o processamento, embalagem e distribuição.

Nos últimos anos tem-se verificado uma mudança do ambiente logístico que se prende essencialmente com os novos desafios inerentes a esta área funcional. Destes desafios constam:

- A explosão do serviço ao cliente, visto que este é cada vez mais exigente não apenas na qualidade do produto como também no serviço;
- A compressão do tempo, tendo em conta que os ciclos de vida do produto são cada vez mais curtos e que os clientes ou distribuidores requerem entregas JIT;
- Globalização da indústria no que concerne às vantagens competitivas que as indústrias procuram atingir através da identificação de mercados mundiais para os seus produtos e através do desenvolvimento de uma estratégia logística que suporte a sua estratégia de marketing;
- Integração organizacional, tendo em conta a generalização da gestão das diferentes áreas.

2.7- Kanban

Kanban, palavra nipónica que significa carta ou sinal, é um sistema simples e eficaz criado por *Taiichi Ohno*. Este é geralmente designado não só como o “sistema nervoso” da produção *Lean*, visto que gere a produção da mesma forma que o cérebro gere o

corpo (PPD Team, 2002), mas também como um sistema de comunicação que mantém todo o sistema produtivo integrado e em harmonia. É na sua essência uma ordem de produção que se move com os materiais, indicando por um lado a sua origem e por outro o seu destino. O sistema *kanban* atinge o auge funcional quando a empresa se compromete com um sistema de produção *pull*, ao criar flexibilidade na actividade produtiva de forma que apenas é produzido o que é encomendado, quando encomendado e na quantidade solicitada. No âmbito da produção *pull* o funcionamento do *kanban* pode ser esquematizado da seguinte forma:

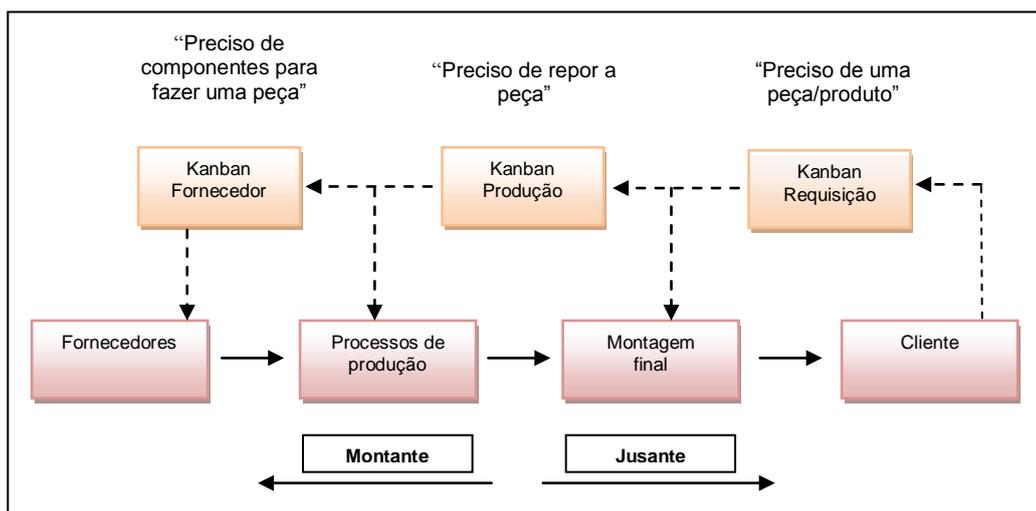


Figura 2 - Kanban na produção pull (Fonte: PPD Team, 2002)

São muitas as vantagens da utilização deste sistema no ambiente produtivo. Como sistema de informação permite transmitir rapidamente as necessidades de jusante para montante, sobrepondo ao fluxo de produção um fluxo de informação de sentido inverso. O *kanban* apresenta como principais benefícios, não só a detecção de recursos gargalo e problemas no fluxo de produção como também a redução do excesso de produção que constitui o desperdício mais crítico da produção *Lean*. O sistema *kanban* minimiza este desperdício através do nivelamento da produção, no que concerne aos modelos e volumes de produto a serem produzidos. Este sistema tem como outras vantagens:

- Redução de inventário e eliminação de inventário *Work-in-progress* desnecessário;
- Aumento da flexibilidade e capacidade de resposta a variações de procura no mercado;

- Coordenação da produção em lotes pequenos e de vasta variedade;
- Integração de todos os processos e conexão ao cliente;
- Melhoria no fluxo de produção;
- Colocação do controlo ao nível do processo;
- Calendarização e gestão melhorada dos processos;
- Minimização do risco de inventário obsoleto;
- Aumento da capacidade de gestão da cadeia de abastecimento;
- Conexão da informação com a peça ou produto através de informação visual;
- Visualização de instruções de produção simples;
- Redução do tempo de formação dos operadores logísticos.

A questão de quantos *kanbans* implementar é um problema básico na gestão deste sistema. O número de *kanbans* pode ser determinado usando a equação 1.

$$N \geq DL \frac{1+\alpha}{Q}$$

Equação 1

(Fonte: www.takttime.net)

onde,

- N – número de cartões;
- D – taxa média de procura;
- L – tempo lead;
- Q – capacidade da caixa;
- α – factor de segurança.

A variável que diz respeito à capacidade de cada caixa pode ser manipulada para melhorar resultados.

Num sistema de produção *Lean*, a determinação do número de *kanbans* utilizado é menos importante do que como agir para que o número de *kanbans* seja reduzido e desta forma melhorar o sistema de produção. Para que se consiga atingir um número mínimo de *kanbans* algumas melhorias importantes devem ocorrer, tais como produzir em lotes pequenos, minimizar os tempos de *setup*, cortar ao mínimo os tempos *lead* e eliminar ao máximo *stocks* de segurança, destinados a prevenir flutuações no mercado e instabilidade da produção.

À medida que o número de *kanbans* é reduzido alguns problemas, visualizados na figura 3, vão sendo expostos. O sistema *kanban* não os resolve, sendo para isso necessário a posterior implementação de outros métodos tais como 5S, *Single Minute Exchange of Die* (SMED), manutenção autónoma entre outros. O último objectivo conceptual é zero *kanbans*, que eliminam o inventário WIP.

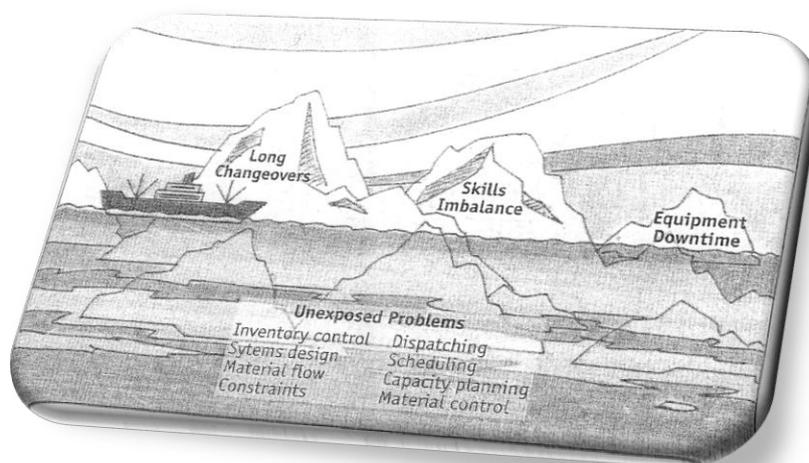


Figura 3 - Problemas expostos através da redução do número de *kanbans* (Fonte: PPD Team, 2002)

Através deste sistema, a encomenda do cliente torna-se o sinal para um puro fluxo contínuo. Para o correcto funcionamento do mesmo existem algumas regras que devem ser cumpridas:

- Processos a jusante retiram itens dos processos a montante;
- Processos a montante produzem apenas o que é retirado;
- Apenas peças sem defeitos são enviadas para o processo sucessor;
- Deve ser estabelecida uma produção nivelada;
- *Kanbans* devem acompanhar sempre cada parte ou componente;
- O número de *kanbans* é diminuído gradualmente ao longo do tempo.
- O sistema *kanban* deve ser auto-ajustável e capaz de adaptar-se a pequenas variações de procura até uma percentagem de 10%.

2.8- Tempo *TAKT* vs Tempo de Ciclo

Na gestão dos sistemas de produção a variável tempo assume uma importância determinante, tendo em conta a problemática da sincronização do fluxo de materiais. A gestão pelo tempo assume um papel primordial na medida em que a fábrica, como um todo, se adapta ao ritmo definido pela linha de produção. O tempo é deste modo entendido como uma variável sistémica associada ao fluxo de materiais, e não somente referente à análise e controlo de cada operação específica na fábrica (Alvarez e Antunes, 2001).

De um modo geral o tempo de ciclo é definido como o tempo de execução de uma ou mais operações num determinado processo, tendo em conta as características do equipamento e a configuração da linha ou célula. O tempo *takt* representa o ritmo ou compasso de produção ou abastecimento necessários para satisfazer a procura, tendo em conta as restrições de capacidade de uma linha ou célula. Um dos objectivos do tempo *takt*, na gestão do fluxo dos materiais, é clarificar as oportunidades ou prioridades para melhorias na fábrica. A gestão da produção com base neste tempo só é adequada a sistemas com elevado grau de repetição de operações, nos quais se possam configurar fluxos unitários de peças, mantendo alguma estabilidade na produção. Esta estabilidade acentua a necessidade da existência de sistemas de planeamento capazes de antecipar e dissipar as flutuações da procura a curto prazo através do correcto nivelamento entre a procura e a produção. A formação de colaboradores multi-funcionais é de igual forma necessária no desenvolvimento da robustez do sistema e da capacidade de adaptação e resposta às variações em condições extremas.

O tempo *takt* é, por todos os motivos prévios, um elemento importante a perceber no planeamento da produção e em todas as operações afectas ao mesmo; contudo a atribuição do mesmo como fio condutor do fluxo de produção limita a flexibilidade de resposta a alterações da procura, tanto em termos de volume como de *mix* de produção.

A equação 2 permite o cálculo do tempo *takt*.

$$\text{Tempo Takt} = \frac{\text{Tempo de Produção} - \text{Paragens Programadas}}{\text{Número Médio Pedidos Clientes}}$$

Equação 2

2.9- Sistema *mizusumashi*

O abastecimento a uma linha fabril pode ser realizado de duas formas, mais concretamente através de um sistema manual ou de um sistema automatizado. O sistema automatizado é constituído por veículos ou equipamentos, guiados automaticamente, que transportam as peças desde o armazém até aos locais estabelecidos. Neste tipo de sistemas a flexibilidade é reduzida e o investimento é muitas vezes incomportável, visto que apesar de não necessitar de mão-de-obra é um sistema de configuração difícil. No sistema manual, o recurso ao *mizusumashi* torna-se vantajoso na medida em que é caracterizado por uma flexibilidade muito superior no que diz respeito não só a alterações de abastecimento, tais como número de componentes, locais a abastecer e rotas de abastecimento, assim como num investimento mais reduzido em relação a sistemas automatizados.

O *mizusumashi* é um sistema constituído por um veículo e operador, responsáveis pelo abastecimento das linhas de produção ou montagem e que garantem uma distribuição exclusiva dos itens necessários, nas quantidades necessárias e no tempo desejado, ou seja JIT. Por este motivo as tarefas realizadas pelo *mizusumashi* afectam consideravelmente a produtividade geral das linhas fabris (Nomura e Takakuwa, 2006).

No sector automóvel o sistema manual é mais atractivo, fruto das constantes mudanças produtivas que causam ajustes nos postos de montagem ou alterações no *layout* das linhas. O *mizusumashi* pode operar segundo dois métodos diferentes. No método periódico de revisão o operador verifica a quantidade de peças na linha de montagem em determinados tempos pré-estabelecidos e abastece a quantidade correspondente à lotação dos contentores recolhidos no último ciclo. Se o método de abastecimento não recorrer à revisão periódica, o operador abastece e retira simultaneamente os contentores da linha. O *mizusumashi* opera em ciclos de abastecimento que podem variar consoante as necessidades das linhas ou segundo um circuito de abastecimento contínuo bem definido. Os corredores percorridos pelo veículo devem estar bem assinalados no chão e devem ser exclusivos à sua movimentação para que a probabilidade de ocorrência de acidentes com outros veículos ou pessoas seja praticamente nula. Se os ciclos de abastecimento não forem contínuos, deve haver uma zona de espera, local onde o *mizusumashi* aguarda pelo próximo ciclo de abastecimento.

Hoje em dia, as operações que estes sistemas desenvolvem são verdadeiramente importantes, à medida que as indústrias se apercebem e reconhecem que grandes quantidades de inventário, constituem uma forma considerável de desperdício.

2.10- Investigação operacional

A Investigação Operacional é uma ciência que procura representar problemas reais utilizando modelos matemáticos de forma a apoiar a tomada de decisão. Esta área consiste de forma mais concreta no desenvolvimento de métodos científicos de sistemas complexos, com a finalidade de prever e comparar estratégias e decisões alternativas. Para alguns autores (Hillier e Lieberman, 2005) esta ciência é uma abordagem científica para tomada de decisões, que procura determinar a melhor forma de projectar e operar um determinado sistema, tendo em conta condições que requerem a atribuição de recursos escassos. As principais características da IO são a orientação sistémica, a extensibilidade e a aplicação de métodos científicos na gestão das organizações.

2.10.1- Problemas de optimização

A optimização é, nos dias correntes, uma das ferramentas mais importantes na implementação e planeamento eficiente de operações, cujo objectivo fulcral é o aumento da vantagem competitiva nos mercados e suporte na tomada de decisões. Através da observação de processos ou sistemas, podemos procurar leis que os regem. Estas leis, se passíveis de serem descritas por relações matemáticas, dão origem aos modelos matemáticos. Neste contexto o modelo procura representar as características principais de um objecto real. O diagrama da seguinte figura ilustra um processo de abordagem simplificado para a resolução de um problema com recurso à modelação matemática.

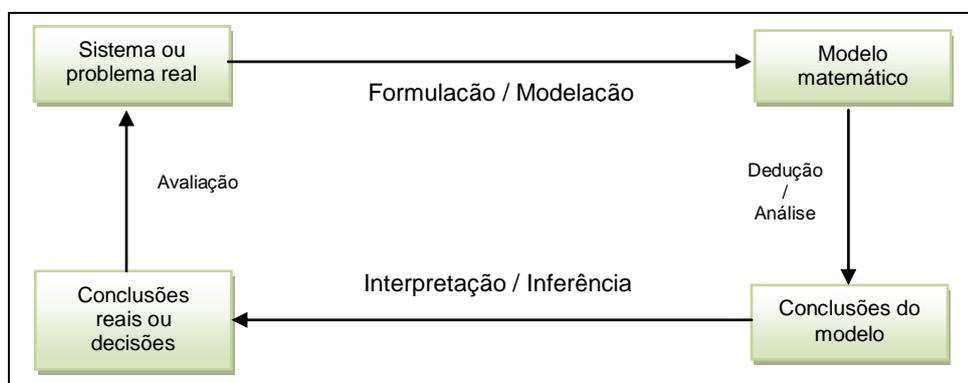


Figura 4 - Diagrama do processo de modelação matemática (Fonte: Arenales, Armentano, Morabito, Yanasse, 2007)

A etapa de formulação define as variáveis e relações matemáticas que descrevem o comportamento do sistema ou problema real. Nesta fase é essencial definir de forma

correcta os objectivos que se pretendem atingir e as restrições existentes no sistema, definidas pelas relações de interdependência entre as componentes integrantes. Após esta fase temos um modelo que pretende reflectir a essência do problema. Os modelos são constituídos por variáveis de decisão, uma função matemática ou função objectivo, que representa a medida de vantagem ou desvantagem da tomada de decisão, as restrições associadas ao modelo e finalmente um conjunto de constantes associadas à função objectivo e às restrições, designadas por parâmetros do modelo.

A fase de dedução ou análise aplica técnicas matemáticas e tecnologias para resolver o modelo matemático e visualizar as soluções obtidas. Nesta fase é também incorporada a análise de sensibilidade e pós-optimização nos quais são efectuadas pequenas alterações em certos parâmetros do modelo a fim de avaliar o comportamento do mesmo. Finalmente, a fase de interpretação argumenta se as conclusões retiradas do modelo têm significado suficiente para inferir conclusões sobre o problema real. O ciclo é repetido caso a etapa de avaliação revele que as conclusões retiradas do modelo não se adequem a todos os casos do problema real ou seja se a solução é não satisfatória. Se avaliação for satisfatória, procede-se então à tomada de decisão, que prepara as condições para a implementação da solução obtida na situação real (Taha, 2010).

2.10.2- Métodos exactos vs métodos heurísticos

Os principais métodos usados na resolução de problemas de optimização dividem-se em métodos exactos e heurísticos. Os métodos exactos, fornecem a solução óptima para o problema considerado. Por sua vez, os métodos heurísticos permitem encontrar soluções aproximadas, com resultados satisfatórios e em tempo hábil (Goldbarg e Luna, 2005).

A classificação dos algoritmos em termos de complexidade é efectuada recorrendo ao conceito de limitação polinomial. Algoritmos polinomiais, pertencentes à classe-P são aqueles em que o número de operações elementares necessárias à obtenção da solução óptima de um dado problema é de ordem polinomial. Os problemas para os quais não se conhecem algoritmos polinomiais capazes de obter a solução exacta são classificados como NP-Completo ou NP-*Hard* e são considerados complexos e de difícil tratamento. O problema do caixeiro-viajante é um exemplo típico de um problema NP-Completo.

2.10.3- *Vehicle Routing Problems*

Os problemas de planeamento de rotas de veículos, ou *Vehicle Routing Problems* (VRP), são dos problemas mais estudados no campo da optimização combinatória. O VRP surge como um problema central na área dos transportes, distribuição e logística (Dantzig e Ramser, 1959), sendo elevado o número de casos reais que podem ser modelados como um destes problemas. Nestes casos incluem-se exemplos como a distribuição de mercadorias ou serviços a clientes, entrega expresso de encomendas, transporte de alunos, de idosos e doentes crónicos, recolha de lixo, entre outros. Uma boa gestão dos transportes reduz eficientemente os custos associados à distribuição, entre os quais, custos associados ao número de veículos utilizados, tendo em conta que as rotas são optimizadas e custos associados a penalidades devido a entregas fora do tempo.

Os VRP têm como objectivo encontrar uma solução óptima na definição de rotas de entrega de mercadorias a partir de um ou vários centros de distribuição, até um determinado número de clientes espalhados geograficamente numa determinada região. A solução obtida através da resolução de um VRP indica como devem ser afectados os diferentes recursos disponíveis de modo a realizar uma determinada operação de transporte ao mais baixo custo. As rotas definidas têm de respeitar algumas condições como o início e fim no armazém, a impossibilidade da quantidade de mercadoria alocada não exceder a capacidade do veículo atribuído a essa rota e o facto de cada cliente ser visitado uma única vez.

Devido à complexidade inerente a um problema real, é necessário recorrer a modelação matemática de modo a resolver um VRP no qual se inclui uma função objectivo, que passa normalmente por minimizar a distância percorrida ou o número de veículos utilizados e as restrições consideradas nesse problema.

Devido às necessidades específicas de algumas organizações, o problema clássico de rotas de veículos tem vindo a ser adaptado num conjunto de variantes. Ao considerarmos problemas derivados do VRP, as principais restrições mantêm-se, enquanto outras são adicionadas, eliminadas ou relaxadas.

Algumas destas variantes são de seguida definidas (Golden et al, 2007).

i) *Traveling Salesman Problem (TSP)*

O designado “problema do caixeiro-viajante” (*Traveling Salesman Problem* ou TSP) tem por objectivo definir a rota que minimiza a distância a percorrer pelo caixeiro-viajante na sua tarefa de visitar (sem repetição) um determinado número de cidades necessárias e regressar finalmente à cidade de onde partiu.

ii) *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*

O CVRP é a variante mais elementar do VRP e difere deste na medida em que a soma da procura total de cada rota não pode exceder a capacidade do veículo afectado a esse percurso. Nesta variante, todos os veículos têm a mesma capacidade.

O objectivo deste problema consiste em minimizar os custos totais, quer em termos do número de veículos da frota, quer no tempo despendido ou distância percorrida em cada rota.

iii) *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (HFVRP)*

O HFVRP é uma generalização directa do clássico *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), descrito anteriormente. No entanto, em vez de se assumir que todos os veículos são idênticos, há uma disponibilidade de vários tipos de veículos.

iv) *Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)*

O MDVRP é caracterizado pela existência de vários armazéns que servem um determinado conjunto de clientes. Numa primeira fase os clientes são alocados a um dos vários armazéns, normalmente o mais próximo e, numa segunda fase as rotas são delineadas, de modo a ligar os clientes alocados ao mesmo armazém (Tansini e Viera, 2006). Cada veículo inicia a sua rota num determinado armazém e regressa ao mesmo no fim da operação de distribuição.

v) *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*

O VRPTW é outra variante do *Vehicle Routing Problem*, mas com restrições adicionais no que respeita aos limites temporais nos períodos de visita aos clientes. A cada cliente é associada uma janela temporal $[a_i, b_i]$, definindo-se um intervalo dentro do

qual cada cliente tem de ser fornecido (Bräysy e Gendreau, 2005). Ao centro de distribuição também poderá estar associado uma janela temporal para a carga, denominado horizonte de planeamento.

A solução torna-se inviável se o veículo que abastece um determinado cliente chegar após o limite temporal superior, podendo no entanto chegar antes do limite inferior da janela temporal, incorrendo neste caso num tempo de espera adicional para poder efectuar a operação de descarga.

O objectivo deste problema é o de minimizar o número de veículos que constituem a frota, o tempo de viagem e o tempo de espera que é necessário para fornecer os clientes dentro da janela temporal definida (Cordeau et al, 2001).

vi) Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)

Esta variante do VRP é utilizada quando um ou mais elementos do problema de planeamento de rotas tem natureza aleatória. Os novos parâmetros do problema são:

- i) Clientes aleatórios: cada cliente está presente com probabilidade p_i ou ausente com probabilidade $(1-p_i)$;
- ii) Procura aleatória: A procura de cada cliente é uma variável estocástica
- iii) Tempo aleatório: Os tempos de viagem e de serviço são variáveis estocásticas

Quando algumas variáveis têm natureza estocástica, deixa de ser possível satisfazer todas as restrições para todos os valores que as variáveis tomam. Assim, cabe ao decisor estipular se as restrições têm de ser respeitadas de acordo com uma dada probabilidade ou alternativamente incorporar medidas correctivas para quando uma restrição é violada (Laporte e Louveaux, 1997).

vii) Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)

O *Dynamic Vehicle Routing Problem* é muitas vezes descrito como uma extensão do tradicional VRP. No entanto, os parâmetros e a dimensão do problema sofrem alterações em tempo real, podendo os veículos que já se encontram a executar a distribuição da rota inicialmente calculada receber novos pedidos ou sofrer alterações aos pedidos que vão executar. Poderá também haver uma variação do número de veículos, da capacidade destes, da localização de novos clientes, entre outros.

viii) Vehicle Routing Problem with Split Deliveries (VRPSD)

O VRPSD é uma variante do *Vehicle Routing Problem* introduzida por Dror e Trudeau (1989), na qual é relaxada a restrição que obriga os clientes a serem visitados uma única vez e apenas por um veículo, se tal conduzir a uma redução global dos custos. Esta variante é muito importante para casos em que a dimensão dos pedidos dos clientes seja próxima da capacidade dos veículos disponíveis, sendo desta forma adicionada mais uma variável de decisão que irá definir qual a quantidade de produto de determinado cliente a afectar a cada veículo.

2.10.4- Optimização e novas tecnologias

A disciplina de optimização, através da utilização de matemática avançada e técnicas científicas de computação, pode ser utilizada de forma a assistir a organização na solução dos seus problemas complexos de negócio em áreas como a produção, distribuição, finanças e planeamento. Tipicamente, estes problemas de optimização contêm centenas, milhares ou até milhões de variáveis interconectadas que requerem um conjunto de *softwares* avançados para a sua resolução.

O campo da optimização enfatiza as aplicações de *software* avançado que integram algoritmos matemáticos sofisticados e técnicas de modelação com *softwares* programáveis inteligentes e com uma capacidade de processamento de dados ampla.

Os projectos de optimização começam com o desenvolvimento de um modelo matemático que define o problema a tratar, no que diz respeito às variáveis de decisão, função objectivo e restrições contempladas. Depois de formulado o problema, este é resolvido, com recurso a um *solver* de optimização que no seu núcleo contém algoritmos sofisticados adequados ao recurso a um intenso conjunto de dados, analisando possíveis abordagens com o objectivo de encontrar uma solução óptima.

2.11- Conclusão

Neste capítulo foram abordados os conceitos relacionados com o *Lean* e com a organização na qual este projecto foi inserido. Foram estabelecidas as relações entre os princípios desta filosofia e o planeamento e gestão logística. Os principais sistemas

envolvidos no desenvolvimento desta ferramenta são demonstrados, assim como efectuada uma introdução genérica à modelação matemática relacionada com o problema de optimização em questão.

Capítulo III – Caso de estudo

3.1- Génese e evolução do Grupo Faurecia

A origem do grupo Faurecia remonta ao ano de 1810, com a criação de uma indústria de fundição de aço destinada ao fabrico de lâminas para serrotes. Em 1914, o grupo então conhecido como *Bertraund Faure Group* (BFG), criou a primeira oficina dedicada à produção de assentos destinados às carruagens do eléctrico de Paris. Depois da 2ª Grande Guerra e paralelamente ao crescimento exponencial da procura por este tipo de itens, o grupo expande a sua área de negócio. Em 1997 a ECIA fornecedora automóvel de sistemas de escape, interiores e blocos frontais adquiriu 99% da BFG, facto que deu origem ao grupo Faurecia. Na figura 5, pode ser visualizada uma linha do tempo resumida, que esquematiza algumas das datas mais relevantes do historial do grupo.

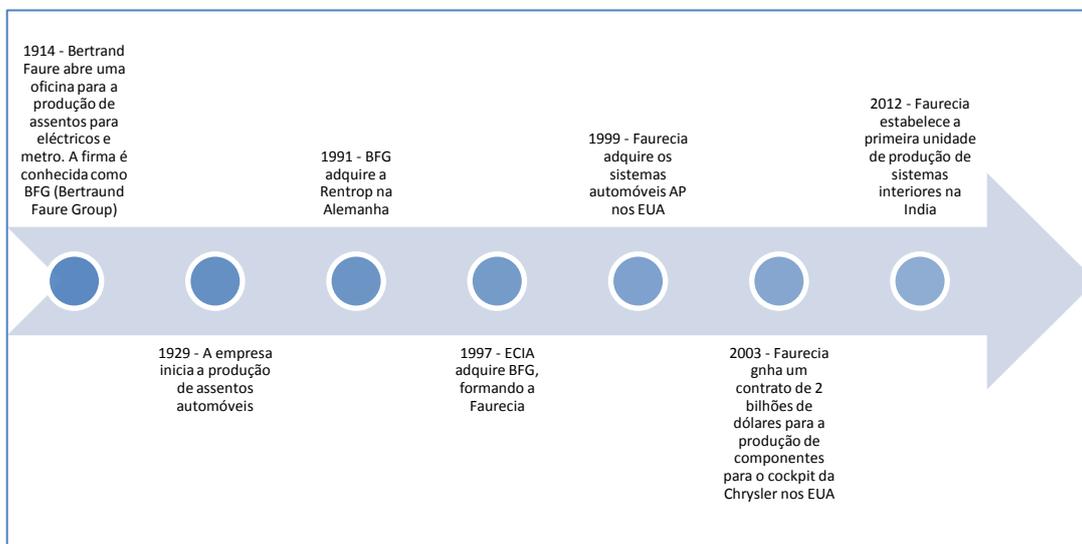


Figura 5 – Linha do tempo do historial da Faurecia (Fonte: Faurecia intranet)

O grupo Faurecia especializou-se na engenharia e produção de soluções para o ramo automóvel, tal como sistemas e tecnologia de redução de emissões, sistemas interiores, exteriores e assentos, trabalhando exaustivamente para reforçar a liderança no mercado de fornecedores do sector automóvel. Este trabalho e dedicação tornou o grupo no sexto maior fornecedor mundial e terceiro maior fornecedor europeu do ramo automóvel. O grupo Faurecia, tem a sua sede em França, mas está presente em 34 países, figura 6. Presentemente conta com 320 unidades fabris, 30 centros de I&D nos

quais foram investidos 946 milhões de euros em 2012, 460 patentes e cerca de 94000 colaboradores que adoptam a cultura de negócio do grupo, baseados nos valores de compromisso, transparência, melhoria contínua, entreaajuda e empreendedorismo.



Figura 6 - Faurecia no mundo (Fonte: www.faurecia.com)

3.2- Faurecia em Portugal

Em Portugal, a Faurecia está distribuída por 5 locais distintos, figura 7. Em Bragança (sistemas de controlo de emissões), em Palmela (sistemas interiores e exteriores), Vouzela, Nelas e São João da Madeira (assentos automóveis).

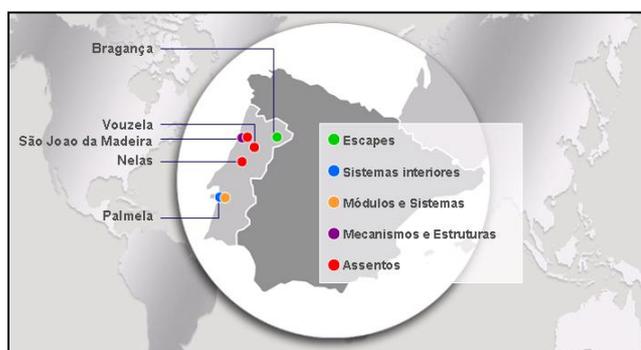


Figura 7 - Implantações fabris em Portugal (Fonte: www.faurecia.com)

Este estágio foi realizado na Faurecia Assentos Automóveis (FAA), sita em São João da Madeira, cuja implantação fabril está dividida em duas instalações principais designadas por SJM1 e SJM2. Em SJM1 estão concentradas as unidades autónomas de

produção (UAP), unidade de pintura e gabinetes administrativos, mais concretamente toda a actividade funcional e operacional da fábrica. Em SJM2 encontra-se essencialmente o armazém, no qual se encontra o material proveniente dos fornecedores, cantina e gabinete financeiro. Esta secção da fábrica alberga também actividades de teste e produção para alguns dos novos projectos em implementação.

Os seus principais clientes são o grupo *Volkswagen* nos quais se integram os projectos PQ25 e PQ35, o grupo *PSA Citroën Peugeot*, nos quais se integram os projectos A7 e B58 e a *Renault* no qual se integra o projecto BDK95 e M3M4.

3.3- Actividade funcional da empresa

A FAA concentra grande parte da sua actividade na montagem do “esqueleto mecânico”, ou de forma mais objectiva, nas estruturas metálicas que dão origem aos assentos e encostos automóveis. Apesar da montagem destas estruturas constituir uma grande percentagem da actividade funcional da empresa, a fábrica produz também corredeiras, componentes que permitem o deslocamento horizontal dos assentos e que são utilizadas em alguns dos projectos em actividade. Exemplos de produto acabado podem ser visualizados na seguinte figura.



Figura 8 - Exemplos de produto acabado na FAA SJM (Fonte: Faurecia intranet)

A área de SJM1 está dividida em quatro unidades autónomas de produção (UAP's), na unidade de pintura, que como o próprio o nome indica, é responsável pela pintura de todo o tipo de assentos montados nas linhas, no cais de recepção, para o qual são transportadas os componentes provenientes de SJM2, na zona de manutenção e bar, em dois gabinetes administrativos, topo sul e topo norte e na zona de *picking* (PK). De forma a obter uma melhor compreensão do *layout* fabril em SJM1, veja-se a figura 9

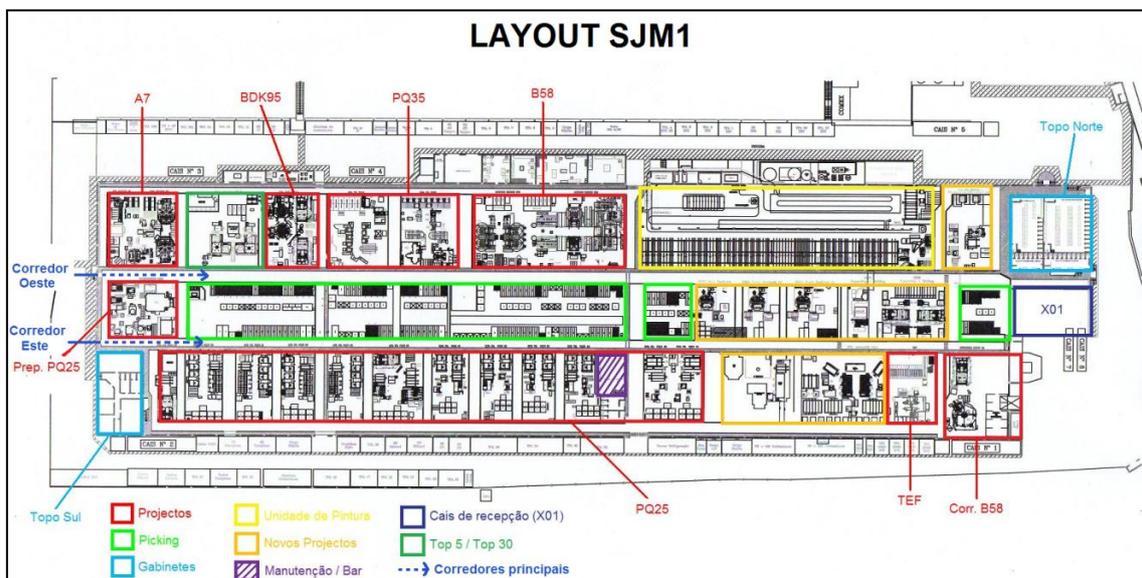


Figura 9 - Layout da FAA SJM1 (Fonte: Faurecia intranet)

Em cada UAP estão implementados um ou mais projectos em actividade, que por sua vez são constituídos por uma ou mais linhas de montagem ou soldadura afectas a cada um desses projectos e cujo layout celular é em “U”. Cada corredor interno, afecto à circulação dos comboios logísticos de abastecimento, assim como aos empilhadores para recolha de produto acabado, têm um ou dois sentidos, consoante a largura do corredor, mais concretamente baseados nas regras ergonómicas impostas pelo departamento HSE, não só nestas instalações mas a nível global dentro do grupo. Os sentidos de movimentação, assim como os *STOP* que indicam a cedência de prioridade aos colaboradores, encontram-se assinalados no piso a fim de aumentar a segurança interna na movimentação de todo o pessoal e de evitar ao máximo a entropia dentro do sistema.

Visto que ao longo deste estágio novos projectos foram sendo implementados, os projectos em actividade até ao final do mês de Novembro de 2012 são de seguida descritos. Na UAP 1 encontravam-se os projectos A7 cujo cliente é a Lear Madrid, o projecto BDK95, cujo cliente é a EDA Nelas, o projecto PQ35 cujos clientes são a JCI Barcelona e Vanpro Palmela e o B58 cujo cliente é a ADG Vigo. Na UAP 2 encontra-se a zona de pintura. Na UAP 3, assim como em parte da UAP 4, encontra-se o principal projecto desta empresa, designado por PQ25, cujos clientes são a Faurecia Sittard, Tecnocomfort Pamplona, JCI Barcelona, Magna e GEEL. Na restante parte da UAP 4 encontram-se os projectos TEF e Corrediças, no qual são produzidas as corrediças para os assentos montados nesta fábrica e o projecto M3M4 cujo início de actividade se deu por volta de Outubro de 2011 e cujos clientes são ADG Vigo e PSA. Durante este estágio

novos projectos foram sendo testados e implementados, nomeadamente o CMF1, B78, T9, E-Qube, 1540. Os quatro últimos projectos pertencem à plataforma designada por GMS1

3.4- Apresentação do projecto de estágio

O estágio curricular que efectuei, teve início a 1 de Outubro de 2012 e término a 31 de Maio de 2013. A área no qual o projecto se inseriu foi a logística. Este departamento encontra-se dividido em três categorias funcionais. O planeamento, que tal como o nome indica é responsável por efectuar o planeamento da produção nos projectos em actividade na fábrica, assim como efectuar o contacto com o cliente, o aprovisionamento, responsável por efectuar a gestão de toda a matéria-prima necessária à produção, assim como efectuar o contacto com os fornecedores e o *Production Control & Logistics Improvement* ou PC&L, área na qual estive inserido e que é responsável pela melhoria contínua dos processos que dizem respeito a toda a actividade logística na sua relação com a produção. O projecto proposto consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta de optimização dos circuitos logísticos internos, tendo como objectivo a redução de desperdício e consequentemente de custos a nível do capital humano e a nível do equipamento utilizado na actividade respeitante ao abastecimento de componentes nas linhas de montagem.

3.4.1- Etapa de *Production Training*

O *production training* é uma etapa inicial e obrigatória a qualquer recente colaborador que é integrado na fábrica e consiste na colocação do mesmo na actividade directa da organização, com vista a uma integração mais fácil e enriquecedora no processo de produção ou logística, relativamente ao funcionamento do sistema *kanban*, circuitos de abastecimento, entre outras actividades, ou processos decorrentes nos projectos activos.

Na semana de 1 a 5 de Outubro foi obtida orientação básica sobre algumas funções no que concerne à verificação dos cais, *Truck Preparation Area* ou TPA, *stocks* de segurança e de rotação, indicadores de desempenho, entre outros. Durante esta semana efectuou-se também o circuito de abastecimento de componentes relativo ao projecto PQ35, de forma a conciliar uma integração e conhecimento mais específico do método de trabalho logístico.

3.4.2- Circuitos logísticos internos e logística inerente

Na Faurecia, o transporte logístico interno, respeitante aos fluxos ou meios de movimentação, divide-se em 3 categorias diferentes, de acordo com o objectivo, funcionalidade e tarefas atribuídas a cada uma destas.

Em primeiro lugar temos os empilhadores, responsáveis pelas cargas e descargas dos camiões para o cliente e do fornecedor, respectivamente, assim como a recolha do produto acabado no *shop stock* e descarga nas áreas de preparação para transporte (TPA) respectivas e nas quais podemos encontrar os *stocks* de rotação, *pool stock* e *stock* de segurança. Esta categoria de transporte interno é também responsável por descarregar as paletes de materiais provenientes de SJM2 no cais de recepção, para que sejam posteriormente enviadas para o *picking*, assim como carregar as paletes com as caixas vazias a serem retornadas para SJM2, provenientes do *picking*.

Em segundo lugar temos os carrinhos manuais de transporte de componentes que têm atribuído um operador, responsável pelo transporte de componentes, recolhidos no *picking* e destinados a cada linha de montagem ou produção. Os operadores carregam de igual forma as caixas vazias das linhas de montagem para o *picking*.

Por último temos os comboios logísticos, designados de forma comum por *petit-trains*, que são alvo do objectivo inerente a este projecto e que partilham a função de transporte de componentes com os carrinhos manuais, ou seja, no transporte de componentes do *picking* para as linhas de montagem ou produção, mas também no transporte de assentos das linhas de montagem para a pintura e vice-versa. Há também ainda uma pequena percentagem desta categoria que procede ao transporte do material do cais de recepção da matéria-prima até ao *picking*, subconjunto de comboios logísticos designados por TGV. Apresenta-se de seguida a tabela que resume a informação descrita.

Tabela 2 - Categorias de transporte logístico interno na FAA

Categoria de transporte	Descrição visual	Nº veículos	Funções
Empilhadores		9	<p>Em SJM1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recolha do produto acabado e colocação do mesmo nas TPA; • Organização das TPA; • Cargas e descargas da matéria-prima do fornecedor e de produto acabado para o cliente. <p>Em SJM2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descarga das componentes provenientes dos fornecedores e carga de paletes com caixas vazias para fornecedores; • Carga das paletes com componentes necessários para SJM1; • Descarga de paletes com caixas vazias provenientes de SJM1.
Carrinhos manuais		4	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de componentes do <i>picking</i> para as respectivas linhas de montagem; • Recolha de caixas vazias nas linhas de montagem, transporte e entrega das mesmas no <i>picking</i>.
Petit Train		13	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de componentes do <i>picking</i> para as respectivas linhas de montagem; • Recolha de caixas vazias nas linhas de montagem, transporte e entrega das mesmas no <i>picking</i>; • Transporte de assentos das linhas de montagem para a pintura e da pintura para as linhas de montagem;

			<ul style="list-style-type: none"> (NOTA: Em análise a recolha de produto acabado e colocação na área de TPA's).
TGV		2	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de matéria-prima do cais de recepção para o <i>picking</i> e de caixas vazias do <i>picking</i> para o cais de recepção.

Na generalidade para cada projecto existe pelo menos um comboio logístico ou PT associado, que efectua o transporte dos componentes ou componentes e pintura de e para as linhas de montagem. Em alguns casos, existe um sistema carrinho manual e operador que complementa o transporte de alguns dos componentes necessários nas linhas. Existem também comboios apenas dedicados ao transporte de assentos para a pintura e de volta às linhas de montagem. Durante este estágio encontravam-se em actividade 13 comboios logísticos cuja função correspondia ao transporte exclusivo de componentes, ao transporte de componentes e assentos para pintura ou transporte exclusivo de assentos para pintura. Todos os circuitos efectuados pelos comboios logísticos descritos previamente regem-se pelo tempo *takt*. Este é definido consoante a necessidade do componente que é gasto com maior frequência nas linhas de montagem, ou seja se um assento ou encosto necessitar de sessenta componentes por cada hora de produção e por sua vez cada caixa logística contiver seis componentes, então significa que o PT terá de efectuar pelo menos dez ciclos de seis em seis minutos para que a linha de montagem não comporte escassez de componentes e consequentemente sofra paragens inesperadas. De uma forma geral os tempos *takt* variam entre dez, vinte, vinte e cinco e trinta minutos, salvo algumas excepções.

De forma a detectar, interpretar ou controlar possíveis problemas nos circuitos logísticos, promover a eficiência dos mesmos, facilitar a integração de novos colaboradores e fomentar a polivalência dos mesmos, os circuitos respeitantes aos PT têm definido um quadro de seguimento geral. Este quadro de seguimento contém informações relativas ao horário de arranque de cada ciclo, assim como as pausas para pequeno-almoço, almoço, lanche e jantar. O operador tem assim a indicação de quando deve arrancar em cada ciclo, assim como a oportunidade de indicar que o tempo *takt* não foi cumprido num determinado ciclo e desta forma tornar possível a verificação de um tempo superior ou inferior ao tempo *takt* designado no seu trabalho *standard*. No anexo 6 encontra-se exemplificado um destes quadros de seguimento geral.

3.4.3- Trabalho Standard

Toda a actividade dos comboios logísticos, desde o arranque até à paragem em cada ciclo, rege-se pelo trabalho *standard*, que é definido, ou actualizado pelo *PC&L Improvement* e acoplado ao respectivo comboio logístico. O trabalho *standard* é um documento que contém a descrição detalhada e cronometrada da melhor sequência possível da sucessão de tarefas básicas a desempenhar pelo colaborador em cada posto de trabalho e reúne um conjunto de informações que se descrevem de seguida:

- i. *Capa do documento* – contém a identificação do comboio logístico e respectivo projecto, assim como alterações ou revisões efectuadas ao documento, data das alterações e assinaturas dos responsáveis.
- ii. *Índice* – corresponde ao índice do documento.
- iii. *Dimensionamento das carruagens* – contém a informação relativa ao número e tipo de carruagens que o comboio logístico transporta, assim como as referências relativas às caixas de componentes transportadas em cada carruagem. Cada uma destas é representada por uma cor de forma a facilitar a sua diferenciação por parte do operador.
- iv. *Esquema de tarefas elementares* – conjunto de informações que transmitem ao operador cada passo detalhado a seguir no seu ciclo, no que diz respeito a cada movimento a efectuar. Para cada um destes passos é descrita, de forma detalhada, cada operação, o auto-controlo no que concerne à verificação de que toda as tarefas são feitas de forma adequada e as regras de reacção, caso ocorra algum problema na operação efectuada. À informação acima descrita é ainda complementada uma ajuda visual, que consiste num conjunto de fotos que facilitam a compreensão de cada movimento que o operador deve efectuar.
- v. *Tabela de Combinação de Tarefas* – conjunto de informações numéricas e gráficas que representam todas as acções contidas no esquema de tarefas elementares, tempo de cada acção e deslocação para cada ponto no ciclo considerado, tarefas periódicas, tempo total de ciclo e tempo *takt*.
- vi. *Descrição das cartas kanban* – contém um exemplo de uma carta *kanban*, assim como a descrição da informação nela contida.

- vii. *Auditoria SW* – ficha de auditoria ao *standard* de trabalho, que pretende avaliar a conformidade do esquema de tarefas elementares, da adesão à sequência de operações e instruções de trabalho e a capacidade de atingir o tempo de trabalho *standard*. Nesta ficha encontra-se também uma parte relativa à melhoria contínua, que contém observações ou factos, acções imediatas e outras acções a tomar caso se verifique alguma não conformidade na auditoria efectuada.
- viii. *Ficha de segurança* – contém todas as informações de segurança que incluem equipamentos de protecção individual obrigatórios e complementares, riscos associados, normas de segurança e avaliação de ergonomia do posto de trabalho.

O principal objectivo do trabalho *standard* passa pelo alcance dos objectivos de segurança, qualidade, produtividade e de prazos na linha de produção através da redução de movimentos perigosos, garantia do respeito das gamas de controlo e dos modos operatórios assim como a sua repetição. O objectivo passa também pelo correcto uso dos equipamentos, pela determinação de uma carga de trabalho baseada nos pedidos do cliente, pela identificação e eliminação dos desperdícios e pela formação e evolução dos colaboradores.

3.4.4- *Petit Train* e método de trabalho

De uma forma geral o funcionamento de cada circuito logístico tem por base ciclos repetitivos que iniciam com o arranque do comboio logístico do *picking*, seguido pelo abastecimento das linhas de montagem e terminam com o retorno à zona de *picking*. A seguinte figura pretende esquematizar o método de trabalho previamente descrito:

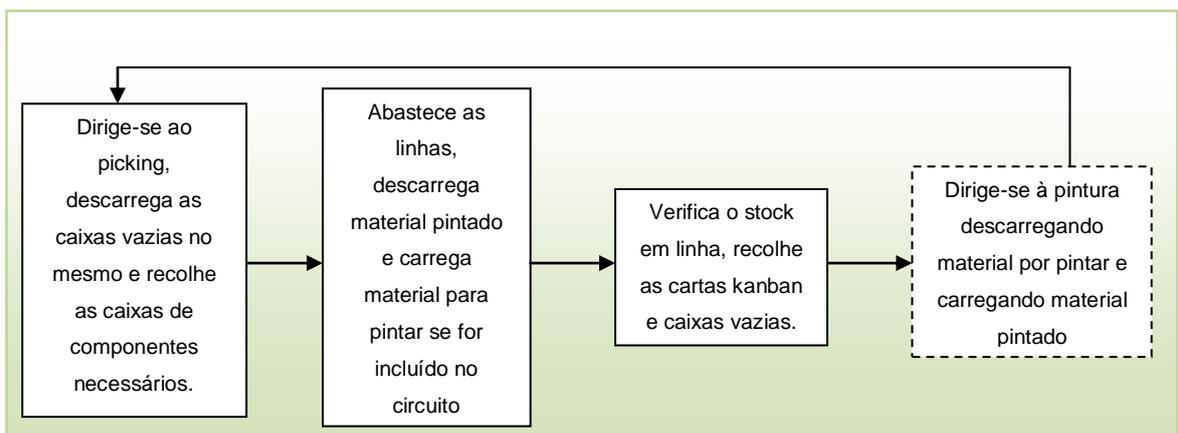


Figura 10 - Fluxograma do método de trabalho dos PT

As paragens para abastecimento em cada linha de montagem e zona estão definidas no trabalho *standard*. Em cada uma destas paragens, o operador coloca as caixas com as componentes nas *racks* de produção respectivas, identificadas em cada nível pela referência correspondente. Após o abastecimento da *rack*, recolhe as cartas *kanban* (Anexo 9) lançadas pela produção e as caixas vazias. Terminado o seu circuito regressa ao *picking* no qual descarrega estas caixas. Após esta fase e de acordo com as cartas *kanbans* recolhidas carrega de novo o comboio logístico ou PT, abatendo o material através da referência respectiva recorrendo para este efeito a uma pistola electrónica que regista o material consumido no *BRAIN*, sistema interno responsável pela gestão dos consumos e necessidades de componentes, que indica as novas necessidades para o armazém. Após ter carregado o comboio logístico, o operador regista o cumprimento ou incumprimento dos horários definidos no quadro de seguimento horário (Anexo 6) e inicia novo ciclo. Estes ciclos são contínuos, nem sempre na utilização do veículo, mas sim para o operador. Nos casos em que o operador coloca o comboio logístico em espera, há sempre uma tarefa adicional no seu trabalho *standard* que complementa o seu ciclo e que pode incluir ajuda no *picking* ou abastecimento das linhas com o carrinho manual.

Apesar do nível mínimo de caixas nas *racks* de produção corresponder sempre a duas caixas com componentes, este número é determinado consoante a produção horária dispendida. De uma forma mais concreta nas *racks* de produção existem sempre componentes para uma hora de produção ou duas caixas.

3.3- Estudo e análise dos circuitos de abastecimento

Inicialmente, de forma a obter uma compreensão mais elaborada e real do funcionamento do transporte logístico interno na fábrica, procedeu-se ao estudo do estado actual dos circuitos, acompanhando e analisando cada uma das rotas dos comboios logísticos, assim como projectos afectos a cada um. Cada circuito está bem definido e é identificado pelo nome do projecto ao qual está dedicado e pela função que realiza, seja ela de abastecimento exclusivo às linhas de montagem ou de transporte de material para a pintura. Os projectos em vigor durante este estudo estão enumerados de seguida e as respectivas rotas podem ser visualizadas nos anexos 1, 2, 3 e 4.

- A7 (Componentes + Pintura)
- PQ35 (Componentes + Pintura)

- M3M4 Componentes
- Pintura PQ25 EF L1, L2 AF L6
- PQ25 AF Componentes 9A
- PQ25 AF Componentes 9B
- PQ25 AF Componentes 10A
- Pintura PQ25 AF L1,2,3,6
- Pintura PQ25 EF L3,4 e 5
- Pintura B58 + TEF Componentes
- PQ25 Soldadura AF L4,L7 Pintura L4 EF L6
- TGV1
- TGV2

Paralelamente ao estudo referido previamente, elaboraram-se medições dos tempos de ciclo, ou seja o tempo que cada comboio logístico demora a realizar uma volta ao seu circuito realizando todas as tarefas que constam no seu trabalho *standard*, aos tempos de condução que correspondem ao tempo desde que o operador arranca até que pára em todas as fases e paragens do seu ciclo e ao tempo de espera, conseqüente da entropia no sistema ou congestionamento com outros comboios logísticos. As zonas nas quais se verificou maior entropia foram de igual forma observadas e registadas. O resumo da informação acima descrita pode ser visualizado nos seguintes gráficos.

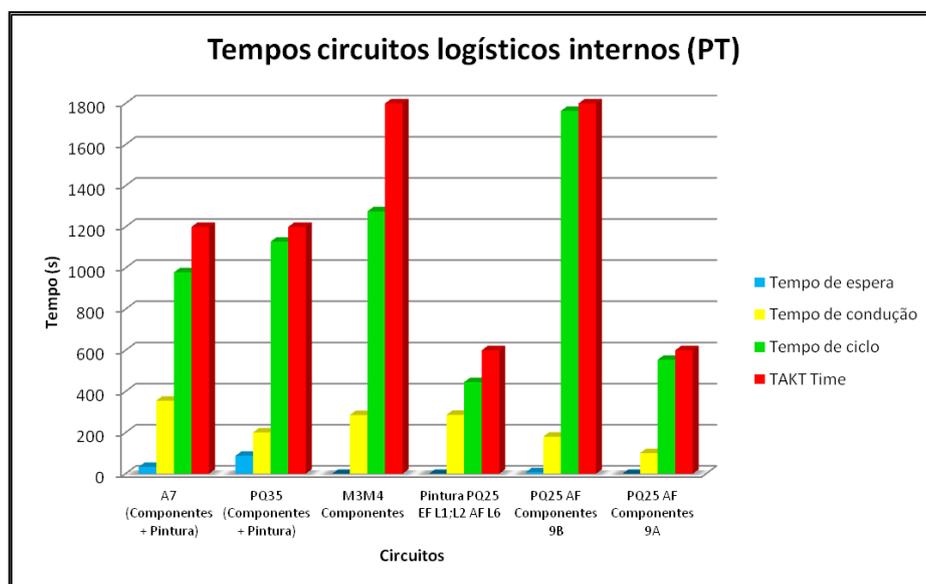


Gráfico 1 - Tempos circuitos logísticos internos (PT)

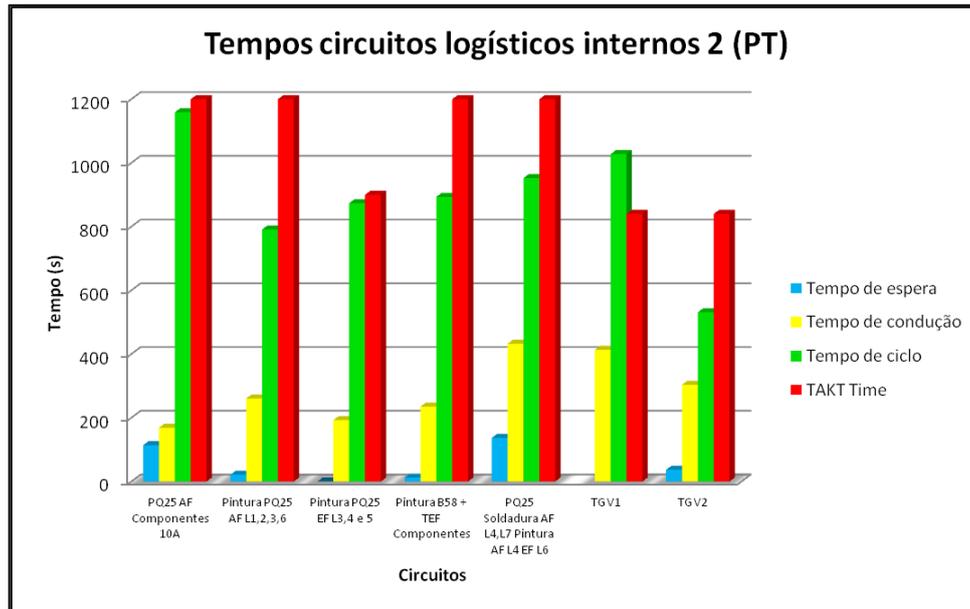


Gráfico 2 - Tempos circuitos logísticos internos 2 (PT)

Analisando os gráficos relativos aos tempos de ciclo de cada circuito logístico verificamos que, na generalidade dos casos os tempos *takt* eram cumpridos, com excepção do TGV 1. Este facto verificou-se visto que no decorrer da medição dos tempos de ciclo, condução e espera deste circuito o operador para além do transporte das paletes para cada zona do *picking*, ajudou na descarga das respectivas componentes. Para além do TGV 1 o não cumprimento do tempo *takt*, verificou-se noutras situações, principalmente nos circuitos afectos ao projecto PQ25 visto que a entropia verificada no corredor Este, respeitante a este projecto, é significativamente superior ao corredor oposto dos projectos A7, BDK95, PQ35 e B58. Um destes exemplos é o circuito designado por “PQ25 Componentes 9A” cujo tempo de ciclo foi, em algumas ocorrências posteriores a este estudo, consideravelmente superior ao tempo *takt* designado.

3.4- Análise e implementação de melhorias pontuais nos circuitos logísticos

Numa fase inicial e depois de elaborada uma análise e estudo generalizado incidente nos circuitos logísticos internos que decorrem na fábrica, inferiu-se que apesar da dificuldade de gestão dos mesmos, seriam possíveis melhorias pontuais. Os circuitos que constituíam maior dificuldade de gestão e melhoria eram relativos ao projecto PQ25 e TGV's, relativos aos comboios logísticos que transportam material para pintura e aos

que transportam as paletes de componentes do cais de recepção para o *picking* e as paletes de vazios do *picking* para o cais de recepção, respectivamente. Esta dificuldade é consequente de alguns factores tais como a elevada entropia que incide nas zonas onde estes comboios circulam, o reduzido espaço de manobra nos corredores para transporte, a ergonomia do sistema e o trabalho complementar de cada um destes circuitos, nomeadamente o *picking*.

3.4.1- Análise de melhoria do circuito “Pintura PQ25 AF Linha 1, 2 , 3 e 6”

O tempo *takt* do circuito considerado é de 1200 segundos. Este circuito efectua de forma exclusiva, o transporte de material para a pintura, assim como material da pintura para as linhas de montagem. Verificou-se que no seu circuito original o operador efectuava manobras excessivas para atrelar e desatrelar as carruagens destinadas à pintura e designadas por *EasyPro*. Para além deste facto verificou-se com alguma regularidade um tempo de espera considerável derivado da elevada entropia causada pela movimentação de outros PT no corredor do projecto PQ25. Desta forma foram consideradas duas alternativas no que diz respeito ao seu percurso.

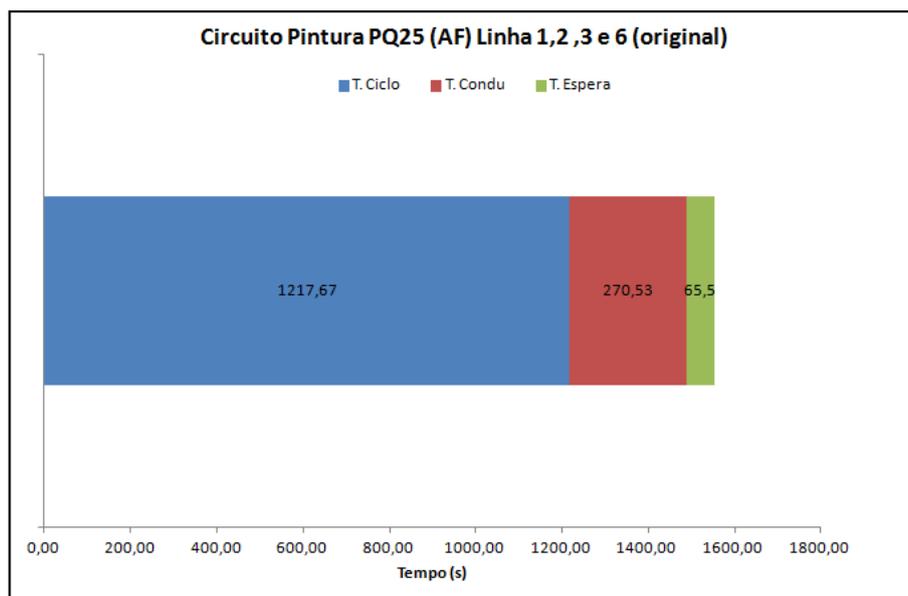


Gráfico 3- Tempos do circuito Pintura PQ25 AF L1, 2, 3 e 6 (original), Anexo 5

3.4.1.1- Primeira alteração ao circuito

A primeira alternativa teve por base a mudança de rota do circuito original para que desta forma se evitasse a entropia elevada no corredor do projecto PQ25. Esta alteração, está esquematizada no anexo 5 e os resultados apresentam-se no seguinte gráfico:

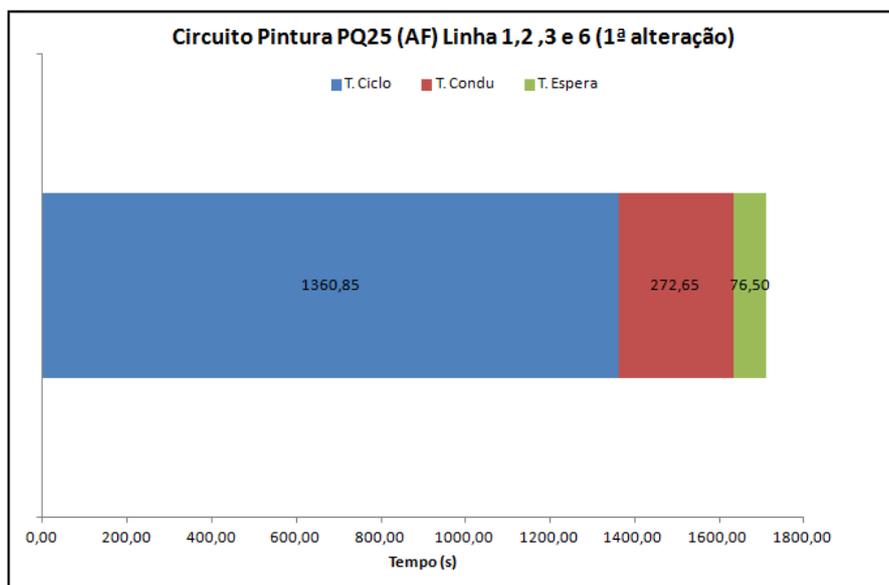


Gráfico 4 - Tempos do circuito Pintura PQ25 AF L1, 2, 3 e 6 (1ª alteração), Anexo 5

A análise da rota alterada e do gráfico de tempos respectivo permitiram inferir que a alteração considerada não é viável. Este facto verificou-se pois para além de o número de paragens que o operador tinha de efectuar para atrelar e desatrelar as carruagens ser a mesma, o facto de o operador ter de colocar o PT, na sua última paragem antes de seguir para a pintura, na linha 3, para que desta forma conseguisse aceder ao corredor de acesso e passar a circular no corredor dos projectos PQ35, A7, BDK95 e B58 até a pintura, fez com que a atrelagem das duas carruagens da linha 3 fosse mais demorada e difícil.

3.4.1.2- Segunda alteração ao circuito

A 2ª alteração visa também uma mudança de rota, mas permite ao comboio logístico efectuar apenas 2 paragens nas linhas para atrelar e desatrelar as carruagens EasyPro, para além de circular posteriormente no corredor dos projectos A7, PQ35 e B58 até à pintura o que permite a fuga à elevada entropia que caracteriza o corredor do

projecto PQ25. A alteração descrita (Anexo 5) e os resultados obtidos podem ser revistos no seguinte gráfico.

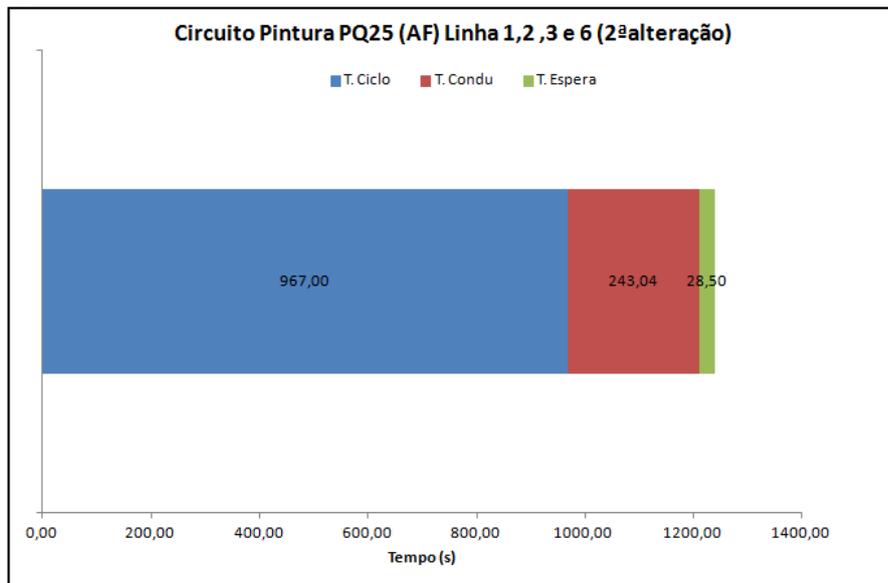


Gráfico 5 - Circuito Pintura PQ25 AF L1, 2, 3 e 6 (2ª alteração), Anexo 5

Esta alteração permite verificar que há de facto uma melhoria significativa no circuito considerado, denotado pela diminuição do tempo de ciclo e condução, assim como no número de paragens efectuada no circuito que passa de 4 para 3. Quantificando, o tempo de ciclo foi reduzido em média 21%, enquanto que o tempo de condução foi reduzido em média 11%. O tempo de espera diminuiu visto que a entropia no corredor PQ25 é reduzida. Apesar das melhorias observadas, esta alteração não se efectuou no momento devido a factores ergonómicos. De acordo com o memorando e a regulamentação que incide na largura dos caminhos de circulação, os corredores de sentido único têm de possuir uma largura equivalente ao *petit train* ao que acresce um valor de 1000 mm. O corredor de acesso do projecto PQ25, para o projecto A7 possui uma largura de 1270 mm, mais 825 mm da largura da passadeira. Como o circuito considerado transporta 4 carruagens de pintura, torna-se difícil que o operador não viole a passadeira destinada aos peões. A melhoria considerada foi posta em *stand-by* visto que a alteração de *layout* em relação ao posicionamento da passadeira em questão, pode ainda vir a ser efectuada.

3.4.2- Análise de melhorias no circuito “Coquilhas PQ25”

O circuito “Coquilhas PQ25” abastece cinco linhas do projecto PQ25, o que corresponde ao transporte em cada ciclo de cinco cestos metálicos que podem ser visualizados na seguinte figura.



Figura 11 - Cesto metálico utilizado no circuito "Coquilhas PQ25"

Para abastecer as linhas de forma correcta e atempada, o operador responsável pelo circuito tinha de efectuar duas voltas ao seu circuito, visto que a limitação a duas carruagens atreladas, que correspondem ao transporte de 4 cestos, não satisfazia todas as necessidades nas linhas de montagem. A atrelagem de uma terceira carruagem permitiu apenas uma volta, provocando por um lado, menor entropia no corredor Este relativo ao projecto PQ25 e por outro mais tempo para que o operador executasse a tarefa complementar de montagem de contentores vazios para o final de linha do projecto PQ25 AF. Os resultados desta alteração resumem-se nos seguintes gráficos:

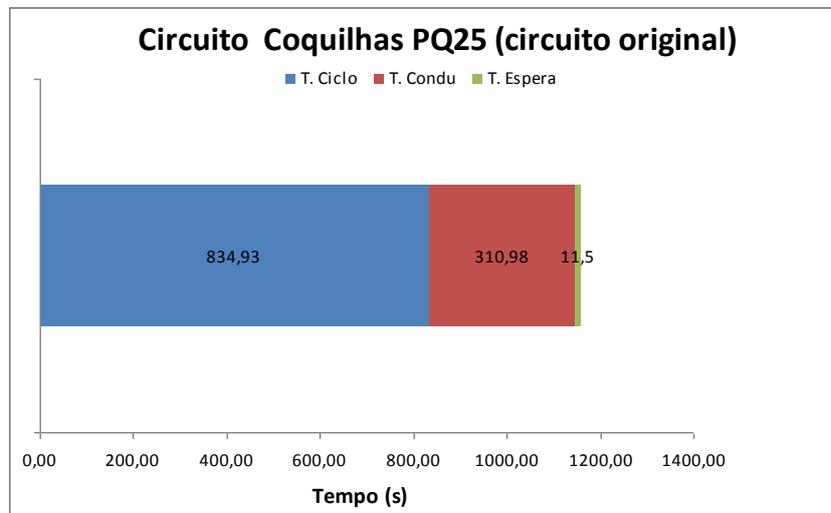


Gráfico 6 – Tempos do circuito Coquilhas PQ25 (original)

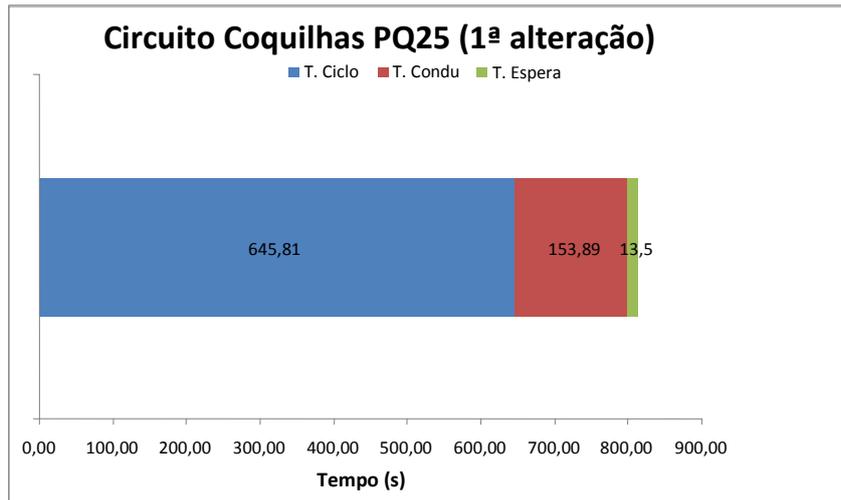


Gráfico 7 – Tempos do circuito Coquilhas PQ25 (1ª alteração)

Como podemos ver na demonstração destes resultados, em média o tempo de ciclo diminui 22%, o tempo de condução 51% e o tempo de espera aumenta 23%. Contudo o tempo de espera é um factor variável e que não reflecte a realidade, pois se o operador tiver de realizar as duas voltas, vai seguramente e após algumas observações apresentar um tempo de espera superior ao tempo de espera quando apenas efectua uma volta no circuito de abastecimento das coquilhas.

Considerando ainda o circuito “Coquilhas PQ25”, foram identificadas oportunidades de melhoria com a possibilidade de substituir o *petit train* utilizado por um carrinho manual. Foram então estudados cenários diferentes tendo em conta em primeiro lugar a possibilidade de implementação e influência nas operações gerais da fábrica, custos de implementação e *payback* para cada um dos cenários.

- Cenário 1

O cenário 1 considera que a mesa de abastecimento das coquilhas PQ25 seja reestruturada, eliminando sensivelmente 1,10 m da mesa de forma que seja possível a abertura de uma porta lateral que permita o acesso do operador e carrinho, do interior para o exterior da fábrica e vice-versa. Na figura que se segue é visualizada a mesa das coquilhas.



Figura 12 - Mesa de abastecimento das coquilhas PQ25

Para a análise deste cenário foi consultado o responsável pelo departamento de Engenharia de forma a obter o orçamento para realizar a obra, assim como para a porta que seria colocada de forma a permitir a movimentação do operador e carrinho. As dimensões da abertura na parede seriam 2,10 m de altura e 1 m de largura.

▪ Cenário 2

O cenário 2 pressupõe a análise da colocação da mesa de abastecimento das coquilhas PQ25, dentro do *picking*, facto que implica também uma reestruturação da mesa de abastecimento. As coquilhas seriam trazidas do cais para o *picking* através do TGV e a reembalagem efectuada no local pelo operador.

Tabela 3 - Análise e comparação de cenários

Circuito	Cenário	Tempo TAKT (s)	Tempo de ciclo (s)	Custos de implementação (€)	Poupança /ano (€)	Payback (meses)
Coquilhas PQ25 (carrinho de abastecimento)	1	2400	2230	650	6408	1,2
	2		2175	200	6408	0,37

Para a análise dos efeitos desta melhoria, o tempo cronometrado foi feito com base numa simulação, visto que os cenários propostos não podiam ser implementados sem um estudo prévio das vantagens e desvantagens de cada melhoria proposta e sem acarretar custos de implementação.

Como podemos observar pela tabela o melhor cenário, é o cenário 2, que diz respeito à implementação da mesa de abastecimento dentro do *picking* com reestruturação da mesma visto que apesar da poupança no aluguer do *petit-train* ser a mesma para os dois cenários considerados, os custos de implementação e o tempo de ciclo são inferiores ao cenário 1, respeitante à abertura da parede e colocação de uma porta de acesso interior-exterior para o sistema operador e carrinho. Há no entanto que considerar que o cenário 2 iria implicar que o contentor das coquilhas PQ25 fosse transportado por um TGV, o que aumentaria a carga transportada pelo veículo, assim como dificultar um pouco mais a manobra de retorno ao cais no ciclo que efectua devido à manobra que tem de realizar.

Outra diferença entre estes cenários prende-se com o facto de que o operador responsável pelo abastecimento das coquilhas PQ25 tem ainda no seu *standard* de trabalho, a montagem de contentores vazios, neste caso 25 contentores por hora de acordo com a produção diária deste projecto (PQ25 AF + EF). Ora se por um lado o cenário 1 fosse implementado, não haveria qualquer alteração ao seu trabalho *standard* para além do circuito em si. Por outro lado e caso o cenário 2 fosse implementado o operador acabaria o seu circuito no *picking*, o que iria fazer com que tivesse de se deslocar ao exterior para montar contentores vazios, incrementando ao seu tempo de ciclo cerca de 50 segundos. Sendo assim, a sugestão de melhoria seria atribuir a montagem dos contentores vazios aos operadores dos empilhadores de produto acabado ou cargas e descargas. O operador do abastecimento das coquilhas faria o restante ciclo no *picking* até efectuar novo abastecimento. Contudo e após observação da zona onde a mesa de abastecimento seria colocada, verificou-se que por vezes algumas carruagens com paletes vazias são colocadas nesta zona, por limitação no espaço destinado a este efeito no *picking* do projecto A7. Sendo assim esta hipótese de melhoria acarreta alguns riscos que não justificavam a consideração desta hipótese. Foi de igual modo tido em conta a opinião dos supervisores, que estavam obviamente melhor inseridos no funcionamento e possível implementação desta melhoria.

Tal como já referido em cada trabalho *standard* está contido a tabela de combinação de tarefas. Estas tabelas foram efectuadas para cada um dos cenários considerados, podendo ser consultadas nos anexos 7 e 8.

A produção horária no projecto PQ25 implica a utilização mínima de 25 contentores. A medição dos tempos de montagem de contentores vazios foi feita com base no tempo real despendido. O operador utilizou também o empilhador para efectuar a tarefa complementar de montagem dos contentores vazios, o que traduz a pior situação

possível visto que algumas vezes os operadores dos empilhadores de final de linha colocam “os vazios” na zona destinada e o operador do circuito “Coquilhas PQ25” apenas tem de os montar.

De acordo com o cenário 1 temos que o tempo de ciclo para o circuito de abastecimento das coquilhas PQ25 às linhas e montagem de contentores vazios se situa na ordem dos 2230 segundos. Desta forma, sendo o tempo *takt* de 2400 segundos, o operador dispõe de 170 segundos para além do ciclo que cumpre.

De acordo com o cenário 2 temos que o tempo de ciclo para o mesmo circuito se situa na ordem dos 2175 segundos. O operador dispõe por isso de 225 segundos para além do ciclo cumprido. A alteração considerada neste caso não foi posta em prática até à data de término do estágio, contudo e de acordo com o departamento de *PC&L Improvement* foi uma boa proposta e será considerada.

3.5- Melhorias no picking

Durante o estágio efectuado verificou-se, em algumas situações, escassez de alguns componentes no *picking*, principalmente aqueles que apresentavam uma frequência de utilização superior, o poderia levar à paragem da actividade fabril em algumas das linhas de montagem. Este facto era possivelmente causado pelo mau funcionamento do sistema interno *BRAIN*, assim como ao mau procedimento dos operadores no registo das referências dos componentes retirados para abastecimento, utilizando a pistola electrónica. Este mau procedimento estava relacionado com a leitura de código da referência uma única vez e inserção manual posterior do número de caixas retiradas. O procedimento correcto devia ser sempre efectuado com a leitura do código de barras de cada componente caixa a caixa. Assim se o operador necessitasse de recolher quatro caixas da mesma referência, deveria ler o código de barras quatro vezes. Tendo em conta a gravidade da ocorrência destes possíveis erros, foram agregadas cartas *kanban* a cada posição e nível nos móveis do *picking*, de acordo com cada referência, assim como alertas informativos do mínimo e máximo número de caixas a ter em cada posição nestes móveis. Desta forma caso se verifique falta de material, estas cartas são retiradas e enviadas ao supervisor que enviará, em alerta, o pedido das componentes em questão para SJM2.

3.6- Melhorias no sistema kanban

A área do *PC&L Improvement* é responsável por manter o correcto funcionamento do sistema *kanban* dentro da fábrica. É da sua responsabilidade efectuar auditorias semanais a todos os projectos e assegurar que não existem cartas em excesso ou em falta. Nestas auditorias verificou-se que todas as semanas algumas cartas eram perdidas na actividade fabril, sendo que algumas destas eram encontradas pelos fornecedores nas caixas vazias enviadas a estes para posterior transporte de componentes ou mesmo noutros projectos que partilham referências iguais. De forma a assegurar um melhor funcionamento e diminuir as perdas das cartas *kanban*, foi pensado um sistema de cores que diferencia e associa cada cor a cada projecto. Desta forma evitam-se algumas das perdas de cartas *kanban*, assim como o tempo dispendido na elaboração de novas cartas.

3.7- Melhorias no seguimento de horário dos circuitos

Para um controlo mais eficiente no cumprimento dos horários relativos a cada circuito, a Faurecia dispõe de um quadro de seguimento de horário que contém as informações relativas ao tempo de cada ciclo que cada operador deve cumprir. Assim e após o término de cada ciclo, este último deve assinalar a hora a que se deu o término de cada um destes, neste quadro de seguimento. Desta forma o controlo sobre o cumprimento ou incumprimento dos horários torna-se mais fácil. Contudo verificou-se que apesar deste tipo de controlo ser já eficiente, aconteciam por vezes incongruências entre a taxa de produção horária e o abastecimento nas linhas de montagem, visto que em algumas situações, a produção era sensivelmente mais rápida do que o planeado. Houve portanto a possibilidade de melhorar este factor. Para isso elaborou-se um quadro de seguimento geral presente em anexo (Anexo 10) que pretende não só recolher todas as informações respeitantes ao cumprimento ou incumprimento dos horários de cada ciclo, assim como assinalar as causas dos devidos atrasos e resumir toda a informação num gráfico de avaliação e controlo. Esta melhoria é útil na determinação das causas dos atrasos de cada circuito em cada ciclo e na posterior actuação sobre as mesmas. Esta ideia foi colocada na base de dados interna de ideias de melhoria e ficou em avaliação para posterior implementação.

3.8- Desenvolvimento da ferramenta de optimização dos circuitos logísticos

O objectivo deste projecto, já referido, é o desenvolvimento de uma ferramenta que permita a optimização dos circuitos logísticos internos, mais especificamente dos circuitos que concernem ao abastecimento das linhas de montagem e pintura. Para este efeito foi utilizado o software X-Press IVE, versão estudante. Este software é um componente do X-Press MP que permite a modelação e optimização de problemas lineares em plataforma Windows e que apresenta uma interface gráfica visual de fácil utilização, com editor de texto próprio que permite o desenvolvimento, gestão e execução de múltiplos programas modelo. Desta forma ao considerarmos o problema dos circuitos logísticos como um problema de programação linear inteira, podemos criar uma ferramenta que permita englobar o maior número de casos possíveis e que permita essencialmente otimizar ou mais especificamente diminuir a distância percorrida pelos comboios logísticos, assim como minimizar o número de veículos utilizados no abastecimento e transporte de material para a pintura ou de componentes para as linhas de montagem.

O modelo desenvolvido para a resolução deste problema tem de ter em conta algumas características específicas respeitantes às regras de ergonomia ditadas pelo HSE no que concerne à capacidade máxima dos PT, à circulação dos mesmos e às combinações possíveis de carruagens que cada um pode atrelar.

3.8.1- Restrições de transporte e abastecimento interno

Os tipos de caixas carregadas pelo comboio logístico são determinantes no algoritmo construído, visto que representam uma capacidade que difere de caixa para caixa dentro do mesmo e que este, por questões de ergonomia, pode apenas atrelar no máximo uma das seguintes alternativas:

- Cinco carruagens para componentes;
- Três carruagens de componentes e uma EasyPro;
- Quatro carruagens EasyPro.

As caixas utilizadas no abastecimento às linhas de montagem são propriedade interna da Faurecia e apresentam dimensões que diferem entre si de acordo com os componentes que nelas são transportados. A capacidade de cada caixa é normalmente definida com o fornecedor e não está no controlo dos sectores de linha. Os fornecedores

são geralmente resistentes no que diz respeito a mudanças do tipo de caixa utilizada e número de componentes que cada uma contém. Na generalidade o ciclo de uma caixa pode ser descrito na seguinte figura:

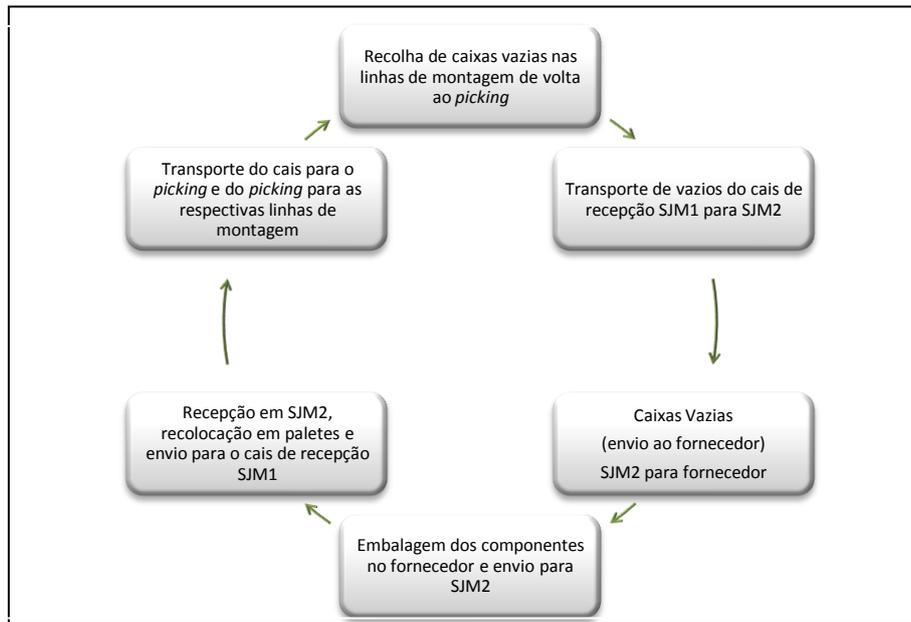


Figura 13 - Ciclo de caixas para transporte e abastecimento de componentes

As caixas que contêm os componentes necessários à actividade fabril são normalmente enviadas ao fornecedor. No fornecedor os componentes são carregados em cada caixa, em número determinado e acordado entre a logística e o fornecedor tendo em conta regras de ergonomia no que diz respeito ao tamanho e peso e são posteriormente retornadas à fábrica onde são colocadas no armazém (SJM2). Do armazém e de acordo com o registo de caixas em saída do *picking* para as linhas de montagem, efectuado no *BRAIN*, as caixas são agrupadas em paletes e carregadas num camião com rota exclusivamente interna que as transporta para o cais de recepção. Do cais são transportadas até ao respectivo *picking*. No armazém é também efectuada a reembalagem que consiste na colocação dos componentes trazidos em contentores dos fornecedores, nos diferentes tipos de caixa determinados pela logística. Os tipos de caixa movimentadas internamente e respectivas dimensões podem ser visualizados na seguinte tabela.

Tabela 4 - Tipos de caixas e dimensões respectivas.

Tipo de caixa	Dimensões (mm)	Tipo de caixa	Dimensões (mm)
<p>CP0</p> 	400x300x114	<p>KL7</p> 	400x300x140
<p>CP1</p> 	400x300x114	<p>KL8</p> 	600x400x280
<p>CP2</p> 	300x200x114	<p>KL9</p> 	600x400x210
<p>CP3</p> 	600x400x120	<p>FP1</p> 	400x300x120
<p>CP4</p> 	600x400x175	<p>FP2</p> 	600x400x190
<p>CP7</p> 	600x400x75	<p>FP3 (Garitas)</p> 	600x400x120
<p>KL1</p> 	300x200x147	<p>FP4</p> 	600x400x130
<p>KL2</p> 	400x300x147	<p>FP5</p> 	400x300x130
<p>KL3</p> 	600x400x147	<p>FP9</p> 	400x300x130
<p>KL4</p> 	600x400x280	<p>CPV</p> 	600x400x210

3.8.2- Descrição do problema

Como já referido, pretendeu-se desenvolver uma ferramenta que permitisse a optimização dos circuitos de abastecimento internos efectuados pelos comboios

logísticos no que diz respeito à minimização da distância percorrida pelos mesmos nos corredores internos das instalações fabris e no número de veículos e capacidade utilizada para que de forma atempada e correcta, fosse possível abastecer as linhas de montagem com os componentes necessários. A optimização pretendida, possibilita a diminuição de custos inerentes à utilização dos veículos, visto que a frota tem inerente um custo de aluguer mensal, que é considerável, assim como a nível de operadores para cada veículo. Pretendeu-se também que a ferramenta não implicasse custos adicionais para a empresa ou seja, que não exigisse uma licença para uso e que fosse aplicável ao maior número de casos possíveis, podendo ser utilizada por qualquer colaborador, com conhecimentos mínimos na área ou no *software* utilizado. Para além de otimizar as rotas de cada veículo, pretendeu-se que a ferramenta pudesse também ser utilizada para planeamento de rotas, respeitante a novos projectos em implementação na fábrica.

Especificamente cada comboio logístico tem uma rota bem definida, assim como as respectivas componentes que transporta em cada um dos seus ciclos. Em cada um destes últimos o ponto inicial e final é o mesmo, ou seja o *picking* no qual o material se encontra. Alguns dos corredores afectos à movimentação dos comboios têm sentido único, pelo que a passagem dos veículos é exclusivamente realizada num sentido, sendo impossível para o veículo percorrer esse mesmo corredor no sentido inverso ao definido de acordo com regras de segurança *standard* definidas pelo departamento de HSE. A capacidade e o número de carruagens necessárias são determinados pela função do circuito definido, mais especificamente se a função é apenas dedicada ao abastecimento de componentes às linhas de montagem ou se o comboio logístico transporta também ou de forma exclusiva material de e para a pintura. A capacidade é tida em conta através da variável volume de cada caixa que contém os componentes e também pelas restrições a nível de combinações entre os diferentes tipos de carruagem como já referido previamente.

3.8.2.1- Modelo de programação linear inteira

Tendo em conta o problema definido, o modelo base para resolução do problema dos circuitos logísticos será uma das variantes do VRP (*Vehicle Routing Problem*). Mais concretamente o modelo é abordado como um CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*), tendo em conta o objectivo deste problema, assim como as limitações em termos de carga conhecidas. Os pressupostos do problema enumeram-se de seguida:

- i. Cada veículo visita uma vez e apenas uma vez cada posto;

- ii. A capacidade do veículo não é excedida;
- iii. O veículo sai de um ponto inicial e retorna a esse ponto no final da sua rota;
- iv. Cada posto pertence somente a uma rota.

O modelo de programação linear inteira que representa o problema em questão e que constitui a base para a ferramenta pretendida neste projecto é de seguida detalhado.

3.8.2.2- Dados das paragens e procura

O número de paragens incluindo o *picking* é designado por $P = \{1, \dots, NPARAGENS\}$ ou seja é o conjunto de todas as paragens consideradas para o circuito, dadas pelo valor $NPARAGENS$ na ferramenta criada e no qual o *picking* corresponde à paragem número 1. O número de paragens nas quais o comboio logístico descarrega as suas componentes e que corresponde às paragens na produção é designado por $PP = \{2, \dots, NPARAGENS\}$. A distância entre as paragens consideradas é dada por $dist_{ij}$ e representa a distância entre a paragem i e j . A Procura $_i$ é a procura de componentes em cada paragem na produção i . A variável Procura $_i$ assume um valor real e corresponde à soma dos volumes de cada tipo de caixa que se pretende abastecer em cada paragem i considerada.

3.8.2.3- Dados dos *Petit-Train*

A Cap $_k$ é a capacidade em volume de cada veículo ou mais especificamente de cada número de carruagens que comboio logístico ou PT tem atreladas. A variável VEL_MED_PT diz respeito à velocidade média do PT que em regra geral é 2,2 m/s.

3.8.2.4- Variáveis de decisão e modelo matemático

A variável y_k diz respeito aos veículos utilizados. A variável x_{ijk} é igual a 1 caso o veículo k visite a paragem i imediatamente após j e 0 caso contrário. Neste modelo usamos também a variável $quant_{ik}$ para designar o total de caixas entregues na rota até à paragem i , incluindo a paragem i e para que desta forma não se exceda a capacidade de cada veículo k considerado. Desta forma e a título de exemplo, se uma determinada rota obtida numa solução for entre as paragens 1, 2, 3 e 4 então a $quant_{3k} = quant_{1k} + quant_{2k} + quant_{3k}$. O modelo matemático que diz respeito ao problema descrito é o seguinte:

- Função objectivo:

$$\min \sum_{i,j \in P: i \neq j} x_{ijk} \times dist_{ij} + \sum_{k \in K} y_k \quad (1)$$

- s.a:

$$\sum_{i \in P: i \neq j} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1, \forall j \in P \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \leq 1, \forall i, j \in P \wedge i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{j \in P: j \neq 1} x_{1jk} \leq 1, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in P: i \neq 1} x_{i1k} \leq 1, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in P: j \neq 1} x_{1jk} \leq y_k, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in P: i \neq j} x_{ijk} - x_{jik} = 0, \forall k \in K, j \in P \quad (7)$$

$$Procura_i \leq quant_{ik} \leq Cap_k, \forall i \in PP, \forall k \in K \quad (8)$$

$$quant_{ik} \leq Cap_k + (Procura_i - Cap_k) \times x_{1ik}, \forall i \in PP \quad (9)$$

$$quant_{jk} \geq quant_{ik} + Procura_j - Cap_k + Cap_k \times x_{ijk} + (Cap_k - Procura_j - Procura_i) \times x_{jik}, \forall i, j \in PP, i \neq j, \forall k \in K \quad (10)$$

$$quant_{ik} \geq 0, \forall i \in PP, \forall k \in K \quad (11)$$

$$y_k \in \{0,1\}, \forall k \in K, x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j \in PP, i \neq j \quad (12)$$

A função objectivo (1) representa a minimização da distância percorrida na rota ou circuito, assim como no número de veículos utilizados para efectuar o correcto abastecimento das linhas de montagem. A restrição (2) e (3) garante que o veículo chega só por uma vez a uma paragem de abastecimento e sai só por uma vez dessa paragem. A restrição (4) garante que o veículo sai do *picking* e a restrição (5) garante que o veículo chega ao *picking*. A restrição (6) garante que o veículo é utilizado. A restrição (7) garante que se um veículo chega a uma paragem de abastecimento, tem obrigatoriamente que sair dessa paragem de abastecimento para outra paragem. A restrição número (8)

garante que a quantidade $quant_{ik}$ tem de ser pelo menos igual à quantidade procurada na paragem de produção i e dentro da capacidade limite de cada veículo Cap_k .

Se a paragem de produção i é a primeira de uma rota então $quant_{ik}$ é igual à quantidade necessária na paragem de produção i ou seja se i é a primeira paragem de uma rota, então x_{1ik} é 1 e após simplificação a restrição (9) é igual à seguinte inequação:

$$quant_{ik} \leq Procura_i$$

Se i não for a primeira paragem de produção de uma rota, x_{1ik} toma o valor 0 e a restrição (9) é igual à inequação:

$$quant_{ik} \leq Cap_k$$

Se i não for a primeira paragem de uma rota então $quant_{ik}$ tem de ser igual à soma das quantidades entregues entre o *picking* e i inclusivé. Isto significa que se j vem a seguir a i numa rota, podemos dizer que $quant_{jk}$ tem de ser igual à quantidade entregue na rota do *picking* até i , mais a quantidade entregue em j . Esta relação é verificada na restrição (10). Quando j não vem imediatamente a seguir a i , a restrição (10) continua válida.

A restrição (11) indica que a variável $quant_{ik}$ é não-negativa e a restrição (12) indica que as variáveis x_{ijk} e y_k são binárias.

A designação da variável $quant_{ik}$ a todas as paragens i garante que a capacidade dos veículos não é ultrapassada, ao mesmo tempo que inviabiliza qualquer rota que não inclua o *picking*. Sem esta variável poderíamos obter soluções possíveis que não passassem pelo *picking*.

3.8.3- Ferramenta de optimização e ficheiros associados

A ferramenta de optimização dos circuitos logísticos internos foi desenvolvida no software X-Press IVE e é constituída por dois ficheiros. No ficheiro "Focli.mos" está contido todo o modelo relativo à resolução deste caso prático incluindo o modelo de programação linear, assim como todo o código que permite obter o *output* associado. No ficheiro "Focli.dat" estão contidos todos os dados de introdução necessária ao qual o ficheiro principal acede, de forma a resolver o problema em consideração. Para que a ferramenta se torne mais intuitiva para o utilizador todas as linhas de código são complementadas com comentários que descrevem cada funcionalidade do código inserido e que têm a seguinte forma:

```
! NOTAS:  
! Qualquer comentário é precedido por um ponto de exclamação.
```

Figura 14 - Formatação de comentários no X-Press IVE

De forma a facilitar a compreensão do modelo, no que concerne à inserção de dados por parte do utilizador, serão utilizados nos seguintes pontos explicativos os exemplos que dizem respeito à optimização de dois dos circuitos internos, assim como a comparação e análise de resultados obtidos.

3.8.4- Optimização do circuito “PQ25 9B Componentes”

De acordo com a sugestão do Engenheiro Sérgio Gonçalves, co-orientador deste projecto na Faurecia, assim como por todos os colaboradores da área do *PC&L Improvement*, a ferramenta desenvolvida foi implementada no circuito “PQ25 9B Componentes” de forma a testar e avaliar os resultados obtidos na optimização deste circuito. Algumas das razões que explicam a escolha por este circuito assentam na já referida entropia elevada verificada no corredor Este, assim como no elevado número de componentes que este circuito deve abastecer. Em seguida encontram-se descritas todas as fases de implementação da ferramenta, assim como os ficheiros associados.

3.8.4.1- Dados no ficheiro “Focli.mos”

Neste ficheiro existem dois tipos de dados que se torna necessário inserir. Correspondem ao número de paragens consideradas ou seja o número de paragens, incluindo o *picking*, que o comboio logístico terá de efectuar para abastecer as linhas de montagem e pintura, assim como o número de veículos considerados no modelo. Desta forma e para o exemplo considerado pretendemos resolver o problema que contém cinco paragens e três veículos disponíveis. A inserção de dados deve então ser a seguinte:

```
! Parâmetros iniciais do problema  
parameters  
  NPARAGENS = 5    ! Numero de paragens totais consideradas (incluindo picking)  
  NVEICULOS = 3    ! Numero de veículos a considerar  
end-parameters
```

Figura 15 - Dados relativos ao número de paragens e veículos disponíveis

3.8.4.2- Dados no ficheiro “Focli.dat”

Neste ficheiro está contida a estrutura que permite a inserção de todos os dados para o problema, com excepção dos descritos no ponto prévio. Neste ficheiro serão inseridos desta forma todos os dados relativos à velocidade dos PT, distância entre as paragens consideradas no problema, procura em cada uma dessas paragens no que concerne ao tipo de caixa e número de caixas procuradas, capacidade de cada veículo considerado, tempo de carga das caixas do *picking* para o PT, tempo de descarga das caixas do PT para as *racks* de produção assim como das caixas vazias para o PT e do PT para o *picking* e tempo de carga e descarga relativo às carruagens de pintura. Neste ficheiro está também contida a informação relativa à posição de cada paragem num referencial x, y para efeitos gráficos de *output*.

i. Velocidade do PT

A velocidade do PT é uma variável a ter em conta no modelo, visto que é utilizada no cálculo do tempo de ciclo do circuito de acordo com a distância percorrida em cada rota.

```
! A- VELOCIDADE MÉDIA DO PETIT-TRAIN
VEL_MED_PT : 2.2
```

Figura 16- Velocidade média dos PT

ii. Matriz distância entre as paragens

Esta matriz representa a distância entre todas as paragens consideradas no modelo.

```
! C- MATRIZ DISTÂNCIA ENTRE PARAGENS (em metros)
DIST: [0 108 141 116 136
       46 0 33 68 88
       14 33 0 25 50
       97 93 126 0 21
       83 79 112 54 0]
```

Figura 17 – Matriz das distâncias entre as paragens

Visto que os corredores da fábrica são por vezes de sentido único, há que ter em conta que a distância entre cada uma das paragens não é sempre dada pela medida mais próxima entre os pontos. A figura seguinte exemplifica o cálculo da distância de acordo com a condição que acima se descreveu.

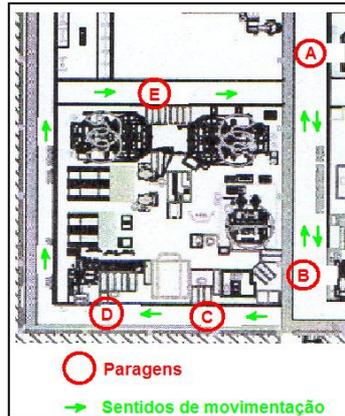


Figura 18 - Paragens e sentidos de movimentação num corredor

Como podemos ver pela figura 18, devido ao facto de o PT poder apenas seguir em sentido indicado pela seta verde, a distância entre o ponto A e o ponto E é dado pela soma das distâncias entre A e B, entre B e C, entre C e D e entre D e E.

iii. Tempos considerados no problema

Os tempos considerados no problema e incluídos na ferramenta são determinantes no cálculo do tempo de circuito. Desta forma o tempo de recolha das componentes para as carruagens do PT, a colocação desses componentes nas *racks* de produção, o tempo de recolha das caixas vazias das *racks* de produção, o tempo de colocação das caixas vazias no *picking* e o tempo de carga e descarga de material para pintura são variáveis a ter em conta. Interessa também denotar que de acordo com o *standard* de trabalho, o operador deve manusear apenas uma caixa de cada vez; contudo nem sempre este facto se verifica. Desta forma, para o problema descrito foram considerados tempos médios de manuseamento de cada caixa após várias observações e medições de tempo despendido com cada operação no que concerne aos tipos de tempos considerados.

! B) TEMPOS DE CARGA E DESCARGA PARA CADA COMPONENTE	
TCM : 8.21	! Tempo médio de carga das caixas do picking para o PT
TAM : 10.82	! Tempo médio de abastecimento das caixas nas racks de produção
TDM : 10.07	! Tempo médio de retirada de caixas vazias das racks de produção
TVM : 38.91	! Tempo médio de descarga de vazios no picking
TCDF: 10	! Tempo de carga e descarga de material para pintura

Figura 19 - Tempos de carga e descarga de componentes

iv. Procura em cada paragem - tipos de caixas e volume

A procura em cada paragem nas linhas é um vector de dados de dimensão igual ao número de paragens total e que corresponde a cada paragem. Para isso são consideradas, no ficheiro de dados, todos os tipos de caixas e volume respectivo. A cada tipo de caixa será atribuído um vector igual ao número de paragens no qual estão inseridas as necessidades em cada uma destas. No ficheiro principal a procura será dada pelo número de necessidades em cada paragem, multiplicado pelo volume de cada caixa de forma a que o volume total não ultrapasse a capacidade atribuída a cada veículo.

A título de exemplo a figura seguinte demonstra que a procura de caixas CP3 na paragem número 2 considerada é igual a 4, na paragem 3, igual a 16 e assim sucessivamente.

```
! D- PROCURA EM CADA PARAGEM NA PRODUÇÃO (incluir picking( = 0)
CP0: [0 0 0 0 0]
CP1: [0 0 0 0 0]
CP2: [0 0 0 0 0]
CP3: [0 4 16 3 0]
CP4: [0 4 6 0 2]
CP7: [0 0 0 0 0]
KL1: [0 0 0 0 0]
KL2: [0 0 0 0 0]
KL3: [0 2 3 0 0]
KL4: [0 0 0 0 0]
KL7: [0 0 0 0 0]
KL8: [0 0 0 0 0]
KL9: [0 0 0 0 0]
FP1: [0 0 0 0 0]
FP2: [0 0 0 0 0]
FP3: [0 0 0 0 0]
FP4: [0 0 0 0 0]
FP5: [0 0 0 0 0]
FP9: [0 0 0 0 0]
CPV: [0 3 3 3 0]
PINTURA: [0 0 0 0 0]
```

Figura 20 - Procura em cada paragem por tipo de caixa

```
! F- VOLUME DE CADA TIPO DE CAIXA (em dm3)
VOL_CP0: [13.68]
VOL_CP1: [13.68]
VOL_CP2: [6.84]
VOL_CP3: [28.8]
VOL_CP4: [42]
VOL_CP7: [18]
VOL_KL1: [8.82]
VOL_KL2: [17.64]
VOL_KL3: [35.28]
VOL_KL4: [67.2]
VOL_KL7: [16.8]
VOL_KL8: [67.2]
VOL_KL9: [50.4]
VOL_FP1: [14.4]
VOL_FP2: [45.6]
VOL_FP3: [28.8]
VOL_FP4: [31.2]
VOL_FP5: [15.6]
VOL_FP9: [15.6]
VOL_CPV: [50.4]
```

Figura 21 - Volume de cada tipo de caixa

v. Capacidade dos veículos

Para esta variável é atribuído um vector igual ao número de veículos e de valor igual à capacidade que consideramos para cada um dos veículos.

```
! E- CAPACIDADE DE CADA VEICULO
CAP: [2652 2652 2652]
```

Figura 22 - Capacidade de cada veículo

vi. Coordenadas das paragens

Para cada paragem considerada no problema a resolver e no modelo é dado um vector x, y , de forma a facilitar a visualização gráfica da solução obtida no *output* do programa.

```
! G- COORDENADAS [x,y] DE CADA PARAGEM CONSIDERADA
POS: [[1 1] [5.7 6.8] [2.3 3.2] [1.3 8.2] [5.2 10]]
```

Figura 23 - Coordenada de cada paragem considerada

3.8.4.3- Resultados obtidos e output

Na ferramenta desenvolvida, depois de inseridos todos os dados e depois de compilar e correr o modelo vamos ter dois tipos de *output*. No separador *Output/Input* do software X-Press IVE, é dada a distância total percorrida pelos PT que fazem parte da solução do problema, assim como o mínimo de veículos necessários. Depois deste resultado é apresentada a origem e destino de cada rota, assim como o número de caixas entregues ou carruagens de pintura entregues em cada paragem e número total de caixas entregue. Para além destes resultados é de igual forma apresentado o número de carruagens necessárias, distância percorrida por cada veículo, tempo de ciclo e tempo de condução para o circuito abordado no problema. Na segunda vertente dos resultados e no separador *User graph* do *software*, é apresentada uma solução gráfica, mais especificamente das rotas atribuídas a cada PT e diferenciadas por cores distintas e legendadas no próprio gráfico.

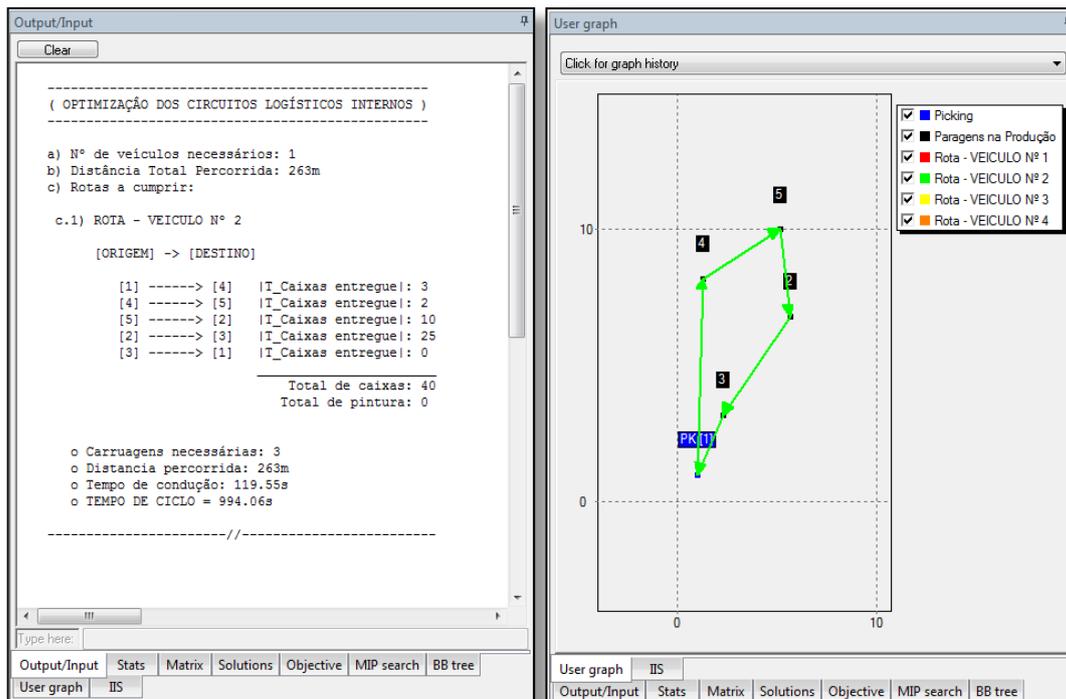


Figura 24 - Solução do problema e resultados obtidos

Através dos resultados obtidos na optimização do circuito “PQ25 9B Componentes” é elaborada de seguida uma tabela com a comparação entre o circuito prévio e posterior à implementação da ferramenta neste problema específico.

Tabela 5 - Tabela de comparação da optimização do circuito PQ25 9B

	CIRCUITO ANTERIOR À OPTIMIZAÇÃO	CIRCUITO POSTERIOR À OPTIMIZAÇÃO
Rota	<i>Picking</i> → Paragem 2 → Paragem 3 → Paragem 4 → Paragem 5 → <i>Picking</i>	<i>Picking</i> → Paragem 4 → Paragem 5 → Paragem 2 → Paragem 3 → <i>Picking</i>
Distância total percorrida (m)	274	263
Tempo de condução (s)	136	121
Tempo de ciclo (s)	1083	1022
Tempo de espera(s)	3	0

Os dados relativos a esta mudança, assim como os dados relativos ao circuito original, foram obtidos tendo por base os tempos cronometrados no local durante o funcionamento do circuito e não tendo em conta os resultados teóricos obtidos através da ferramenta desenvolvida, apesar de ser claro que o tempo teórico e real não diferem em valor considerável. A diferença verificada pode estar relacionada com a média dos tempos de carga e descarga das caixas no comboio logístico e nas *racks* de produção. Como já referido, estes tempos podem variar consoante cada operador. Os resultados permitem inferir que uma pequena mudança na rota descrita previamente a esta optimização iria resultar num ganho em termos de distância percorrida, tempo de condução e consequentemente tempo de ciclo. A variável tempo de espera não está directamente relacionada com esta optimização, apesar de também apresentar uma melhoria. Este facto verifica-se visto que apesar do congestionamento nos corredores nos quais os PT se movimentam ser aleatório, ao diminuirmos a distância percorrida pelo PT estamos indirectamente a diminuir a probabilidade de ocorrência de espera. O seguinte gráfico resume de uma forma visual os resultados obtidos.

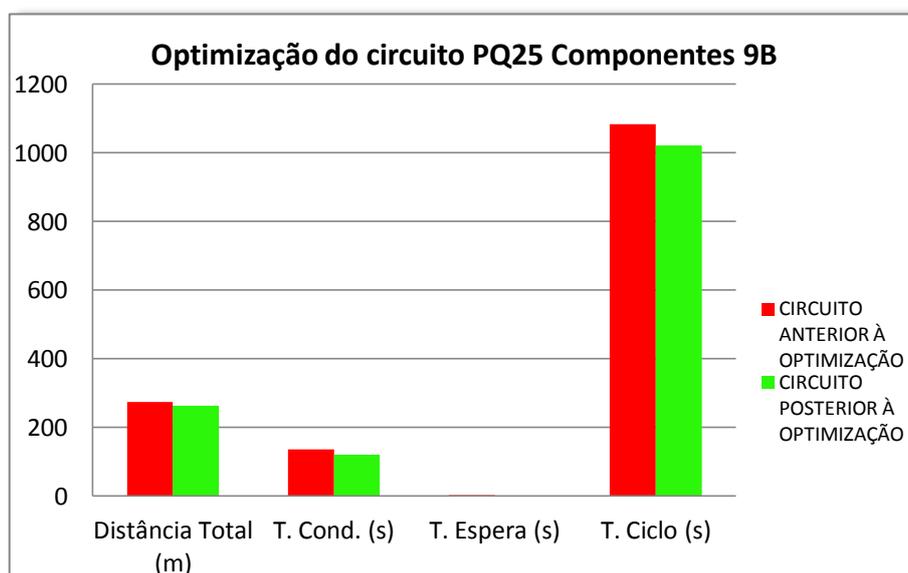


Gráfico 8- Resultados obtidos na aplicação da ferramenta ao circuito PQ25 9B

Em termos percentuais a melhoria obtida tem um valor de 4% para a distância percorrida, 6 % para o tempo de ciclo e 12% em termos do tempo de condução. Tendo em conta os resultados positivos obtidos, a alteração à rota efectuada foi posta em prática.

3.8.5- Optimização do circuito “A7 (Componentes + Pintura)”

Pretendeu-se numa segunda fase a implementação da ferramenta no circuito designado por “A7 Componentes + Pintura”, de forma a testar a vertente da inclusão de abastecimento não só de componentes, como também do transporte de material das linhas de montagem para pintura e da pintura para as linhas de montagem. Os valores inseridos, assim como os dados utilizados não são demonstrados, visto que a explicação deste procedimento foi efectuada na optimização prévia. Os resultados obtidos após a implementação da ferramenta são de seguida resumidos.

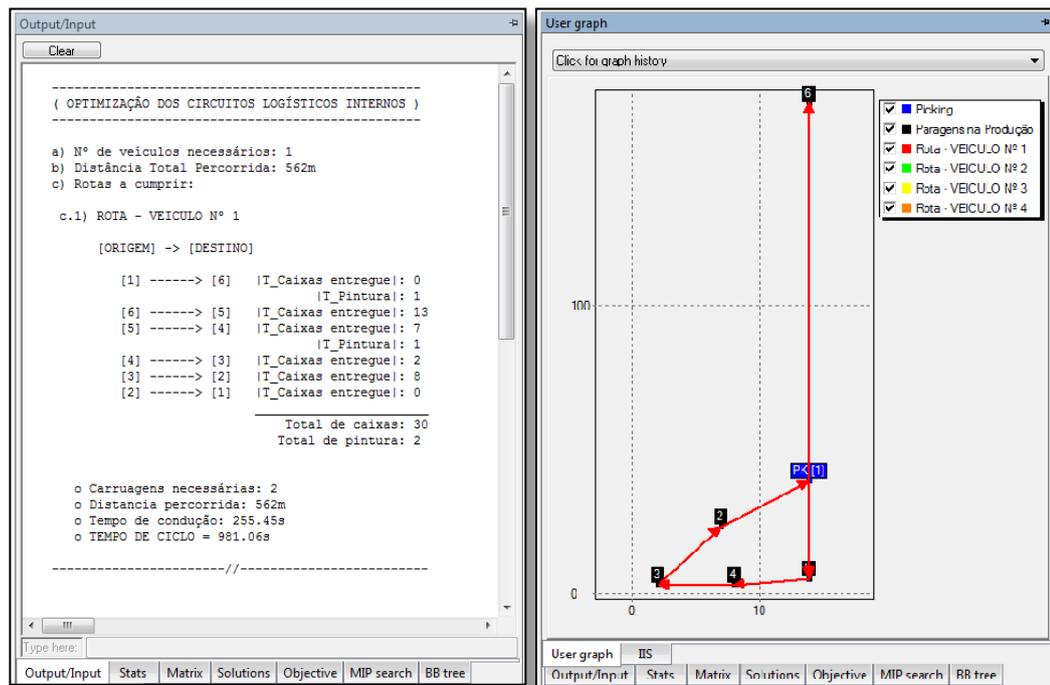


Figura 25 - Solução do problema e resultados obtidos

Em termos da rota do circuito podemos observar por comparação com a rota original (Anexo 1) que não há qualquer alteração à mesma. Este facto confirma-se visto que o sentido dos corredores definido pelo HSE, não é passível de sofrer alterações e visto que o comboio logístico atribuído a este circuito não tem alternativas à alteração da rota sendo já, o seu percurso definido, aquele que apresenta menor distância percorrida. Posteriormente aos resultados foram cronometrados no local os tempos relativos à actividade deste circuito para comparação com os resultados teóricos obtidos na ferramenta. Os valores obtidos encontram-se descritos na seguinte tabela.

Tabela 6 - Tabela de comparação da optimização do circuito A7

	CIRCUITO ORIGINAL	CIRCUITO POSTERIOR À IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA
Rota	<i>Picking</i> → Pintura → Paragem 5 → Paragem 4 → Paragem 3 → Paragem 2 → <i>Picking</i>	<i>Picking</i> → Pintura → Paragem 5 → Paragem 4 → Paragem 3 → Paragem 2 → <i>Picking</i>
Distância total percorrida (m)	562	562
Tempo de condução (s)	298	285
Tempo de ciclo (s)	978	981
Tempo de espera (s)	13	0

Apesar da implementação da ferramenta não ter implicado nenhuma melhoria em termos da rota efectuada, ou seja, na distância percorrida pelo comboio logístico, podemos verificar que os resultados práticos não diferem dos resultados teóricos em valor considerável. As diferenças entre os valores cronometrados e obtidos na utilização da ferramenta estão relacionadas com factores incontroláveis tais como a taxa produtiva de cada colaborador, assim como na variabilidade no tempo de espera resultante do congestionamento entre veículos nos corredores das instalações fabris. Tendo em conta estes resultados, podemos inferir que a ferramenta poderá ser útil numa futura utilização com vista ao planeamento de um determinado circuito. Desta forma obtém-se o melhor percurso possível para cada circuito em implementação.

Capítulo IV – Conclusões

O sector automóvel é um dos sectores mais afectados pela crise mundial vivida no decorrer dos últimos anos. Contudo, assim como o TPS nasceu de problemas económicos e sociais, também hoje devemos transformar dificuldades em oportunidades. Para isso um espírito de equipa consistente e global, a capacidade de aceitação da mudança e a procura pela melhoria constante são factores preponderantes na sustentabilidade de qualquer organização. A redução de desperdícios, o foco na criação de valor e o aumento do desempenho organizacional sem que este facto tenha como consequência um aumento considerável nos custos, constituem os grandes desafios actuais das empresas. Desta forma, qualquer organização que pretenda melhorar a eficiência dos processos produtivos, optimizando a utilização de recursos, deve fazê-lo de forma gradual, através do estudo dos procedimentos e métodos de trabalho adoptados.

O contacto com a realidade industrial proporcionada por esta fase académica é essencial, na medida em que representa a ligação entre os conceitos teóricos e a aplicação dos mesmos no contexto organizacional. A execução do projecto proporcionou a aquisição de novos conhecimentos e experiências na área *Lean* e a compreensão do funcionamento global da empresa, assim como mais especificamente dos processos logísticos não só como unidade, mas também na relação envolvente com todas as outras áreas departamentais. Apesar de complexo, este projecto foi também um bom desafio traduzindo-se numa experiência positiva ao permitir uma aprendizagem a vários níveis.

A ferramenta desenvolvida no âmbito deste projecto de estágio pode ser considerada uma ferramenta *Lean*, pois reduz o desperdício no que concerne aos circuitos de abastecimento internos na empresa, quer seja em termos de tempo despendido no abastecimento atempado de componentes às linhas de montagem, como também em número de veículos utilizados e consequentemente número de colaboradores que os operam. Apesar de se ter sido aplicada a um número limitado de casos, a ferramenta poderá ser útil para qualquer outro projecto com vista não só à optimização mas também no planeamento de novos circuitos.

A ferramenta poderá não possuir a facilidade de utilização pretendida no início deste projecto, dado que se trata de uma abordagem ainda pouco dominada pelos colaboradores na empresa. O planeamento manual poderá continuar a ser mais fácil e rápido no âmbito do utilizador que não esteja familiarizado a este tipo de metodologia e *software* de optimização. O facto da discussão e aceitação de propostas apresentadas ser um processo demorado, que tem que ser revisto a nível global e a resistência à mudança

constituem os grandes limitadores deste tipo de projectos. Em várias situações podemos inferir que a sabedoria, experiência e conhecimento das pessoas não é suficiente para uma boa implementação de processos. Por este motivo a tecnologia constitui muitas vezes uma boa alternativa, principalmente quando não acarreta custos adicionais na sua utilização e neste caso na aquisição de licenças.

Apesar da abordagem à optimização de rotas ser na generalidade externa ou seja entre fornecedores e clientes, conclui-se que este tipo de problemas pode também ser aplicado internamente, sendo possível obter melhorias significativas no abastecimento de componentes às linhas de produção ou montagem, como demonstrado neste projecto. A pesquisa efectuada ao longo do estágio permitiu encontrar algum *software* de simulação tal como o *Pull Simulator*, que representa uma ferramenta didáctica e experimental que pretende comparar o abastecimento de componentes utilizando diferentes veículos. Esta solução é complementar à ferramenta desenvolvida neste projecto, contudo não a substitui.

Conclui-se finalmente que o envolvimento de todas as pessoas afectadas e a participação dos colaboradores directos é um factor fulcral para o sucesso de qualquer projecto, visto que são estes que melhor conhecem os processos em actividade numa organização.

Futuros Desenvolvimentos

Nos dias correntes a flexibilidade deve ser proporcional ao ritmo de mercado. Para isso a melhoria contínua é um conceito que não deve ser caracterizada por um horizonte temporal. Torna-se essencial apostar na valorização de cada colaborador, tanto na sua função particular como também no envolvimento em toda a organização no que diz respeito aos processos de melhoria. É necessário um total e diário acompanhamento das situações no terreno, assim como procurar, planejar testar e avaliar novas soluções ou alternativas.

A logística interna deve procurar soluções mais criativas e inovadoras para os problemas do dia a dia, na redução de *stocks*, optimização do fluxo de materiais, consumo de recursos, planeamento produtivo e criação de valor. Exemplo destas soluções é a relação e comunicação com os fornecedores no que diz respeito à negociação do número de componentes por caixa, não deixando de ter em conta as

limitações impostas pelas normas do HSE, assim como o recurso a novas tecnologias de optimização, no que diz respeito a processos e na avaliação de alternativas.

Deve salientar-se de forma conclusiva a importância da cooperação entre o Ensino Superior e a actividade industrial através de projectos que valorizem o conhecimento do aluno e que ao mesmo tempo contribuam para a melhoria da actividade organizacional por parte das empresas portuguesas.

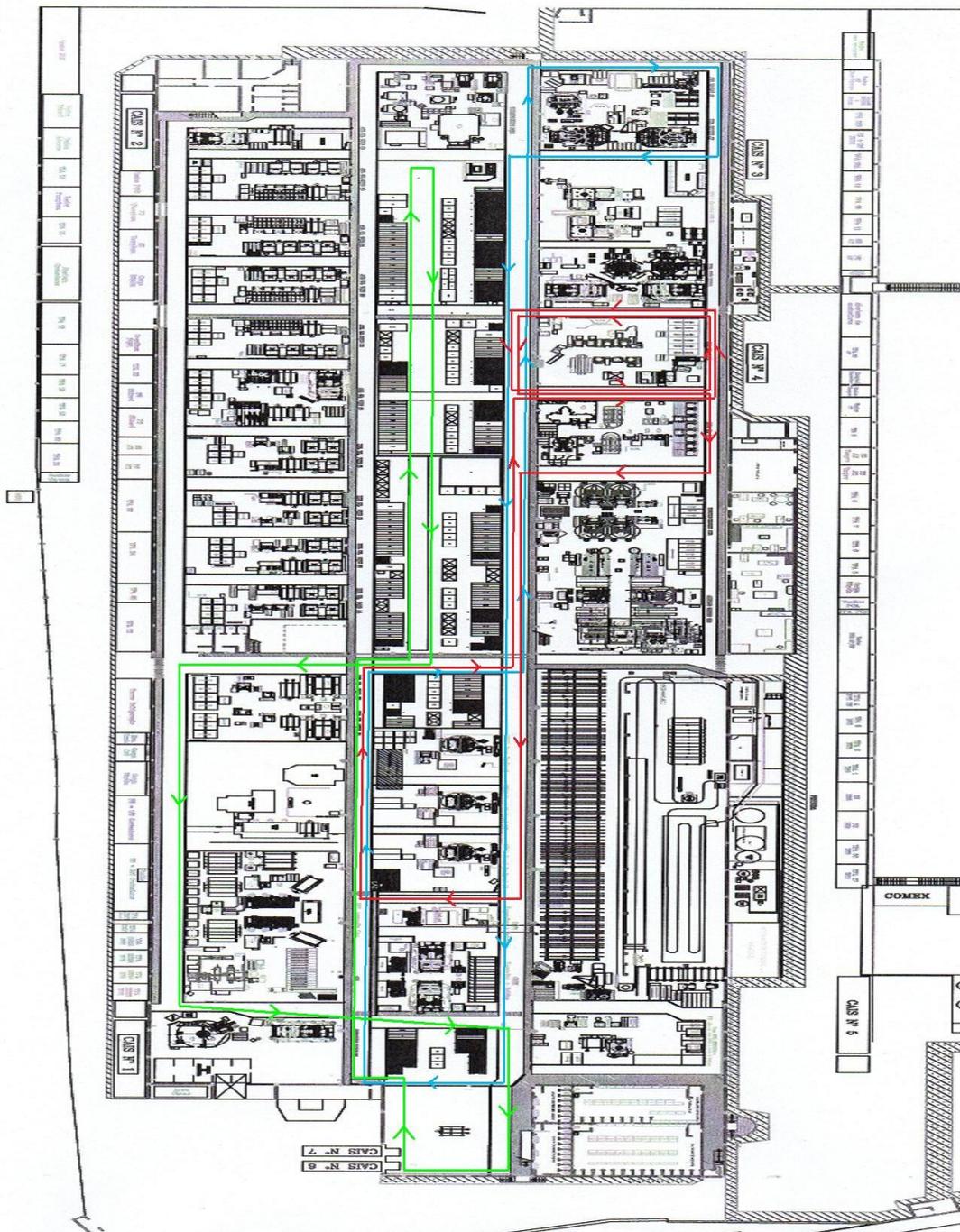
Bibliografia

- Alvarez, R., Antunes, J. (2001). Takt-Time: Conceitos e Contextualização dentro do sistema de Toyota de produção, *Gestão & Produção*, V. 8, N. 1, pp. 1-18.
- Arenales, M., Armentano, V., Morabito, R., Yanasse, H. (2007). *Pesquisa Operacional*, Elsevier Editora Ltda., Brasil.
- Ballou, R. (2004). *Business Logistics / Supply Chain Management*, 5th Ed. Pearson / Prentice-Hall.
- Bräysy, O., Gendreau, M. (2005). Vehicle Routing Problems with Time Windows, Part II: Metaheuristics. *Transportation Science*, Vol. 29, No. 1, pp- 119-139.
- Carvalho, J. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Edições Silabo.
- Christopher, M. (1998). *Logistics and Supply Chain Management*, Prentice Hall, England.
- Cordeau, J., Laporte, L., Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operation Research Society*, S2, pp. 928-936.
- Costa, R., Miranda, G. (2006), *Integração da Logística no Abastecimento da Produção*, Universidade de Taubaté, Brasil.
- Dantzig, G., Ramser, J. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 80-91.
- Dror, M., Trudeau, P. (1989). Savings by Split Delivery Routing. *Transportation Science*, Vol. 23, No. 2, pp. 141-145.
- Goldberg, M., Luna, H. (2005). *Otimização Combinatória e Programação Linear*. Editora Campus.
- Golden, B., Raghavan, S., Wasil, E. (2007). The Vehicle Routing Problem Latest Advances and New Challenges, *Springer Science + Business Media*, LLC.
- Guéret, C., Prins, C., Sevaux, M., (2000). *Applications of optimization with X-Press MP*, Editions Eyrolles, France.
- Hillier, S., Lieberman, G. (2005). *Introduction to Operations Research*, 8th Ed. Mcgraw-Hill.

- Laporte, G., Louveaux, F. (1998). Solving Stochastic Routing Problems with the Integer L-Shaped Method. *Fleet Management and Logistics*, pp. 159-167;
- Moura, A., Vieira, André (2013). Modelo de programação linear inteira para o problema de planeamento de rotas com entregas e recolhas. XVI Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional. Universidade de Aveiro / Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra
- Nomura, J., Takakuwa, S. (2006). Optimization of a number of containers for assembly lines: the fixed-course pick-up system. Japan, Nagoya University.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System – Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Pinto, J. (2009). *Toyota Production System, a filosofia de um vencedor, Comunidade Lean Thinking*
- Productivity Press Development Team (2002). *Kanban for the ShopFloor*, Productivity Press, New York;
- Shimokawa, K., Fujimoto, T. (2009). The birth of *Lean – Conversations with Taiichi Ohno, Eiji Toyoda and other figures who shaped Toyota management*. The Lean Enterprise Institute;
- Taha, H. (2010). *Operations Research : An Introduction*, 9th Ed. Prentice Hall;
- Tansini, L., Viera, O., New measures of proximity for the assignment algorithms in the MDVRPTW. *Journal of the Operational Research Society*, 57, pp. 241-249
- Womack, J., Jones, D. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, 2nd Ed. Free Press.
- Womack, J., Jones, D., Roos, D. (1990). *The Machine that changed the World*. Free Press.
- *Xpress-MP Essentials* (2002). Dash Optimization, 2^a Ed.

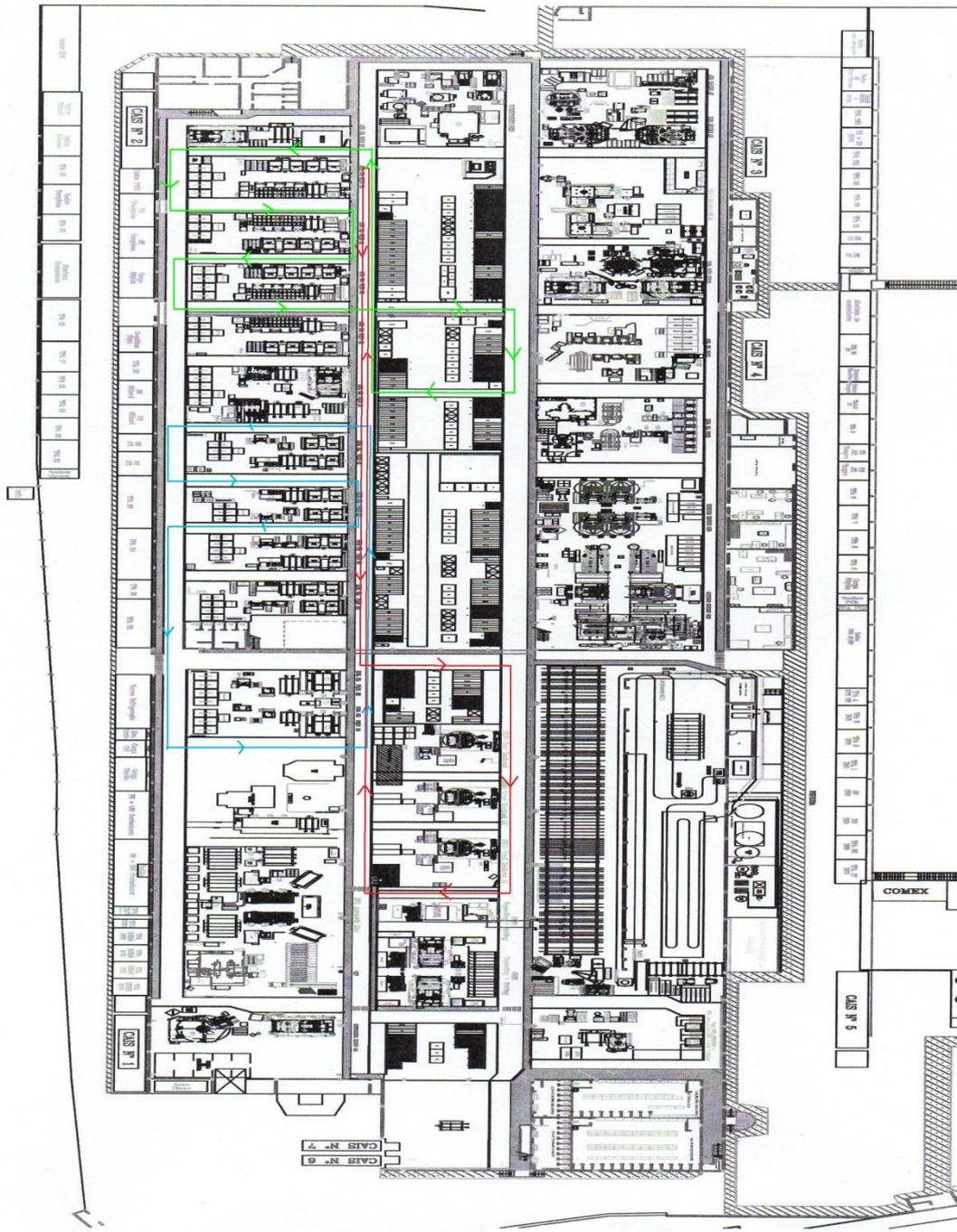
ANEXOS

1 - Rota dos circuitos logísticos internos (1)



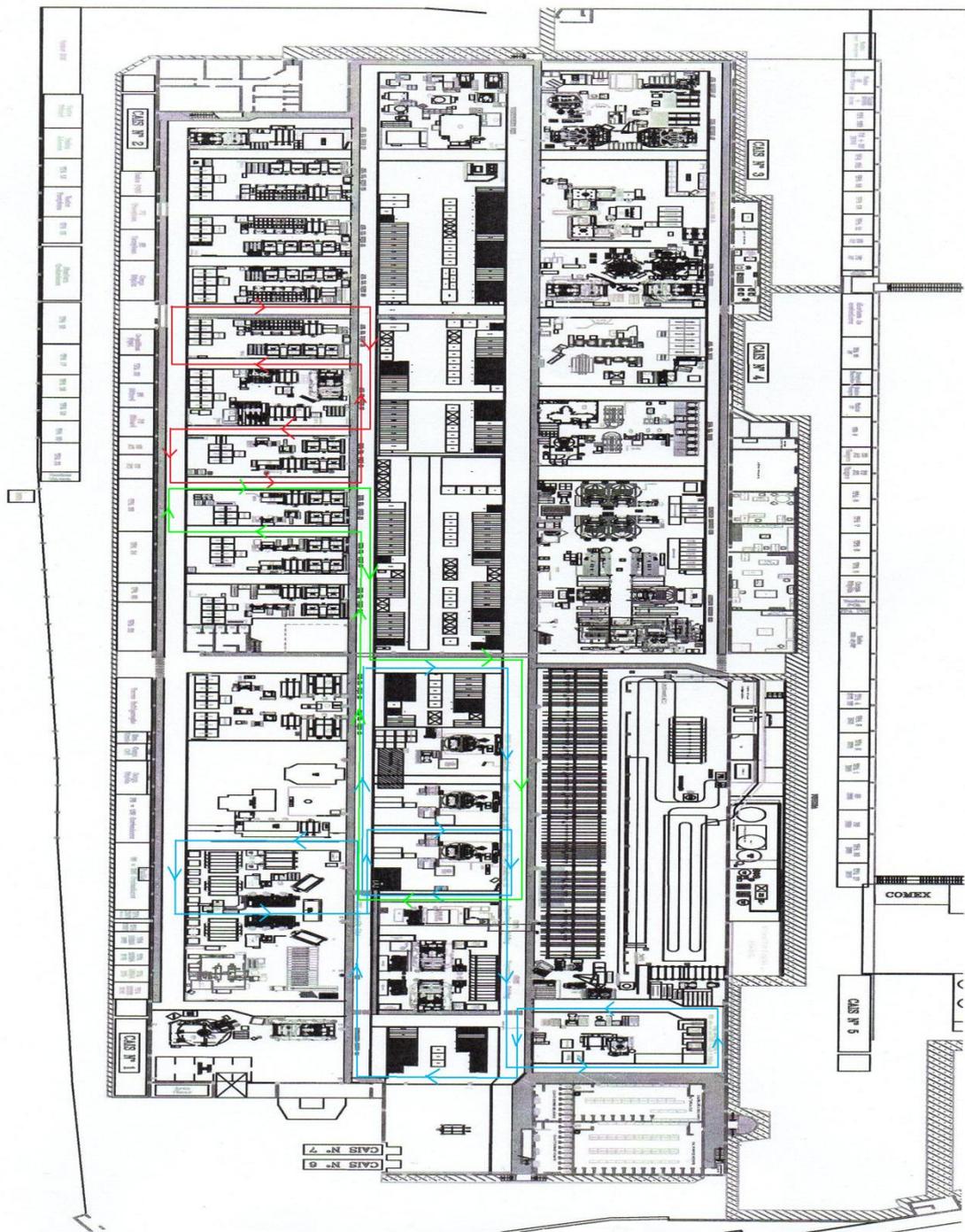
Cor	Designação do circuito	PT Nº	NOTAS
	A7 (Componentes + Pintura)	1	-
	PQ35 (Componentes + Pintura)	10	-
	TGV1 / TGV2	23/24	-

2- Rota dos circuitos logísticos internos (2)



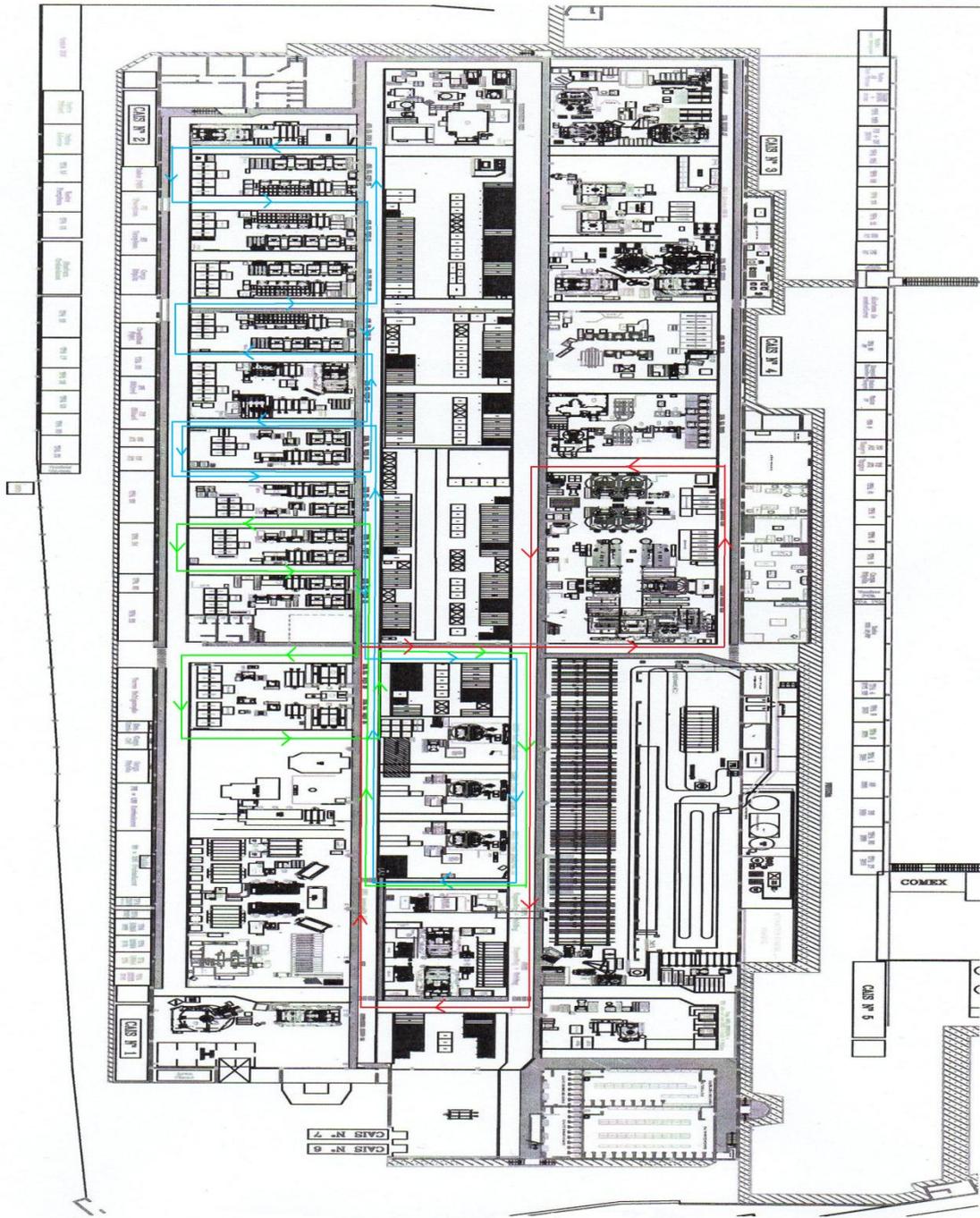
Cor	Designação do circuito	PT Nº	NOTAS
	PQ25 AF Componentes 10A	3	-
	Pintura PQ25 AF L1,2,3 e 6	11	-
	PQ25 AF Componentes 9A	7	-

3- Rota dos circuitos logísticos internos (3)



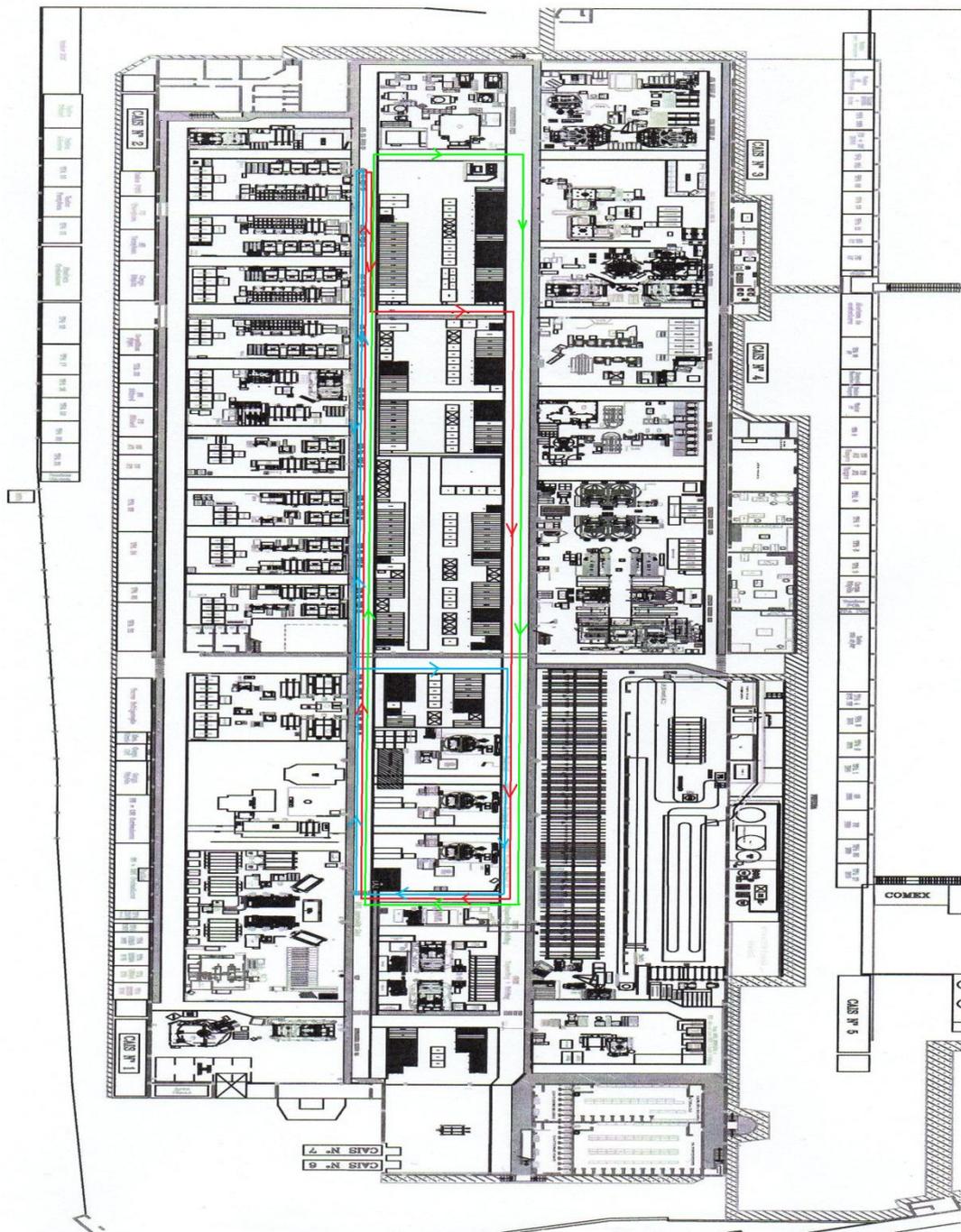
Cor	Designação do circuito	PT Nº	NOTAS
	M3M4	Sem ID	-
	PQ25 AF Componentes 9B	8	-
	Pintura PQ25 EF L1,2 AF L5	12	-

4- Rota dos circuitos logísticos internos (4)



Cor	Designação do circuito	PT Nº	NOTAS
	PQ25 Soldadura AF L4,7 Pintura AF L4 EF L6	6	-
	Pintura B58 + TEF Componentes B58	5	-
	PQ25 Pintura EF L3,4 e 5	13	-

5- Alterações de rota no circuito Pintura PQ25 AF L1,2,3 e 6



Designação do circuito	PT Nº	Cor	NOTAS
Pintura PQ25 AF L1,2,3 e 6	11		Circuito Original
			1ª Alteração ao circuito
			2ª Alteração ao circuito

6- Quadro de seguimento de horário (Projecto M3M4)

faurecia								Quadro de seguimento horário do comboio M3M4							
1º Turno															
CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações	CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações	CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações	CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações
1	6H15			11	10H25			12	10H55			13	11H25		
2	6H45			12	10H55			13	11H25			14	11H55		
3	7H15			13	11H25			14	11H55			15	12H25		
4	7H45			14	11H55			15	12H25			16	12H30		
5	8H15			15	12H25			16	12H30			17	13H00		
6	8H45			16	12H30			17	13H00			18	13H25		
7	9H00			17	13H00			18	13H25			19	13H55		
8	9H10			18	13H25			19	13H55			20	14H25		
9	9H25			19	13H55										
10	9H55			20	14H25										
2º Turno															
CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações	CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações	CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações	CICLO	Horário Previsto	Horário de saída	Observações
1	14H45			11	18H55			12	19H25			13	19H30		
2	15H15			12	19H25			13	19H30			14	20H00		
3	15H45			13	19H30			14	20H00			15	20H25		
4	16H15			14	20H00			15	20H25			16	20H55		
5	16H45			15	20H25			16	20H55			17	21H25		
6	17H00			16	20H55			17	21H25			18	21H55		
7	17H10			17	21H25			18	21H55			19	22H25		
8	17H25			18	21H55			19	22H25			20	22H55		
9	17H55			19	22H25										
10	18H25			20	22H55										Abastecimento das Carruagens do PT Abastecimento Peq. Comp.
		Se o operador cumprir as horas assinaladas no quadro, registar com um visto a verde													
		Se o operador não cumprir as horas assinaladas no quadro registar com um visto a vermelho e indicar o motivo nas observações													

8- Tabela de combinação de tarefas – Circuito “Coquilhas PQ25” – Cenário 2

faurecia										TABELA DE COMBINAÇÕES DE TAREFAS (CENÁRIO 2)									
DESCRIÇÃO:	OPERADOR N°:	TAKT TIME:	GAP Leader:	Supervisor:	FES / PC&L														
Carrinho de abastecimento	ANALISADO POR:	CONF. LINHA:	N																
REFERÊNCIA:	NOME OPERADORES:	NO. REV. / DATA:	/ /	/ /	/ /														
N°	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES	TEMPO em seg.	MANU	AUTO	DESLOC.														
0	MP.: Avarque do circuito Cesicas para a área de remolagem das coquilhas	10	-	-	-														
10	MP.: Reembalagem das coquilhas PQ25 nas caixas metálicas	220	-	-	-														
20	MP.: Abastecimento das coquilhas PQ25 (2 caixas) no carrinho Cesicas para a L3 PQ25 AF	10	-	-	25														
30	MP.: Abastecimento das coquilhas PQ25 na L3 e L4,5 e recolhe de vazios Cesicas para a zona de remolagem das coquilhas	60	-	-	25														
40	MP.: Deixar caixas vazias e abastecer coquilhas (2 caixas) para o carrinho Cesicas para a L1 PQ25 AF	30	-	-	20														
50	MP.: Abastecimento das coquilhas PQ25 na L1 e L2 e recolhe de vazios Cesicas para a zona de remolagem das coquilhas	65	-	-	10														
60	MP.: Deixar caixas vazias e abastecer coquilhas (1 caixa) para o carrinho Cesicas para a L6 PQ25 AF	25	-	-	5														
70	MP.: Abastecimento das coquilhas na L5 e recolhe de vazios Cesicas para a zona de remolagem das coquilhas	20	-	-	5														
80	MP.: Deixar vazios Cesicas para a zona de montagem de contentores vazios	5	-	-	50														
90	MP.: Monte contentores vazios Cesicas para o arranque do circuito	1540	-	-	50														
TOTAL_1		1985			190														
TAREFAS PERIÓDICAS		TEMPO PEÇA (seg)																	
TOTAL_2		0,0																	
TOTAL por volta (Total_1 + Total_2)		2175																	

TEMPOR OPERAÇÃO

MANU: ■■■■ AUTO: - - - - DESLOCAÇÕES: ~~~~~ ESPERAS: □

9- Carta Kanban (frente e verso)

Embalagem		Quantidade	Picking
CP 600x400x175		500	
Refa	8320 716		PQ25 EF
	REBITE EF 2P		
KANBAN ABASTECIMENTO			Carruagem
Comboio N°	Picking		
10	PQ25 EF		

Refa
8320 716
EU SOU UMA CARTA KANBAN
SE NÃO ESTOU EM :
- CAIXA
- LANÇADOR
ENTÃO ESTOU
PERDIDA!!!
AGRADEÇO A MINHA
DEVOLUÇÃO AO
SUPERVISOR

10 - Quadro de seguimento geral e gráfico de resultados

Quadro de Seguimento Geral - Circuitos Internos "Petit-Train"

PROJECTO															
	A7 Comp. + Pint.		PQ35 Comp. + Pint.		B58 Comp. + Pint.		PQ25 Coquilhas		PQ25 AF 9A		PQ25 AF 9B		PQ25 EF 10A		
	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	
NOK	09:15 - 09:30	3	10:25 - 10:40	2	09:45 - 10:00	3	12:25 - 12:45	1	09:10 - 09:30	2	06:40 - 06:50	3	11:05 - 11:20	1	
	11:10 - 11:25	1					13:20 - 13:40	3			09:30 - 09:40	3			
	12:45 - 13:00	1						3			12:15 - 12:25	4			
NOK	PQ25 EF L3,4,5		PQ25 AF L1,2,3,6		PQ25 EF L1,2 AF L4,5		M3M4 / B78 Comp.		TGV1		TGV2		TGV3		
	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	Ciclo	Motivo	
	06:40 - 06:50	1	09:10 - 09:30	1	09:15 - 09:30	1	09:45 - 10:00	1	11:05 - 11:20	1	12:25 - 12:45	1	07:30 - 07:40	1	
	09:30 - 09:40	2			11:10 - 11:25	2					13:20 - 13:40	4			

Motivos:	
1 -	Falta de componentes no picking
2 -	Atraso no abastecimento por parte do operador
3 -	Falta de soldadura
4 -	Falta de material para pintura

Data: ___/___/___

Responsável: _____

