

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Paulo Daniel Sousa Oliveira

**Análise do impacto do *layout* no
abastecimento de materiais**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Paulo Daniel Sousa Oliveira

**Análise do impacto do *layout* no
abastecimento de materiais**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho realizado sob orientação da
Professora Doutora Maria Sameiro Carvalho
e do
Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias

DECLARAÇÃO

Nome: Paulo Daniel Sousa Oliveira

Endereço eletrónico: paulo.oliveira.1092@gmail.com

Telefone: +351 917436259

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14098961

Título da dissertação: Análise do impacto do *layout* no abastecimento de materiais

Orientadores:

Professora Doutora Maria Sameiro Carvalho

Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias

Ano de conclusão: 2016

Mestrado em Engenharia de Sistemas

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA DISSERTAÇÃO.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à orientadora desta dissertação, a professora Sameiro Carvalho, por toda a ajuda e disponibilidade demonstrada ao longo destes 12 meses. Sem dúvida que o seu conhecimento e experiência fizeram com que este projeto fosse melhor.

Ao meu coorientador, professor Luís Dias, pela partilha de conhecimento e conselhos dados ao longo deste projeto.

Ao meu orientador na *Bosch Car Multimedia*, o Eng^o André Fernandes, pela orientação, apoio e disponibilidade.

Aos meus colegas Sérgio Vicente, Renata Miranda e Sofia Abreu, pela ajuda e integração que me proporcionaram desde o primeiro dia, o que me permitiu crescer bastante a nível profissional.

A todos os colaboradores da empresa que, direta ou indiretamente, tiveram influência na realização deste projeto, o meu muito obrigado.

Aos meus colegas do GJD, pela amizade, paciência, apoio e motivação demonstrada ao longo destes 12 meses.

À minha família, pela motivação, carinho e apoio dado durante todo o meu percurso como estudante.

Por fim, e mais importante, aos meus pais, por me terem dado a oportunidade de estudar e ter um futuro melhor, assim como os valores e princípios passados.

A todos, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este projeto de dissertação, desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia de Sistemas – Ramo Logística, pertencente ao Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho, pretende estudar o impacto que, em ambiente industrial, os layouts das linhas de produção têm no abastecimento de materiais. Para o estudo desse impacto foram utilizadas ferramentas de otimização e aplicados princípios *Lean*.

Este projeto iniciou-se com uma revisão sobre os conceitos de Logística de um ponto de vista geral, abordando depois o conceito de Logística Interna, assim como uma revisão sobre métodos de otimização.

Foi feita uma análise do sistema de abastecimento às linhas de produção a partir dos supermercados, tendo sido identificados alguns problemas, nomeadamente uma falta de organização no que toca ao planeamento de abastecimento, embora a empresa tenha uma norma que define os procedimentos que devem ser adoptados pelos operadores que garantem o abastecimento das linhas. A maior parte dos problemas estava associada à falta de integração da informação relevante para a implementação do abastecimento.

Com o projeto foi desenvolvida uma ferramenta de suporte em Excel que integra todas as informações relevantes ao planeamento das operações de abastecimento permitindo uma maior eficácia do abastecimento garantindo os padrões e normas da empresa. Adicionalmente foram desenvolvidos modelos de otimização para determinar as rotas de menor custo a serem usadas pelos operadores logísticos que abastecem as linhas.

O trabalho e as ferramentas desenvolvidas permitem à empresa um melhor planeamento, incluindo a identificação dos recursos humanos necessários ao cumprimento dos planos operacionais, garantindo que as linhas de produção não sofrem paragens por falta de abastecimento de material.

Palavras-Chave: Logística, Logística Interna, Otimização, Layout de Produção, Abastecimento de material

ABSTRACT

This dissertation project, developed under the Master in Systems Engineering - Logistics, as part of the Department of Production and Systems, University of Minho, aims to study the impact that, in industrial environment, factory layout has in material supply. In this study were used optimization tools and applied Lean principles.

This project began with a review of the logistics concepts from a general point of view, and also the concept of Internal Logistics, as well as a review of optimization methods.

It was made an analysis of the supply system from the supermarket to the final assembly lines, where some problems were identified, including a lack of organization in relation to the supply planning, although the company has a standard that defines the procedures to be adopted by operators to guarantee the supply to the production lines. Most of the problems were associated with lack of integration of relevant information to the supply implementation.

With this project, a support tool in Excel was developed, that integrates all relevant information to the planning of supply operations, allowing a more efficient supply, ensuring the standards of the company. In addition, route optimization models were developed to determine the lowest cost routes to be used by the supply logistics providers.

This work and the developed tools enable the company to a better planning, including the identification of human resources needed to implement the operational plans, ensuring that production lines never stop due to lack of material supply.

KEYWORDS: Logistics, Internal Logistics, Optimization, Factory Layout, Material Supply

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos da Dissertação	3
1.3 Estrutura da Dissertação	4
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Logística	5
2.1.1 Logística Interna	6
2.2 <i>Just in time</i>	8
2.2.1 Milkrun Interno	10
2.3 Problema do caixeiro viajante (TSP)	12
2.4 Problemas de encaminhamento de veículos (VRP)	13
2.5 Conclusão.....	15
3. Apresentação da empresa.....	17
3.1 O grupo Bosch em Portugal.....	17
3.2 Apresentação da <i>Bosch Car Multimedia Portugal</i> (BrgP).....	19
3.2.1 Cadeia de Abastecimento	19
3.2.2 Portfólio atual de produtos	21
3.2.3 Organização da Empresa	26
4. Caracterização da Situação atual e definição do problema	27
4.1 <i>Point of Use Provider</i> (PoUP)	28
4.1.1 Definição.....	28
4.1.2 Objetivos	28

4.1.3	Benefícios	29
4.1.4	Ponto de Uso (<i>Point of Use</i>)	29
4.1.5	Tarefas e Organização	30
4.2	Implementação do PoUP	30
4.2.1	Preparação.....	30
4.2.2	Fluxo de informação e material	32
4.2.3	Definição de Tarefas	36
4.2.4	Definição de Ciclo de Abastecimento.....	37
4.2.5	Cálculo de Stocks nos Centros de Trabalho.....	40
4.2.6	Implementação e Otimização.....	40
4.2.7	Considerações.....	41
4.3	Objeto de estudo	41
4.3.1	Funções do PoUP	41
4.3.2	Área de Estudo	45
5.	Proposta de Solução	49
5.1	Ferramenta de Suporte na Definição do Trabalho do PoUP	49
5.2	Definição da Estratégia de Abastecimento.....	56
5.2.1	Definição de Pontos de Paragem	57
5.2.2	Determinação das Distâncias Mínimas entre Pontos de Paragem	59
5.3	Identificação dos produtos produzidos em cada linha.....	61
5.4	Determinação de quantidades a abastecer e análise de capacidade do meio de transporte. 62	
5.5	Determinação de Rotas de Abastecimento às Linhas de Produção	66
5.5.1	Rota para Linhas 1 e 2	67
5.5.2	Rota para Linha 3.....	69
5.5.3	Rota para Linhas 4 e 5	70
5.6	Análise dos resultados.....	72
5.7	Conclusões	73
6.	Conclusões e Trabalho Futuro	75
6.1	Limitações na realização do Projeto.....	76

6.2	Sugestões para Trabalho Futuro	76
	Bibliografia	77
	Anexo I – Distâncias entre Pontos de Paragem.....	81
	Anexo II – Optimização do Modelo no Excel.....	82
	Anexo III – Lista de Peças dos Produtos da Linha 3 (Produto A)	83
	Anexo IV – Lista de Peças dos Produtos da Linha 3 (Produto B)	84
	Anexo V – Lista de Peças dos Produtos da Linha 3 (Produto C)	85
	Anexo VI – Lista de Peças dos Produtos da Linha 3 (Produto D)	86
	Anexo VII – Dados de todos os materiais.....	87
	Anexo VIII – Quantidades de caixas necessárias por ciclo e Ocupação Volumétrica da Linha 5.....	88
	Anexo IX – Quantidades de caixas necessárias por ciclo e Ocupação Volumétrica da Linha 3.....	89
	Anexo X – Quantidades de caixas necessárias por ciclo e Ocupação Volumétrica das Linhas 1 e 2	90
	Anexo XI – Código utilizado para determinação de rota para linha 3	91
	Anexo XII – Código utilizado para determinação de rota para linhas 4 e 5.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trinómio das dimensões da Logística (Carvalho et al., 2012)	6
Figura 2 - Logótipo Bosch	17
Figura 3 - Representação do Grupo Bosch em Portugal	18
Figura 4 - Representação da Bosch Car Multimedia Portugal	19
Figura 5 - Dados de Produção Bosch em 2015	20
Figura 6 - Clientes Bosch	20
Figura 7 - Navigation Systems	21
Figura 8 - Instrumentation Systems	21
Figura 9 - Next Infotainment Gen	22
Figura 10 - Steering Angle Sensor	22
Figura 11 - House-hold Electronics	23
Figura 12 - Control Units Systems	23
Figura 13 - Planta da Fábrica de Braga	23
Figura 14 - Representação do Fluxo de Materiais na Fábrica	24
Figura 15 - Representação do Fluxo de Materiais na Fábrica (Área SMT)	24
Figura 16 - Representação do Fluxo de Materiais no Processo de Produção	25
Figura 17 - Organização Bosch Car Multimedia Portugal	26
Figura 18 - Organização Departamento TEF	26
Figura 19 - Representação do layout das linhas	27
Figura 20 - Esquematização das tarefas do PoUP	30
Figura 21 - Time Data Card for Logistics	37
Figura 22 - Processo para determinar tempo de ciclo	38
Figura 23 - Exemplo de determinação do tempo de ciclo	39
Figura 24 - Exemplo de Supermercado	42
Figura 25 - Exemplo de Rampa de Colocação/Recolha de caixas	42
Figura 26 - PDA para leitura de etiquetas	43
Figura 27 - Local de Separação de Caixas Vazias	44
Figura 28 - Exemplo de Quadro de Construção de Lotes	44
Figura 29 - Exemplo de Carruagem de Material Volumoso	45

Figura 30 - Representação das Linhas de Produção	46
Figura 31 - Representação da Rota desempenhada pelo PoUP2	47
Figura 32 – Ferramenta de Suporte (Informação de Quantidades)	49
Figura 33 – Ferramenta de Suporte (Dados das Linhas)	51
Figura 34 - Ferramenta de Suporte (Tempos de Ciclo)	51
Figura 35 - Ferramenta de Suporte (Lotes)	52
Figura 36 - Ferramenta de Suporte (Volumoso)	52
Figura 37 – Ferramenta de Suporte (Tempos de Atividade)	53
Figura 38 - Ferramenta de Suporte (Tipos de Caixas)	54
Figura 39 – Ferramenta de Suporte (Deslocamentos)	55
Figura 40 - Ferramenta de Suporte (Layout)	55
Figura 41 - Representação dos Locais de Paragem	56
Figura 42 - Representação da área possível de circulação do PoUP	57
Figura 43 - Representação dos Pontos de Paragem no Layout	58
Figura 44 - Representação dos Cruzamentos entre Pontos de Paragem	58
Figura 45 - Ilustração do caminho mais curto entre 1 e 54	61
Figura 46 - Precedência de abastecimento nas rampas	67
Figura 47 - Rota obtida para Linhas 1 e 2	69
Figura 48 - Representação da rota nas linhas 1 e 2	69
Figura 49 - Rota obtida para a Linha 3	70
Figura 50 - Representação da rota na linha 1	70
Figura 51 - Rota Obtida para linhas 4 e 5	71
Figura 52 - Representação da rota nas linhas 4 e 5	71
Figura 53 - Documento de Suporte (Trabalho Standard)	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das distâncias entre os vários pontos.....	59
Tabela 2 - Lista de Peças Usadas nas Linhas 4 e 5 para produzir o produto A	62
Tabela 3 - Tipos de caixas utilizadas para abastecimento de materiais.....	63
Tabela 4 - Dados de Produção das Linhas.....	63
Tabela 5 - Número estimado de caixas por ciclo necessárias na Linha 4.....	65
Tabela 6 - Valores de Ocupação Volumétrica na Linha 4.....	66
Tabela 7 - Resultados obtidos das rotas	72

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

EPEI – Every Part Every Interval

ESD – Electro-Static Discharge

FIFO – First In First Out

IS – Instrumentation Systems

MR - Milkrun

OEE – Overall Equipment Effectiveness

PFEP – Plan For Every Part

PN – Part Number

PoU – Point of Use

PoUP – Point of Use Provider

SMT – Automatic Insertion Area

SNP – Standard Number of Parts

TSP – Travelling Salesman Problem

VRP – Vehicle Routing Problem

WIP – Work In Process

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A presente dissertação foi realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia de Sistemas e desenvolvida em ambiente industrial na empresa do setor automóvel *Bosch Car Multimedia*.

Nos dias de hoje, a tecnologia é uma área onde observamos uma constante evolução, de tal modo que o Homem se torna dependente desta. A maior prova será o surgimento dos *smartphones*, que são como um pequeno computador onde é possível encontrar o tipo de informação que necessitamos. Outro ramo onde a tecnologia se tem notabilizado é o automóvel, onde cada vez mais surgem soluções, projetadas com o objetivo de melhorar a segurança e conforto da condução.

Segundo Niminet(2013), em 2012 a procura por novos automóveis atingiu, a nível europeu, o nível mais baixo em quase vinte anos, principalmente devido à baixa de alguns mercados como o Italiano (-19.9%), Francês (-13.9%) ou Espanhol (13.4%). Este declínio das vendas do ramo automóvel, que se vem evidenciando cada vez mais desde 2008, é o resultado da crise financeira dos últimos anos. Tal situação torna este mercado um dos mais sensíveis a nível económico, levando a que os produtores tenham de reduzir custos, assim como produzir soluções apelativas aos clientes, entre as quais se encontra a inovação tecnológica.

Este aumento e variabilidade de soluções tecnológicas constituem um desafio para as empresas de produção, que têm de operar num ambiente dinâmico, que está dependente das condições de mercado, exigências do cliente, *design* do produto e tecnologia de processamento (Elmaraghy, Algeddawy, Samy, & Espinoza, 2014). De acordo com Samy et al.(2015), os produtores respondem a estas variações através do controlo da customização e personalização do produto, volume e lead-time de produção, assim como custo e qualidade do produto.

Perante estas variabilidades de procura e variantes de produto, a necessidade de construir ou reconfigurar um novo *layout* de produção torna-se evidente. Um bom *layout* contribui para a eficiência de operações e pode reduzir até 50% o total de despesas de operação (Hasan, Sarkis, & Shankar, 2012) Segundo Drira et al.(2007), um *layout* de produção é uma combinação de tudo o que é necessário para produzir bens ou entrega de serviços.

Saif et al.(2002) defendem que os *layouts* devem ser o mais flexíveis e fáceis de configurar possível. Com um aumento de flexibilidade, modularidade e reconfiguração, as empresas evitam o

redesenho dos seus *layouts* sempre que as necessidades do mercado assim o exigem, pois a criação de um novo *layout* envolve um custo potencialmente elevado, assim como uma paragem da produção. Para além de uma minimização de custos, pretende-se que um *layout* permita de igual modo minimizar transportes, assim como stocks e tempos de ciclo, o que contribui para uma maior fluidez do processo. Prasad et al. (2014) acrescentam ainda que o *layout* deve ser projetado com o objetivo de utilizar espaço de forma eficiente, além de que deve ter como uma das suas prioridades básicas o operador, providenciando-lhe conveniência, segurança e conforto.

Ao longo dos anos vêm surgindo várias técnicas de análise e otimização de *layouts*, tais como algoritmos e programação dinâmica (Kia, Khaksar-Haghani, Javadian, & Tavakkoli-Moghaddam, 2014) (Prasad et al., 2014), os quais têm mostrado resultados favoráveis à sua utilização. De acordo com Shariatzadeh et al. (2012), o teste e validade dos *layouts* pode ser realizado através de soluções computacionais, como fábricas e produção digitais, onde é possível verificar e otimizar a produção de produtos reais. Assim sendo, o uso de *software* torna-se essencial e tem um papel significativo na área, pois nele consegue-se efetuar uma rápida modificação do *layout*, assim como a visualização, partilha e discussão de informação entre todas as partes envolvidas no processo, de modo a tirar vantagem do conceito de fábrica digital.

Para uma melhor análise do impacto que um *layout* tem na performance de um sistema, certos autores defendem que se deve utilizar simulação computacional (Azadivar & Wang, 2000), pois permite a concepção de um modelo mais detalhado de modo a avaliar os indicadores chave de desempenho. No entanto, esses mesmos autores consideram que a simulação computacional não se submete facilmente a processos de otimização e que deve ser utilizada em conjunto com algoritmos genéricos, concluindo que esta combinação é capaz de produzir soluções ótimas ou quase ótimas. Também Dengiz et al. (2016) concluíram que o uso de métodos analíticos combinados com técnicas de simulação produzem resultados válidos e próximos da realidade, o que contribui para o aumento de produtividade da empresa.

Para aqueles que defendem a utilização de modelos de otimização de *layouts* em conjunto com a simulação, a dúvida que surge é qual deles aplicar em primeiro lugar, isto é, se um estudo do *layout* deve preceder a concepção de um modelo de simulação ou vice-versa, pontos estes que são amplamente discutidos (Aleisa, 2005). Uns autores (Grajo, 1995) defendem que a concepção de um *layout* e posterior simulação do mesmo melhora entre 10 a 15% os níveis de trabalho em processo (*Work in Process - WIP*) ou custos de manuseamento de material (uma aplicação que, segundo Aleisa (2005) permite poupar tempo, mas que, devido a já existir um *layout* pré-definido, restringe a sua posterior alteração). Já Sly (1997) argumenta que a melhor opção é a utilização da simulação em primeiro lugar, através da

recolha de informações como os volumes de produção, sequência de processos e requisitos de equipamentos, pois caso contrário existe uma possibilidade de falhanço no que toca a redução de tempos de percurso ou níveis de inventário.

O projeto de dissertação foi desenvolvido na empresa Bosch Car Multimedia, sediada em Braga. Esta empresa encontra-se inserida no ramo automóvel, onde são desenvolvidas soluções inteligentes integradas para entretenimento, navegação, telemática e funções de ajuda à condução. A empresa produz soluções tecnológicas para vários clientes finais, com diferentes variantes e variabilidades de procura, o que exige uma grande flexibilidade nas linhas de produção, sendo para o efeito necessária também uma flexibilidade na concepção do *layout*.

O facto de a empresa estar em constante mudança implica também uma alteração do *layout* das linhas de produção, devido principalmente ao aumento das quantidades a ser produzidas e á diversidade de produtos existentes, o que provoca uma conseqüente alteração dos fluxos de abastecimento de materiais. Estes factores servem como motivação para a realização do trabalho, com recurso a ferramentas analíticas e de simulação de modo a analisar o impacto dessas mudanças, principalmente no abastecimento de material nas linhas de produção.

1.2 Objetivos da Dissertação

O objetivo deste projeto é o estudo do impacto que o *layout* de uma linha de produção tem do ponto de vista logístico, isto é, que alterações se verificam no abastecimento de materiais aos centros de trabalho, nomeadamente nos fluxos físicos de materiais. Para a análise de resultados são utilizadas ferramentas de optimização, sendo posteriormente usadas ferramentas de simulação para validação de resultados.

Pretende-se, com o recurso a técnicas de optimização, obter uma solução em que é possível efetuar o abastecimento às linhas de produção dentro de um tempo de ciclo definido, de modo a que não haja falta de material para produção. Pretende-se, de igual modo, que seja criada uma ferramenta genérica de simulação para análise de fluxos de abastecimento de materiais às linhas de produção. Nesse sentido, o projeto terá como questão de investigação “Quais os fatores críticos no abastecimento de material às linhas de produção?”.

1.3 Estrutura da Dissertação

Primeiramente será realizada uma revisão bibliográfica, com o intuito de estudar os conceitos de *layout* existentes nas várias áreas de produção, assim como os métodos de análise e validade de *layout* utilizados ao longo dos anos, nomeadamente algoritmos e software.

Numa segunda etapa, será realizado um estudo sobre a situação existente, ou seja, como funciona o abastecimento de material às linhas de produção. Para o projeto, o estudo será feito sobre um conjunto de cinco linhas de produção.

Como terceira etapa, será realizada a definição do problema, nomeadamente no que toca ao fluxo de abastecimento dessas linhas de produção.

Numa quarta etapa, será realizada a recolha de todos os dados necessários para a resolução do problema. Posteriormente os dados serão analisados e, utilizando técnicas de optimização, pretende-se obter uma solução ótima. Após a obtenção dessa solução, irá ser realizada uma análise dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão dos temas envolvidos na elaboração desta dissertação. Uma vez que se trata de um tema relacionado a uma componente da logística, foi feita uma pesquisa sobre o conceito de logística, aprofundando depois para a área da logística em ambiente interno, nomeadamente o uso de *milkrun* em ambiente de fábrica. Também foi feita uma revisão sobre a política *Just-In-Time*, pois esta está também relacionada com o tema. Por fim, apresenta-se uma revisão sobre problemas de optimização, nomeadamente o problema de roteamento de veículos e o problema do caixeiro, que serviram como base para o desenvolvimento desta dissertação.

2.1 Logística

Segundo Alarcon et al.(2012) a competitividade de uma empresa depende principalmente das vantagens ligadas à redução de custos e aos fatores que fazem a diferença em relação aos seus competidores. Nesse sentido, o fator mais importante na mudança dos indicadores económicos é a logística, que nos últimos anos tem ganho importância devido ao aumento dos volumes de exportações e também aos problemas que advém deste aumento (Çemberci, Civelek, & Canbolat, 2015).

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2013), a Logística é definida como o processo de planear, implementar e controlar procedimentos para um transporte e armazenamento de bens eficiente, e a toda a informação existente desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, de modo a satisfazer os requisitos do cliente. Estes definem ainda que dentro das atividades logísticas se incluem a gestão de recepção e expedição de material, gestão da frota, armazenagem, materiais e seu manuseamento, gestão da resposta a encomendas, desenho da rede logística, gestão de *stocks*, planeamento do abastecimento e da procura e gestão dos prestadores de serviços Logísticos.

Para Carvalho et al. (2012) esta percepção da Logística pode parecer algo confuso e abrangente mas que, com o entendimento dos objetivos e formas de atuação, se pode reduzir a sua complexidade. Ainda segundo os mesmos autores, as dimensões centrais da Logística são o tempo, o custo e a qualidade do serviço, o que leva a que a Logística (ou Gestão Logística) seja um instrumento de decisão sobre estas dimensões, que promove raciocínios e decisões através de equilíbrios e trocas entre elas. Segundo Carvalho et al. (2012) pretende-se então baixos tempos de resposta, no entanto fiáveis, baixos custos e elevado serviço ao cliente. Devido à já referida complexidade da conjugação destes três fatores, torna-se aceitável que o sistema logístico se posicione num degrau inferior da triologia, ou seja, através

da conjugação de duas das dimensões da trílogia, o que o pode tornar focado em questões de agilidade (através da conjugação de tempo e custo), em questões de leveza (através da conjugação de custo e qualidade do serviço) ou em questões de capacidade de resposta (através da conjugação de tempo e qualidade de serviço).

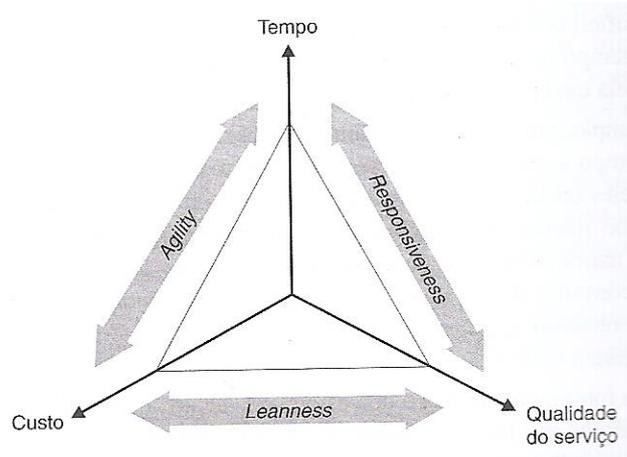


Figura 1 - Trinómio das dimensões da Logística (Carvalho et al., 2012)

2.1.1 Logística Interna

A integração interna dos diversos componentes de um sistema logístico é uma condição necessária para que as empresas consigam atingir excelência ao nível operacional, com baixo custo (Fleury, Wanke, & Figueiredo, 2000). Nesse sentido, uma boa gestão ao nível da logística interna torna-se fundamental em qualquer empresa.

De acordo com Porter (1985), a logística interna diz respeito a todas as atividades associadas ao recebimento, armazenamento e tarefas diretamente relacionadas com o produto, como o manuseio de material, armazenagem, controlo de inventário, programação de frotas, veículos e devolução para fornecedores. As tarefas referentes à logística interna são aquelas que são diretamente responsáveis pela cadeia de valor da empresa, quando se procura otimizar processos referentes a atividades como a infraestrutura do layout de distribuição interna da empresa e sistemas de informação, *stocks* mínimos, entrega de produtos nos pontos de consumo, com o objetivo que o produto saia no tempo certo, na qualidade certa, usando o mínimo de recursos possíveis, o que acrescenta valor ao produto. Para Teixeira De Sousa (2012) as principais características da logística interna são:

- **Atendimento aos funcionários** – Responsável pelo atendimento dos recursos materiais utilizados dentro da organização;

- **Otimização das tarefas** – Redução do tempo entre as tarefas desenvolvidas pelos funcionários da organização através da eliminação de espaços e a entrega na quantidade ideal;
- **Interação dos vários setores da organização** – A logística interna aproxima os setores através da discussão da aplicação e uso dos seus produtos na execução das suas tarefas.

É dentro das atividades de logística interna que se insere o transporte interno, que diz respeito a todos os movimentos de matéria-prima e produto acabado durante o processo de produção (Colovic, 2011). Para Colovic (2011), uma organização racional do transporte interno é significativa porque:

- Reduz o tempo de transporte, contribui para uma performance rápida do processo e reduz os custos;
- A introdução de automação leva à integração da produção e do transporte num único processo de produção, no qual muitas operações acontecem durante o transporte;
- O modo de transporte afeta a própria produção.

Para além disso, o transporte interno é influenciado por:

- Layout e postos de trabalho;
- Escolha de direções de movimento;
- Escolha do modo de transporte;

Colovic (2011) refere ainda que a tarefa de transporte interno diz respeito à transferência do material certo, entregá-lo no local e tempo certos, na quantidade certa, de acordo com a encomenda requerida, de modo a satisfazer os requisitos e simultaneamente minimizar os custos. A organização do transporte interno requer uma necessidade de planeamento e combinação da utilização de espaço, equipamento e material, de modo a que o trabalho seja realizado com o menor esforço. Ainda segundo este autor, o transporte interno representa 25% dos custos de produção e pode ser estudado de cinco dimensões diferentes:

- **Movimento** – transferência de materiais de um ponto para outro. A escolha do movimento está dependente do layout e dos postos de trabalho, no entanto deve ser sempre feita com o intuito de o tempo e o espaço percorrido serem o mais curtos possível e também evitar movimentos vazios e paragens desnecessárias.
- **Transporte** – A quantidade de material a transportar dita o modo e as propriedades do equipamento utilizado para transporte, assim como os custos de transporte de material por cada produto.

- **Tempo** – O tempo é determinado pela velocidade do movimento de material ao longo da produção.
- **Espaço** – O espaço está diretamente relacionado com o armazenamento, o equipamento para movimentação do material (os corredores para passagem do meio de transporte estão dependentes da largura deste), assim como o planejamento e a disposição dos materiais.

Colovic (2011) considera o transporte interno uma parte integrante no layout e que não deve ser observado separadamente ou não deve ser tido em consideração, pois uma mudança no sistema de transporte interno deve implicar mudanças no layout dos postos de trabalho, equipamentos, e vice-versa. A escolha dos recursos de transporte está dependente do tipo de produção e do tipo de produtos, características dos transportadores e custos.

Numa tentativa de melhorar esta componente da logística interna, surgem estudos sobre modelos alternativos para o conseguir. Olivares et al. (2015) apresentaram um modelo inovador, através do uso de drones para entrega dos materiais nos postos de trabalho. Para a concepção do modelo foram utilizados algoritmos de otimização de rotas, como o *sweep algorithm*, também conhecido como algoritmo da “varredura”, onde se parte de uma referência e se vai avançando no sentido horário, parando apenas quando o critério definido for atingido, critério esse que pode ser, por exemplo, a capacidade do meio de transporte ou a distância percorrida. Este foi o algoritmo escolhido para definir os pontos de paragem em cada rota, sendo posteriormente a rota otimizada através do algoritmo genético (*Genetic Algorithm*). Com a utilização deste modelo, os autores verificaram que existe um aumento de eficiência e produtividade. Hwang (2004) analisa também o uso de heurísticas de transporte para uso em layouts de produção, de modo a definir a quantidade de meios necessários para transporte de materiais com o menor esforço. Este autor usou então uma combinação de programação computacional e problema de roteamento de veículos (*Vehicle Routing Problem*), onde posteriormente a solução foi obtida através de métodos heurísticos.

2.2 Just in time

A eficiência da logística interna está também relacionada com a política definida para o abastecimento de materiais à produção, nomeadamente a política *Just in Time* (JIT).

Segundo Maskell (1987), a política just-in-time está diretamente relacionada com *stock*, e diz respeito a organizar o processo de produção de tal modo que o material que se encontra no *shop floor* é somente o necessário para a produção naquele momento. Nesse material está incluída a matéria prima

que é obtida através de fornecedores externos ou pré-montagens realizadas no local. Já Daugherty & Spencer (1990) definem o JIT como um método para obter excelência na produção, baseado numa eliminação contínua do desperdício (atividades que não acrescentam valor ao produto). Estes autores dizem ainda que o objetivo é obter melhorias simultâneas na qualidade e produtividade.

Daugherty & Spencer (1990) dizem que com esta abordagem se pretende a redução de custos, relacionando diretamente atividades logísticas a esse objetivo, nomeadamente na área de transporte, pois é nesta que os custos são mais acentuados. Para estes autores, o transporte ideal para um bom fluxo de material é aquele que está a uma distância favorável para que se possa manusear uma peça de cada vez, desde o fornecedor até ao cliente.

Danese, Romano, & Bortolotti (2012) referem que algumas práticas da política JIT na produção passam por uma redução do tempo de *set-up*, tamanhos de lote pequenos, planeamentos diários, sistemas “puxados” baseados em kanbans, layouts de produção em forma de U (U-shape) e quadros de nivelamento de produção. Tempos de set-up estão relacionados com atividades no *shop floor*, assim como o layout de produção. Usando um layout em forma de U é o ideal, pois esta configuração permite uma redução de movimentos, o que diminui tempos e custos.

De acordo com Danese, Romano, & Bortolotti (2012), um sistema puxado refere-se ao uso de cartões kanban ou outro tipo de sinal, de modo a controlar o fluxo de produção ao longo de todo o processo, produzindo e expedindo somente aquilo que foi consumido a jusante. Este sistema é complementado com um planeamento diário, com o objetivo de sincronizar as atividades de produção, produzindo ao ritmo da procura por parte do consumidor final.

A filosofia Lean está também ligada às atividades logísticas, a que se dá o nome de *Lean Logistics*, termo esse que se refere à capacidade de construir e gerir sistemas de controlo de movimentos de matéria-prima, work-in-process e produto acabado, com o menor custo possível (Wu, 2002).

Segundo Emde & Boysen (2012), a matéria-prima deve sempre chegar aos postos de trabalho a tempo, de modo a evitar custos devido a paragens de produção. No entanto, *stocks* excessivos nos postos de trabalho levam elevados custos de posse e manuseio. Nesse sentido, surgiu o conceito de buffers na entrada das linhas de produção, denominados supermercados. De acordo com estes autores, supermercados são definidos como áreas de armazenamento distribuídas ao longo do *shop-floor*, que servem como armazenamento intermédio para matéria-prima utilizada nas linhas de produção próximas. Normalmente, a entrega às linhas de produção é efetuada através de um meio de transporte e seguindo um horário planeado, recolhendo também as caixas vazias dos postos de trabalho. Deste modo, os supermercados permitem a entrega em lotes pequenos, fazendo com que os níveis de *stock* à entrada

das linhas sejam pequenos, assim como a que as distâncias percorridas para abastecimento sejam menores.

2.2.1 Milkrun Interno

No que toca ao transporte, pretende-se minimizar os custos ao máximo, tentando conciliar as atividades com esse objetivo, e nesse sentido surgiu o Milkrun. Segundo Baudin (2005), o conceito de *Milkrun* surge da indústria dos laticínios, e que corresponde a uma rede de transporte, onde todos os abastecimentos e recolhas de material de vários pontos de paragem são feitos por um único veículo, que visita todos esses pontos através de uma rota pré-definida. Já o CSCMP (2013) define milkrun como um método de entrega de diferentes cargas de diversos fornecedores, em que ao invés de cada fornecedor enviar um transporte para satisfazer as necessidades de cada cliente, um único veículo visita cada fornecedor e recolhe as entregas para o cliente.

Kovács (2011) afirma que este conceito de milkrun é frequentemente aplicado para efeitos de logística interna, nomeadamente no transporte de matéria prima, produto acabado, e também tratar das atividades de valor não acrescentado entre as linhas de montagem e o armazém dos edifícios. Frequentemente os edifícios são bastante grandes, o que impossibilita que um único milkrun consiga fazer o trabalho. Neste caso, vários milkrun são implementados, com tempos de ciclo definidos para realizar o percurso. Através da implementação de um Milkrun interno consegue-se uma eficiente entrega em lotes pequenos, levando a *lead times* pequenos e níveis de inventários baixos na área das linhas de produção (Baudin, 2005).

De acordo com Klenk et al. (2015), num sistema básico de milkrun, os responsáveis pela tarefa fazem rotas fixas em intervalos de tempo pré-definidos, em que nesse tempo pegam nos materiais que estão numa zona de armazenagem central (um supermercado), seguindo a rota definida e entregando os materiais nos pontos de uso, retornando depois ao supermercado. Para saber a taxa de consumo de materiais, assim como quais materiais terão de ser abastecidos no próximo ciclo de milkrun, é usado o método dos cartões kanban. Para Klenk et al. (2015), o maior desafio na implementação de um Milkrun passa por determinar as rotas mais indicadas e os tempos de ciclo. Nesse sentido, o layout do edifício, a procura de material por ponto de uso e os níveis de inventário têm de ser tidos em consideração.

Para Gyulai, Pfeiffer, Sobottka, & Váncza (2013), a definição da rota de um milkrun é considerado um problema de roteamento de veículos especial (VRP) com janelas temporais e um número limitado de veículos, e nesse sentido propuseram um método que combina as vantagens dos algoritmos existentes com a pesquisa local para o roteamento de veículos. Estes autores utilizaram o algoritmo de Dijkstra

para o cálculo do caminho mais curto entre cada ponto de paragem, tendo em consideração tempos de viagem e tempos de carga e descarga como limitadores, com o objetivo de satisfazer a procura, no menor número de ciclos possível. Também Klenk et al. (2015) desenvolveram diferentes heurísticas de modo a lidar com diferentes picos de entrega, em combinação com o uso de cartões kanban. Estes autores utilizaram diferentes estratégias, de modo a garantir a entrega do material nos pontos de uso no tempo certo, sem que ocorram falhas na produção. Com a definição de diferentes estratégias os autores pretendiam entregar o máximo de entregas possível, assim como aproveitar ao máximo a capacidade do milkrun em cada rota. Para lidar com os lotes de material que excedem a capacidade do veículo, as estratégias definidas foram:

- **Transporte excepcional** – Os containers em excesso são imediatamente entregues diretamente no ponto de uso, através de um transporte excepcional para cada container. Deste modo, enquanto que os milkruns regulares fazem o abastecimento nos locais habituais (supermercados), os containers em excesso não se encontram nestes supermercados, mas sim numa zona própria destinada ao efeito. Este tipo de transporte garante uma entrega rápida dos containers em excesso, no entanto envolve um custo bastante caro, pois cada container é lidado como uma situação independente.
- **Rota excepcional** – Neste caso, os containers em excesso são também removidos dos supermercados e colocados numa zona própria. Ao contrário do que acontece na situação anterior, os containers em excesso não são entregues individualmente, mas sim através de milkruns adicionais, e assim todos os containers são entregues em todas as rotas. Estes milkruns em excesso não possuem um planeamento fixo, e fazem o carregamento de todos os containers em excesso, entregando-os nos respetivos pontos de uso. Nesse sentido, o tempo de ciclo de cada circuito está dependente do número de containers em excesso a abastecer.
- **Deslocamento da ordem de encomenda** – Nesta estratégia, todas as encomendas são entregues através de um processo regular de um milkrun. Assim, todos os containers em excesso são deslocados para o ciclo seguinte de entrega do milkrun, permanecendo então no supermercado. No caso dos containers em excesso não caberem no ciclo seguinte, será necessário um transporte excepcional, tal como na primeira estratégia definida.

Para testar estas estratégias, os autores utilizaram dados reais de procura de duas empresas do ramo automóvel. Klenk et al.(2015) concluíram que obtêm os custos mais baixos quando optam pela estratégia de deslocamento da ordem de encomenda (o que provoca, no entanto, um aumento do lead

time, por isso esta será a melhor estratégia caso o lead time não seja um fator crítico), e que os custos mais altos ocorrem quando optam por uma estratégia de transporte excepcional.

2.3 Problema do caixeiro viajante (TSP)

Tal como já referido, o transporte é um dos fatores nos quais os gastos são maiores, e nesse sentido há sempre a procura por abordagens que permitam reduzir esses gastos e simultaneamente obter o maior proveito possível dos meios. Frequentemente são usados métodos exactos e herísticos de solução de modo a otimizar o uso dos transportes, de modo a torná-los eficientes. Um dos mais conhecidos é o problema do caixeiro viajante (*Travelling Salesman Problem* - TSP).

O objetivo do TSP é encontrar o caminho mais curto para o chamado “caixeiro viajante” que, começando num ponto de origem, tem de visitar um conjunto de cidades previamente definidas uma única vez, retornando depois ao ponto de origem. Este problema, apesar de facilmente descrito, é difícil de implementar, pois não existem algoritmos capazes de fornecer uma solução exata ou garantidamente eficaz (Papadimitriou, 1977). Uma formulação geral do problema do caixeiro viajante é dada da seguinte maneira:

Sendo:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se arco } ij \text{ faz parte do circuito} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \forall ij \in A$$

c_{ij} é o custo do arco ij

Onde A representa o conjunto de todos os arcos. Pretende-se:

$$\text{Minimizar } z = \sum_{ij \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

As restrições aplicadas no problema estão dependentes dos diferentes tipos de formulação utilizados. Algumas das formulações mais conhecidas do problema do caixeiro viajante são (Orman & Williams, 2007):

- **Formulação convencional (Dantzig-Fulkerson-Johnson)**

Restrições para garantir que todas as cidades são visitadas:

$$\sum_{j:ij \in A} x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j:ji \in A} x_{ji} = 1, \forall i \in N \quad (3)$$

Restrições de eliminação de subcircuitos:

$$\sum_{ij \in A(S)} x_{ij} \leq |S| - 1, \forall S \subset N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall ij \in A \quad (5)$$

Esta formulação é bastante complexa e quase impossível de resolver de maneira direta. O modo usual de resolução é aplicar as restrições (2) e (3), aplicando a restrição (4) sempre que se cria um subcircuito.

- **Formulação sequencial (Miller-Tucker-Zemlin)**

Neste tipo de formulação existe uma sequência pela qual as cidades são visitadas, logo as restrições da equação (4) são executadas as seguintes restrições:

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, \forall ij \in A, i \neq 1, j \neq 1 \quad (6)$$

$$u_i \geq 0, i = 2, \dots, n \quad (7)$$

Onde u_i corresponde à posição em que é visitada a cidade i .

2.4 Problemas de encaminhamento de veículos (VRP)

Segundo Laporte (1992), o problema de roteamento de veículos (VRP) pode ser descrito como um problema de conceber rotas de entrega ótimas, de um ou vários pontos de origem para um determinado número de clientes dispersos geograficamente, sujeitos a restrições. Os problemas de roteamento de veículos são considerados uma generalização do problema do caixeiro viajante (TSP), no entanto, os VRP são geralmente muito mais difíceis de resolver (Nobert & Laporte, 1987). Para além disso, as soluções para TSP são obtidas através de métodos exatos, enquanto que maior parte dos algoritmos VRP são heurísticas, o que torna a sua resolução mais trabalhosa.

Norbert & Laporte (1987) definem a seguinte notação para VRP:

- Uma representação $G = (N, E, C)$, onde:
 - $N = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de nós, que representam cidades ou clientes;
 - E representa o conjunto de arcos, que são as ligações entre diferentes nós;
 - $C = (c_{ij})$ é uma matriz de distâncias que está associada ao conjunto de arcos E .
- $R = \{1, \dots, r\}$ ($r < n$) representam o conjunto de nós de origem;
- m representa o conjunto de veículos disponíveis para transporte.

O VRP consiste então em definir um conjunto de rotas, com o menor número de veículos possível, de modo que (Laporte, 1992):

- Cada cidade seja visitada exatamente uma vez, por exatamente um veículo;
- Todas as rotas comecem e terminem no mesmo ponto;
- Todas as restrições sejam satisfeitas.

As condições mais comuns neste tipo de problemas são (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuyse, 2015; Laporte, 1992):

- **Restrições de capacidade** – Este é designado um problema de VRP clássico (CVRP), onde as rotas de entrega ótimas são definidas, e cada veículo faz apenas uma rota, assim como só existe um único ponto de armazenamento. Com esta estratégia pretende-se definir um conjunto de rotas de baixo custo de modo a que cada cliente seja visitado uma única vez e apenas por um único veículo, que cada veículo comece e termine a sua rota no mesmo ponto, e por fim que a capacidade do veículo não seja excedida;
- **VRP com recolha e entrega (VRPPD)** - Os bens devem ser recolhidos de uma determinada localização e entregues no seu destino. Esta recolha e entrega deve ser feita pelo mesmo veículo, por isso estes pontos devem estar incluídos na mesma rota;
- **Restrições de visitas** - Normalmente existe um limite para o número de cidades visitadas;
- **Restrições de tempo total** – O tempo de uma rota não deve exceder um certo limite. Este tempo pode ser tempo de viagem ou tempo de paragem;
- **Janelas temporais (VRPTW)** – Uma determinada cidade deve ser visitada dentro de um intervalo de tempo pré-definido, onde se incluem tempos de espera. Este tempo de espera pode variar consoante a cidade;
- **Relações de precedência entre cidades** – Uma cidade i deve ser visitada antes de uma cidade j .

Segundo Norbert & Laporte (1987), os algoritmos associados aos problemas de roteamento de veículos podem ser classificados nas categorias:

- Métodos de procura direta;
- Programação dinâmica;
- Programação inteira linear.

2.5 Conclusão

Neste capítulo foi apresentado uma revisão bibliográfica de conceitos relativos à logística de um modo geral, e também a áreas mais específicas, nomeadamente a logística interna, com uma revisão mais voltada para a área de transporte, através da explicação do conceito de *milkrun*. Também foi apresentada uma revisão sobre a política *Just in Time*, bastante utilizada nos dias de hoje no ramo industrial. Por fim, foi também elaborada uma revisão sobre técnicas de otimização de rotas, nomeadamente o problema de roteamento de veículos e o problema do caixeiro viajante.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O Grupo Bosch nasceu em 15 de Novembro de 1886, quando Robert Bosch abre um pequeno negócio em Estugarda, a que ele chamou *“Workshop for Precision Mechanics and Electrical Engineering”*. Ele, em conjunto com dois sócios, construiu e instalou equipamento elétrico de todos os tipos, incluindo sistemas telefónicos e indicadores elétricos remotos do nível da água.

O Grupo Bosch é atualmente o maior fornecedor de serviços e soluções tecnológicas, possuindo 440 subsidiárias distribuídas por 40 países e contando com um total de 360000 colaboradores. Tem uma presença global em 150 países, através de parceiros de serviços e vendas. Este grupo está inserido em 4 setores de negócio, nomeadamente Soluções de Mobilidade, Tecnologia Industrial, Tecnologia Energética e de Construção, e Bens de Consumo.

Para além do seu volume de vendas, o grupo Bosch é também um dos mais inovadores a nível mundial, registando 18 patentes por dia, resultado dos 20 biliões de euros aplicados em Investigação e Desenvolvimento (R&D) ao longo dos últimos 5 anos. O grupo possui instalações R&D em 94 países, contando com 45700 colaboradores destinados para o efeito.



Figura 2 - Logótipo Bosch

3.1 O grupo Bosch em Portugal

O grupo Bosch encontra-se presente em Portugal desde 1911, quando Gustavo Cudell estabeleceu o primeiro escritório de vendas, com sede no Porto. Posteriormente, foi fundada em 1960 uma subsidiária *Robert Bosch Lda.* em Lisboa, que era responsável pelas vendas e operações de serviço ao cliente de produtos provenientes da *Robert Bosch GmbH* e suas subsidiárias. Nos anos seguintes seguiram-se algumas vendas e várias aquisições, onde se destacam aqueles que permanecem até hoje e que estão representadas na figura 3:

- Aquisição em 1988 da Vulcano Termodomésticos em Aveiro, hoje designada Bosch Termotecnologia;
- Abertura em 1990 da *Blaupunkt Auto-Radio* em Braga, hoje designada *Bosch Car Multimedia*;
- Aquisição em 2002 da *Phillips' Security Systems*, em Ovar, hoje designada *Bosch Security Systems*;
- Fundação em 2009 da Robert Bosch Portugal SGPS;
- Abertura em 2010 do *ST Communication*, em Lisboa.

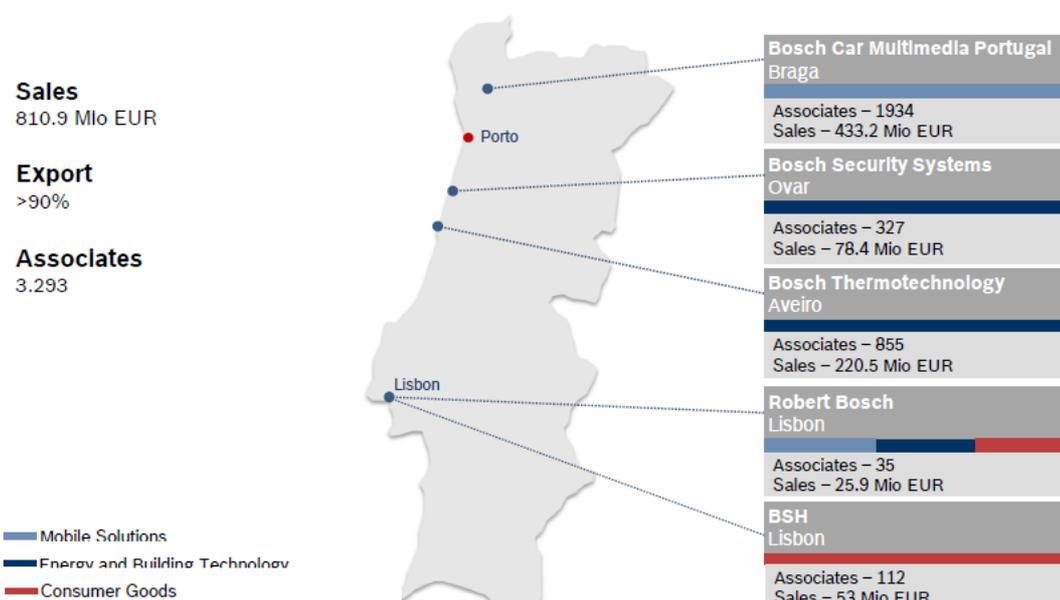


Figura 3 - Representação do Grupo Bosch em Portugal

Segundo dados de 2014, o Grupo Bosch em Portugal conseguiu um valor de vendas superior a 810 milhões de euros, resultado de um valor de exportações superior a 90%. Ainda segundo dados de 2014, o Grupo Bosch em Portugal possui um total de 3293 colaboradores, sendo a sua maior parte alocados na empresa localizada em Braga (*Bosch Car Multimedia Portugal*). Atualmente em Portugal, o Grupo Bosch está presente nos setores de Soluções de Mobilidade, Tecnologia Energética e de Construção, e bens de consumo.

3.2 Apresentação da *Bosch Car Multimedia Portugal (BrgP)*

A *Bosch Car Multimedia Portugal* é a principal fábrica da divisão *Car Multimedia* e a maior do Grupo Bosch em Portugal. Esta situa-se em Braga e iniciou as suas atividades em 1990. É especializada no fabrico de equipamentos eletrónicos, nomeadamente sistemas de navegação e instrumentação.



Figura 4 - Representação da *Bosch Car Multimedia Portugal*

3.2.1 Cadeia de Abastecimento

A empresa de Braga, *Bosch Car Multimedia Portugal*, é atualmente a maior exportadora e empregadora em Portugal, contando, segundo dados de 2015, com 2153 colaboradores. Conseguiu em 2015 um valor de vendas de 516 milhões de euros, valor obtido através dos volumes de produção representados na figura 5.

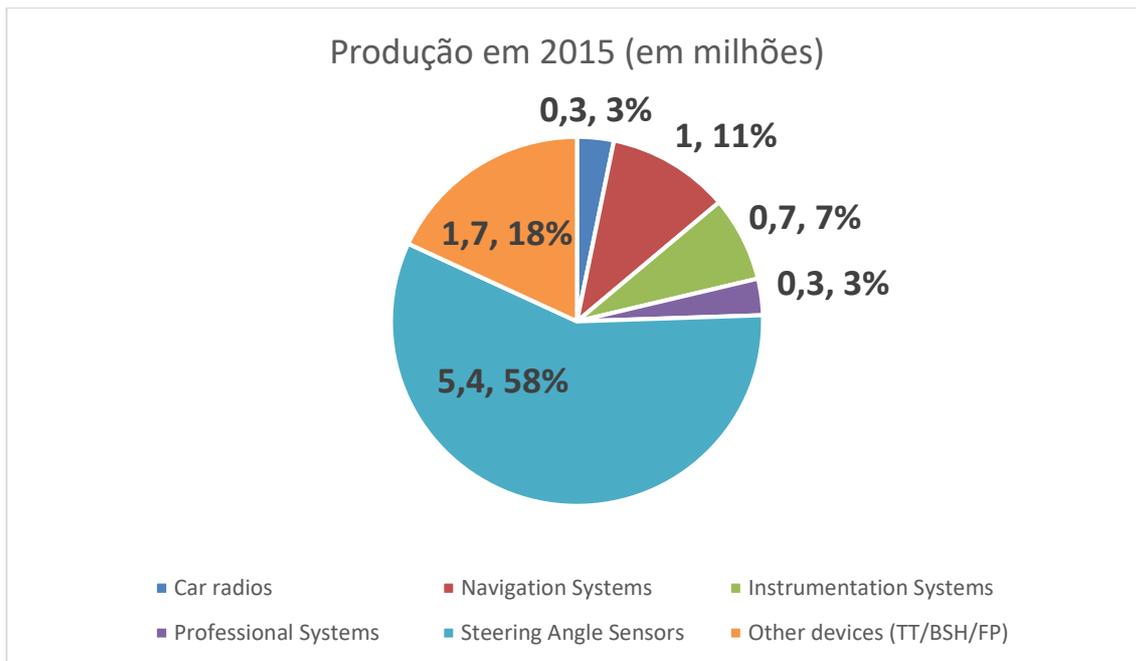


Figura 5 - Dados de Produção Bosch em 2015

A Bosch Car Multimedia possui mais de 45 clientes no ramo automóvel. Estes encontram-se representados na figura 6.



Figura 6 - Clientes Bosch

3.2.2 Portfólio atual de produtos

Os produtos atualmente produzidos na *Bosch Car Multimedia Portugal* são:

- *Navigation Systems* (Sistemas de Navegação)
 - Soluções inteligentes de integração para entretenimento;
 - Navegação;
 - *Telematics*;
 - Assistência ao condutor.



Figura 7 - Navigation Systems

- *Instrumentation Systems* (Sistemas de Instrumentação)
 - *Innovative free programmable instrument cluster*;
 - *Dual-view*;
 - *Head-up Displays*.



Figura 8 - Instrumentation Systems

- *Next Infotainment Gen*

- *System integration;*
- *Connectivity;*
- *TV/Tuner radio;*
- *PC HW approach (Intel μP)*
- *Integrated CE solutions*

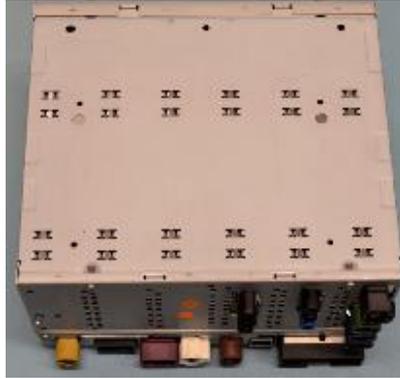


Figura 9 - Next Infotainment Gen

- *Steering Angle Sensor (Sensores de posição)*
 - Sistemas inovadores para segurança dos veículos e assistência ao condutor;



Figura 10 - Steering Angle Sensor

- *House-hold Electronics*
 - Produção de controladores eletrônicos complexos para uma larga variedade de aplicações;



Figura 11 - House-hold Electronics

- *Control Units Systems*
 - *Soluções inovadoras e pioneiras para climatização e caldeiras da água;*



Figura 12 - Control Units Systems

Planta da Fábrica e Fluxo de Materiais

Na fábrica de Braga, os edifícios encontram-se distribuídos da forma representada na figura 13.



Figura 13 - Planta da Fábrica de Braga

Destaca-se que o armazém de matéria-prima e produto acabado se encontram no mesmo local, funcionando o fluxo de materiais como representado na figura 14.

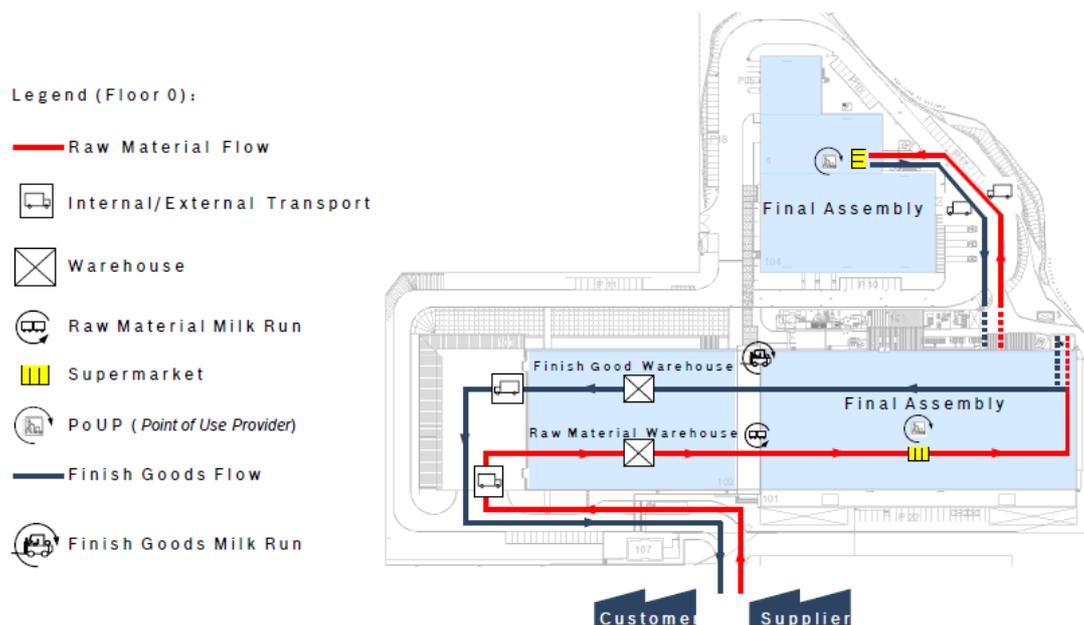


Figura 14 - Representação do Fluxo de Materiais na Fábrica

Material flow – SMT

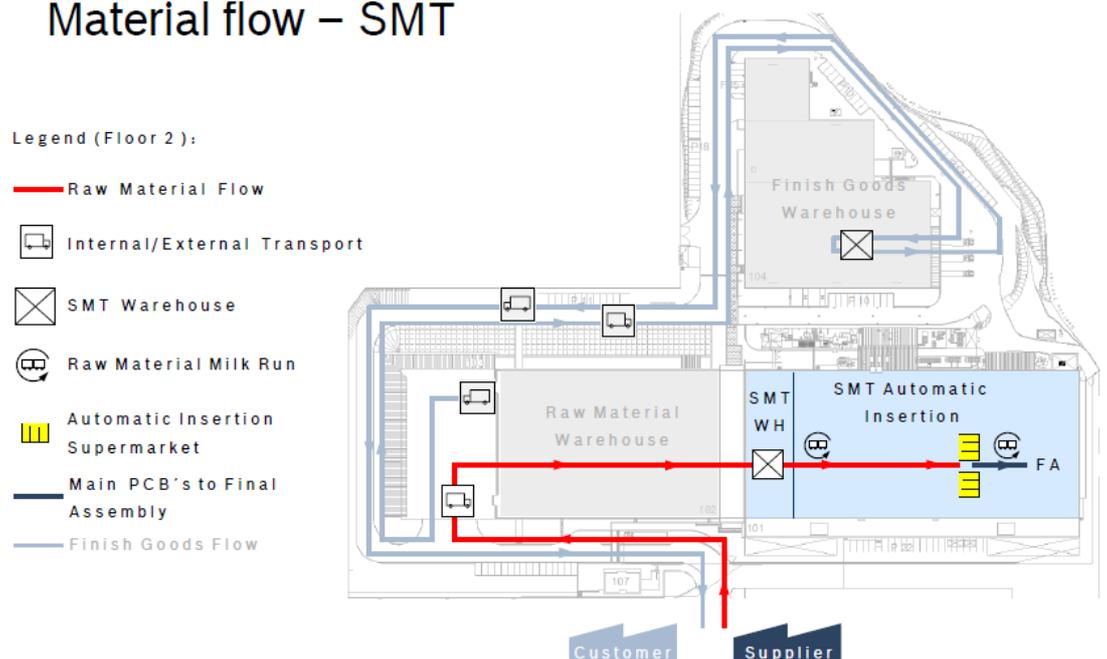


Figura 15 - Representação do Fluxo de Materiais na Fábrica (Área SMT)

Na produção destacam-se duas áreas distintas, que são separadas por dois pisos. A primeira fase é a de inserção automática (SMT), onde os pequenos componentes são inseridos nas placas de circuito impresso (PCB) através de máquinas. Atualmente a Bosch Car Multimedia Portugal possui 20 linhas de inserção automática instaladas, que produzem cerca de 15 milhões de placas por dia.

A segunda fase corresponde à montagem manual, onde são colocados os componentes maiores nas placas, e montagem final, onde posteriormente se obtém o produto a expedir para o cliente.

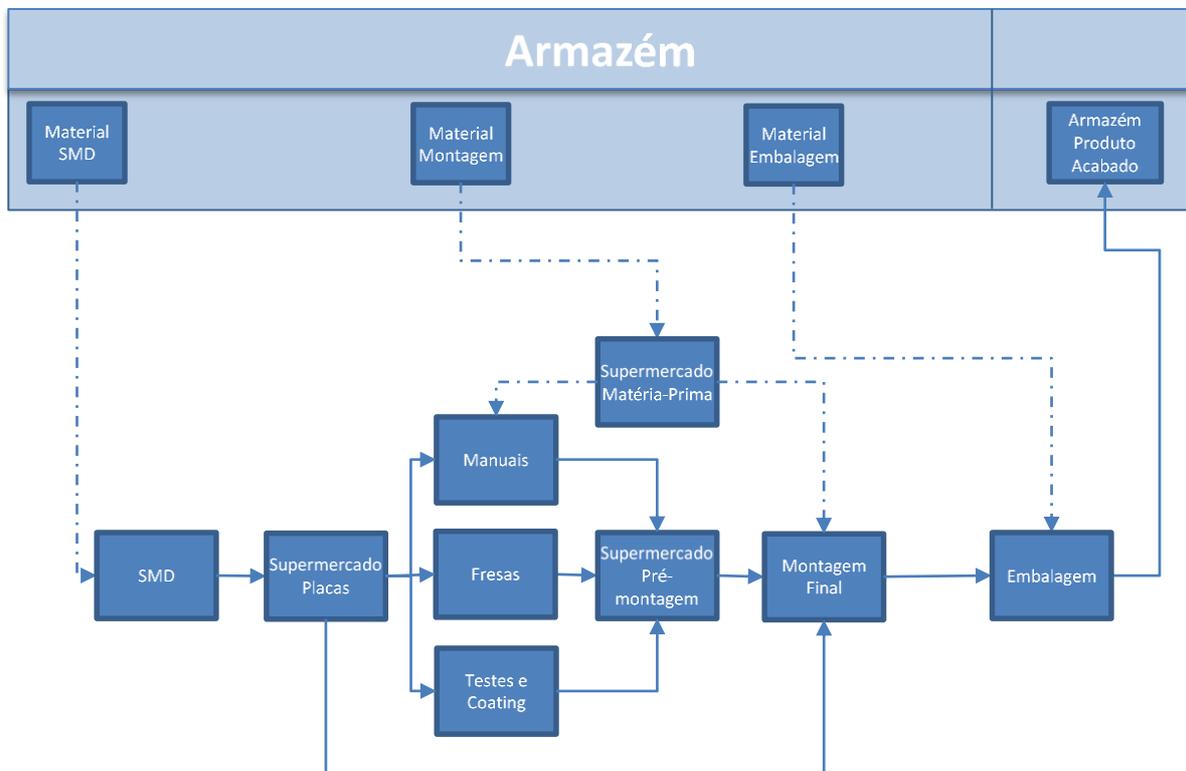


Figura 16 - Representação do Fluxo de Materiais no Processo de Produção

A figura 16 dá uma visão mais detalhada de como funciona o fluxo de materiais. Primeiramente a matéria-prima é recebida no armazém, tal como representado na figura 15. De seguida sofre um reembalamento para poder ser usada na produção (situação excepcional para os materiais que estão contidos em embalagem retornável). O material contido no armazém pode ser: material para SMD, material para montagem final/manual ou material de embalagem. Como já referido anteriormente, a concepção de um produto começa nas linhas SMD, sendo para isso necessário receber o material necessário da parte do armazém. Após passar pelas linhas SMD, as placas são armazenadas num supermercado próprio, onde podem ser usadas para: Montagem Manual, Fresas (corte das placas de circuito impresso), Testes e Coating (aplicação de uma camada protetora nos componentes mais sensíveis) e Montagem Final. Após esta fase, o material passa para um supermercado de Pré-montagem, onde vai ser usado na Montagem Final. O designado Material de Montagem é aquele que não passa por estas fases, sendo logo armazenado também ele num supermercado próprio, que é o supermercado de matéria-prima. Este material é usado na Montagem Manual e na Montagem Final. Por fim, existe o

Material de Embalamento, que é usado na Montagem Final e é o último tratamento dado ao produto antes de expedir para o cliente.

3.2.3 Organização da Empresa

A unidade em Braga encontra-se separada por Área Técnica e Área Comercial, que se encontram representadas na figura 17.

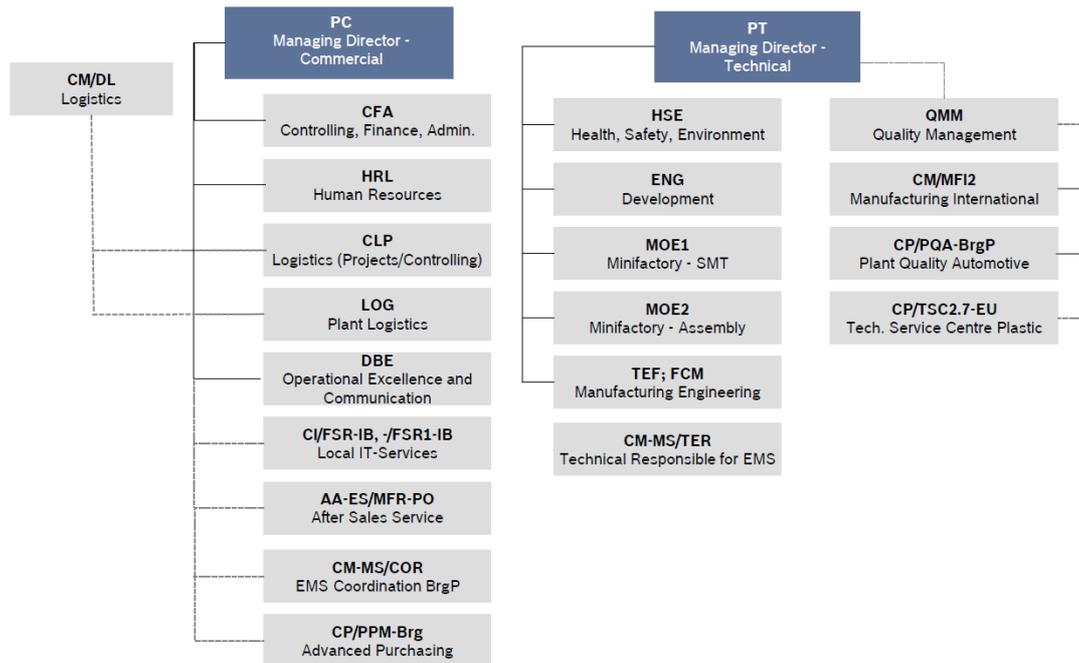


Figura 17 - Organização Bosch Car Multimedia Portugal

O trabalho desenvolvido nesta dissertação foi realizado no departamento TEF (Figura 18), responsável pela engenharia de produção, mais especificamente com a colaboração das secções TEF1, responsável pelo planeamento de processos, e TEF6, responsável pela gestão de tempos e Ergonomia.

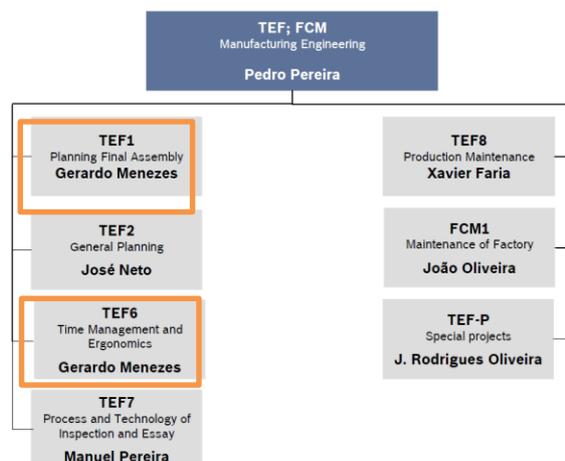


Figura 18 - Organização Departamento TEF

4. CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo pretende-se dar a conhecer a situação atual no que toca ao abastecimento de materiais nas linhas de produção da empresa Bosch Car Multimedia, nomeadamente na fase de montagem manual/final. Uma esquematização do *layout* encontra-se representada na figura 19.

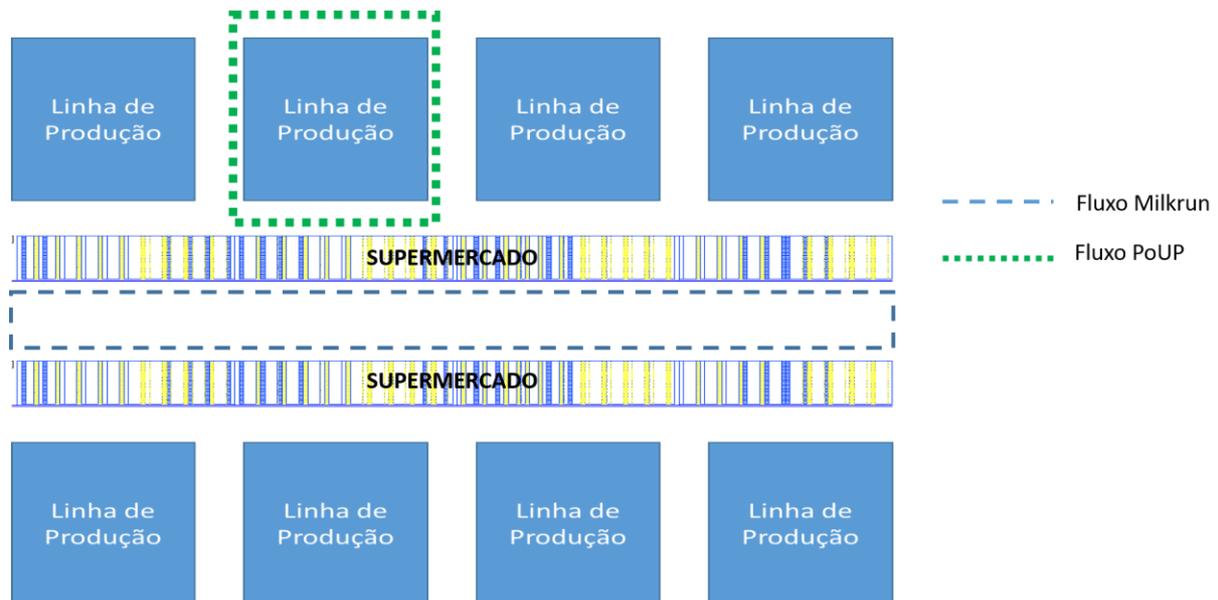


Figura 19 - Representação do layout das linhas

Tal como esquematizado na figura 19, é possível observar que os supermercados encontram-se na parte central do piso, partilhando o corredor central, o que permite que nesse corredor passem todos os *Milkrun* que efetuam o abastecimento. Na empresa existem dois fluxos no que toca ao abastecimento de materiais: o fluxo correspondente à chegada de matéria prima ao piso de montagem manual/final, terminando com a colocação deste nos vários supermercados, e o fluxo correspondente à movimentação de matéria prima desde o supermercado até às linhas de produção. Estes dois fluxos possuem dois intervenientes diferentes, que são o *Milkrun* Interno e o *Point of Use Provider* (PoUP).

4.1 *Point of Use Provider (PoUP)*

4.1.1 Definição

O PoUP cobre a diferença (de espaço e tempo) entre:

- O consumo no ponto de uso pelo operador direto ou processo;
- O abastecimento de material das várias fontes do *Milkrun*.

Pretende-se que o PoUP mova da maneira mais eficiente possível pequenas quantidades, assim como toda a informação necessária, para o ponto de uso. O seu trabalho tem de ser normalizado e realizado em ciclos curtos e definidos, em que o abastecimento de material é realizado de fora para as linhas de produção.

4.1.2 Objetivos

O PoUP tem como objetivo uma clara separação entre:

- Atividades de valor acrescentado do operador direto;
- Atividades de valor não acrescentado (transporte, orientação, ...).

Sendo assim, os objetivos são:

- Separação de atividades não cíclicas do trabalho realizado pelo operador direto, o que serve como base para o balanceamento dos operadores de linha, de modo a obter uma linha de produção *Lean*;
- Garantir que exista sempre material disponível na linha;
- Fornecer material de acordo com os requisitos do ponto de uso:
 - Posição ótima (distância curta do orientador);
 - Orientação ótima;
 - Quantidade ótima;
 - No tempo certo;
 - Na qualidade certa.
- Um abastecimento de material eficiente e normalizado.

4.1.3 Benefícios

O PoUP tem como benefícios:

- Transparência quanto à separação entre acrescentar valor e desperdício:
 - O desperdício torna-se visível (movimentos, planeamento/controlo, ...);
 - Potencialidades para aumentar a produtividade são mostradas.
- Remoção de tarefas não cíclicas dos operadores de linha:
 - Estabilização do tempo de ciclo e *output* das linhas;
 - Assegura uma carga de trabalho constante e leve para os operadores de linha.
- Controlo de qualidade ao longo do abastecimento:
 - Torna visível se todas as peças estão montadas;
 - Evita a confusão, dado que apenas as peças corretas são fornecidas ao operador;
 - Peças com defeito podem ser detetadas durante a preparação dos conjuntos.
- Tempos de reabastecimento curtos e definidos:
 - Níveis de *stock* (e conseqüentemente espaço) no centro de trabalho podem ser definidos e reduzidos.

4.1.4 Ponto de Uso (*Point of Use*)

O Ponto de Uso (ou ponto de consumo) é uma área que está dentro de uma distância de 15cm do operador direto. Os requisitos para abastecer material no ponto de uso são:

- Curto alcance;
- Curto movimento;
- Altura ótima;
- Posições fixas;
- Orientação correta;
- Uso de ambas as mãos (com abastecimento dedicado a cada mão);
- Evitar rotações corporais (ergonomia).

4.1.5 Tarefas e Organização

As tarefas do PoUP são as que se encontram representadas na figura 20.

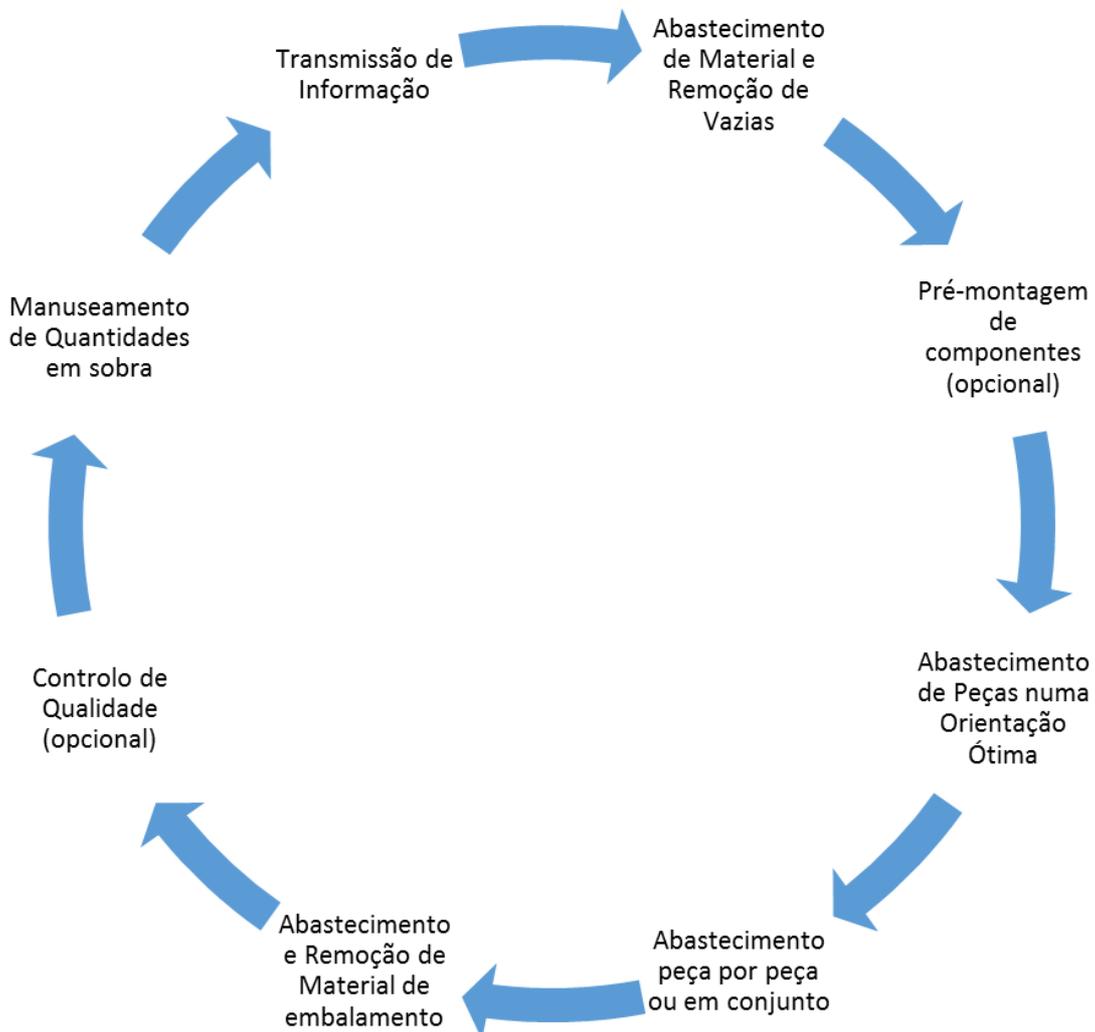


Figura 20 - Esquematização das tarefas do PoUP

4.2 Implementação do PoUP

4.2.1 Preparação

Para o planeamento de um PoUP, são necessárias algumas informações, como:

- *Layout/Rota*
 - Pontos de recolha e transferência no *layout*;
 - Distâncias;
 - Larguras dos corredores;

- Acesso aos postos;
- Áreas de perigo;
- Condições especiais
 - Sala Limpa;
 - Áreas de descarga eletroestática (ESD).
- Fluxo de Material para cada Matéria-prima:
 - Informação sobre a caixa:
 - Tipo;
 - Peças por caixa;
 - Dimensões;
 - Peso (cheio e vazio).
 - Procura:
 - Média;
 - Flutuação.
 - Quantidade por ciclo;
 - Conceito de controlo:
 - Consumo;
 - Procura.
- Dados do *Value Stream Design*
 - Cobertura de material na produção;
 - Modelo de turnos;
 - Parâmetros da linha:
 - Tempos de Ciclo;
 - *Takt Time* do cliente, ou seja, o intervalo de tempo real em que uma peça tem de ser produzida;
 - Tamanho do lote;
 - Perdas de tempo por *changeover* (trocas de variante de produto a produzir na linha);
 - Número de variantes:
 - Partes comuns;
 - Partes variantes;
 - Produto acabado.

- Indicadores chave para avaliação
 - Produtividade
 - *Output* da linha
 - Utilização de espaço nos centros de trabalho
 - Perdas por OEE (eficácia dos equipamentos)
 - Tempo de atravessamento da linha
 - Flutuações
 - *Output*;
 - Tempo de ciclo.

4.2.2 Fluxo de informação e material

Fluxo de material

Para determinar o fluxo de material, é necessário saber para cada ponto de abastecimento:

- A localização no *layout*;
- O material a ser abastecido/manuseado, com informação sobre:
 - Partes comuns/variantes;
 - Tamanho/peso;
 - Vazios/sobras.
- As especificações da caixa (dimensões, peso):
 - No ponto de uso;
 - No ponto de transferência.
- A cobertura de material (por caixa/peça);
- A capacidade máxima no ponto de uso (restrições de espaço, etc.);
- Sinal para abastecimento de peça (Kanban, 2 caixas, lotes, ...);
- Equipamento de abastecimento (vibratório, prateleiras de supermercado, etc.).

A estratégia de abastecimento pode ser de dois tipos: em sequência/*first in, first out* (FIFO) ou através do uso de supermercado. As diferenças encontram-se na tabela seguinte:

1. **Abastecimento em Sequência/FIFO**

a. **Definição**

Abastecimento numa quantidade e ordem definidas.

b. **Objetivos**

- Redução de riscos de qualidade;
- Minimização de WIP;
- O operador não necessitar de efetuar um planeamento.

c. **Requisitos**

- 100% de qualidade, sem refugo;
- Alta estabilidade;
- Quantidades por caixa devem estar de acordo com o SNP;
- Produção sem peças de sobra.

d. **Aplicação**

- Peças com alta variância;
- Peças grandes, que ocupem mais espaço;
- Peças similares.

2. **Abastecimento através de Supermercado**

a. **Definição**

O abastecimento é feito através de supermercados próximos dos pontos de consumos.

Os supermercados possuem caixas de vários *tipos de matéria prima*.

b. **Objetivos**

- Obter um *buffer* para problemas como refugo, mudanças na sequência e sobras.

c. **Requisitos**

- Mais espaço no ponto de uso;
- É necessário um sinal adicional para o operador saber qual a variante que se vai usar ou produzir.

d. **Aplicação**

- Partes comuns ou com baixa variância;
- Partes pequenas/volumosas.

Fluxo de informação

Para assegurar a disponibilidade das peças, é necessário que o PoUP saiba:

- Que sinal despoleta o abastecimento de material para cada PN;
- Que sinal despoleta o início de um novo ciclo de abastecimento;
- Que informação é necessária e quando.

1. Sinal para o abastecimento de Material

Depois de decidida a estratégia de abastecimento, deve ser definido pelo PoUP o sinal de abastecimento de material para cada peça. Os sinais possíveis são:

- *Kanbar*;
- Caixa vazia;
- Nível de preenchimento;
- Quantidade a abastecer definida em cada ciclo.

2. Sinal de início do ciclo de abastecimento

O início do ciclo de abastecimento pode ser definido através de uma estratégia de quantidade fixa ou tempo fixo.

a. Quantidade Fixa

i. Descrição

Quantidade fixa de abastecimento em cada ciclo, em que o ciclo começa depois do consumo da quantidade definida.

ii. Efeito das flutuações de processo

Existe flutuação num intervalo de tempo entre 2 ciclos. No caso de uma paragem de linha, o abastecimento de material também para. A quantidade a ser entregue permanece constante.

iii. Avaliação

O PoUP está diretamente ligado ao comportamento da linha. Não há entregas em excesso. A sequência de trabalho e a quantidade de peças por ciclo mantém-se constante.

b. Tempo Fixo

i. Descrição

O ciclo começa em intervalos de tempo fixos.

ii. Efeito das flutuações de processo

Existência de flutuação do consumo da linha em cada ciclo. Quantidade a ser entregue também flutua.

iii. Avaliação

A sequência de trabalho e quantidade por ciclo podem flutuar bastante. O PoUP não está ligado diretamente ao comportamento da linha.

Tem de ser definido qual é o processo que dá o sinal de início do próximo ciclo. As opções são:

Processo com a cobertura de material mínima (opção recomendada):

- Devido à restrição do tamanho máximo do buffer (peças grandes, espaço limitado no ponto de uso);
- Processo crítico no que diz respeito ao abastecimento de material.

Bottleneck do Processo

- Prioridade alta no que diz respeito ao abastecimento de material.

Último processo da linha

- Output da linha despoleta o ciclo de abastecimento.

3. Fluxo de informação adicional

Adicionalmente, o seguinte fluxo de informação deve ser definido:

a. **Sequência de informação**

- Informação do plano de produção sobre a próxima variante a ser produzida:
 - Para o PoUP;
 - Para o operador direto (só necessário se o material não for disponibilizado com FIFO).

b. **Peças combinadas num conjunto**

- Lista de material completa e atualizada para todas as partes do conjunto.

c. **Changeover**

- Informação sobre o próximo changeover e quando irá começar.

Recolha de dados no *Plan for Every Part* (PFEP)

Todos os dados sobre o fluxo de material e de informação são recolhidos na tabela de Plan for Every Part (PFEP). O PFEP corresponde à matéria prima necessária para a produção de um determinado produto e é a base para:

- Derivar todas as atividades do PoUP durante o seu ciclo;

- Determinar a frequência de cada atividade por ciclo.

4.2.3 Definição de Tarefas

Design do Fluxo de Trabalho

- O fluxo de trabalho deve ser normalizado;
- A rota de abastecimento deve ser cíclica e em circuito fechado;
- Os pontos de transferência de material devem ser visualizados;
- O abastecimento de material deve ser efetuado pelo exterior, otimizado para o operador direto;
- As trocas de caixas (*repacking*) devem ser simplificadas ou eliminadas completamente.

Isto traz os seguintes benefícios para o operador direto:

- Não existem trocas de caixas;
- Não existem peças presas;
- Mesma posição de alcance;
- Mesma orientação.

Para além disto:

- Os sinais para abastecimento de material e início de novo ciclo são facilmente identificados e claros;
- Usar baixo custo de automação para isolar e orientar produtos a granel para o ponto de uso;
- Design dos carros de transporte de acordo com o fluxo de trabalho:
 - Pequeno e flexível;
 - Posições fixas:
 - Lugar para caixas de peças pequenas;
 - Posto para *Kanbans*.
 - Suporta a sequência de trabalho;
 - Visualização da lista de *picking*;

Classificação de tarefas

As tarefas não cíclicas levam a:

- Diferentes fluxos de trabalho em cada ciclo:
 - Torna o trabalho normalizado difícil.
- Conteúdo de trabalho com flutuações:

- Torna o planeamento do ciclo do PoUP difícil

Avaliação dos tempos

Para determinação dos tempos correspondentes a cada tarefa, usa-se a Time Data Card for Logistics, que se encontra representada na figura 21.

Part or bin / crate - Get and Place		Code	Time in sec.
Bulky*	≤ 1 kg.	H-AB	2
	>1 kg. up to ≤ 8 kg.	H-AJ	3
	> 8 kg.	H-AM	5
Handful		H-AG	3
Handle Tool		H-HB	3
Additional Place		H-PX	1
Operate		H-BX	1
Visual Inspection		H-VA	0.5
Body Motions		Code	Time in sec.
Walk per meter		H-KA	1
Stoop, Bend, Kneel including Arise		H-KB	2
Motion Cycles		Code	Time in sec.
One move with hand or tool		H-ZX	1
Fasten and loosen		H-ZD	1

Driving – Additional activities		Code	Time in sec.
Put vehicle into operation including shut-down		F-FIB	12
Open and close driver's door (2x)		F-ZFT	8
Fasten and loosen the seat belt		F-ZSG	6
Trailer coupling (time per trailer incl. 4 mtr. walk)		F-AAN	11
Trailer decoupling (time per trailer incl. 4 mtr. walk)		F-AAB	9

Handling – Additional activities		Code	Time in sec.
Reading magnetic card		H-MEL	3
Transfer by pouring-out		H-UST	8
First transfer by shovel / scoop		H-UES	4
Each additional transfer by shovel / scoop		H-UZS	2
First scanning		H-ESC	3
Each additional scanning		H-ZSC	1
Handling of Shipping Documents		Code	Time in sec.
Minimal Actions (control and scan)		H-PHA	7
Medium Action Level (control, scan, compare and fasten)		H-PHB	25
High Action Level (control, scan, compare, fasten and mark)		H-PHC	40

C/MPD-KF3 (IE) 06.2010 © Robert Bosch GmbH reserves all rights even in the event of industrial property rights. We reserve all rights of disposal such as copying and passing on to third parties.

Figura 21 - Time Data Card for Logistics

Descrição de Trabalho Normalizado

A existência de um trabalho normalizado significa a existência de algo definido com o objetivo de garantir o máximo de produtividade. No caso do PoUP, a existência de um trabalho normalizado é necessária para garantir o cumprimento de uma rota e das quantidades a abastecer, de modo a garantir que não ocorrem perdas na produção devido à falta de matéria prima.

4.2.4 Definição de Ciclo de Abastecimento

Definição de quantidade por ciclo

A quantidade por ciclo corresponde ao número de peças para as quais o material é fornecido num conjunto durante um ciclo de abastecimento do PoUP.

A quantidade máxima possível por ciclo é influenciada por:

- Quantidade máxima de material que pode ser armazenada no ponto de uso;
- Capacidade máxima de transporte pelo carrinho;
- Quantidade mínima do tamanho do lote.

A quantidade mínima possível por ciclo é influenciada por:

- Material necessário para produzir um produto;
- Unidade de embalagem mais pequena:
 - Evitar contagens;
 - Se for possível a unidade já deve vir pronta para consumo do fornecedor externo;
 - Conteúdo de trabalho mínimo para um ciclo;

Definição do ciclo de abastecimento

Na figura 22 encontram-se representados os passos a seguir para determinar o ciclo de abastecimento. Um exemplo de aplicação encontra-se na figura 23.

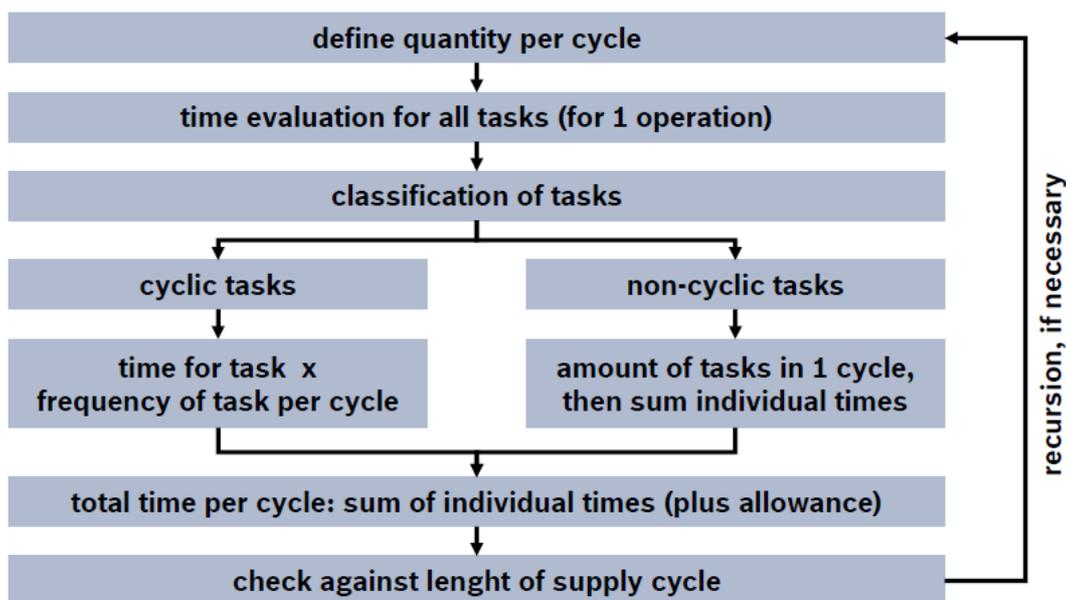


Figura 22 - Processo para determinar tempo de ciclo

Example:			
quantity per cycle: 6 pcs	time	frequency	
=> provide 6 housings	10s	6	1 min
=> provide 6 shafts	10s	6	1 min
=> provide 6 cylinders	10s	6	1 min
cyclic tasks (supply in sets)			3 min
walking time and other fixed work content per cycle			1 min
non-cyclic tasks	when?	time	
=> refill screws	if needed	2 min	
=> refill rings	if needed	2 min	
=> exchange pallet	each 5 cycles	6 min	
non-cyclic tasks per cycle	(0 – 10 min)		6 min
total time per supply cycle			10 min
supply cycle	6pcs x 2min/pcs (quantity per cycle x CT of line)		12 min
time buffer until next cycle	12min - 11min		2 min
time buffer (%)	2min / 10 min		20%

- linear relation with quantity per cycle (e.g. quantity 12 => 6 min)
- possible leaps in case of box handling

- constant in each cycle
- independent from quantity per cycle

- how many tasks can accumulate in 1 cycle?
- worst case (all) possible?
- here rule is set: no small parts supply in cycles with pallet exchange

- consider amount of parts used per piece
- if several CT's, use minimum

Figura 23 - Exemplo de determinação do tempo de ciclo

O buffer de tempo deve considerar:

- Tolerância standard (% adição ao tempo total por ciclo)
 - Tolerância Pessoal: 3,75%
 - Usualmente 8 a 10% é definido como o total de tolerância standard
- Buffer de tempo para flutuações
 - De desempenho dos operadores de linha
 - De esforço de tempo e quantidade de tarefas não cíclicas

Otimização do Ciclo de Abastecimento

Se o esforço de tempo por ciclo for maior que o comprimento do ciclo de abastecimento, existem várias opções, como:

- Distribuir a carga de trabalho por vários PoUP
- Evitar picos de carga de trabalho para tarefas não cíclicas
 - Realizar tarefas alternadamente em ciclos de abastecimento diferentes
- Eliminar desperdício no fluxo de trabalho
 - Distâncias de deslocamento (organização do supermercado)
 - Reembalamento/Isolamento de peças
 - Verificação visual (qualidade de abastecimento alta e processos mais estáveis)
 - Procura por material (organização do supermercado, posições claras no carro de transporte)
- Transferência de carga de trabalho para:

- *Milkrun*
- Operador de Linha
- Baixo custo de automação

4.2.5 Cálculo de Stocks nos Centros de Trabalho

O stock nos centros de trabalho deve cobrir o consumo de material durante o seu tempo de reabastecimento. O tempo de reabastecimento para cada produto define-se do seguinte modo:

- Abastecimento em conjuntos: 1 ciclo de abastecimento do PoUP
- *Kanban, 2-caixas*: tempo de informação adicional (máximo 1 ciclo de abastecimento)

Para o consumo da linha no tempo de reabastecimento:

- Considerar fator de uso
- No caso de tempos de ciclo da linha diferentes, usar o tempo de ciclo mais curto

4.2.6 Implementação e Otimização

Na implementação, ter em conta os seguintes aspectos:

- Depois do planeamento teórico deve existir um teste ao sistema no *shop floor*
- Deve-se eliminar diretamente problemas nos testes
- Verificar ergonomicamente o trabalho *standard*
- Treinar o colaborador, nomeadamente:
 - Rota e Sequência de trabalho
 - Variantes de produto
 - Condições e design do ponto de uso
 - Regras de controlo de consumo
- Como parte da gestão de desvios, medidas devem ser definidas para os seguintes problemas:
 - Abastecimento incorreto de peças
 - Abastecimento de peças atrasado
 - Perda de *Kanban*
 - Carrinho de transporte fora de serviço
 - Rota ou acesso ao centro de trabalho bloqueado
 - Lista de *picking* antiga ou incorreta

- É essencial uma comunicação regular entre o PoUP, *Milkrun* e o operador de linha

4.2.7 Considerações

Quando se pretende implementar um PoUP, determinadas considerações têm de ser tidas em conta, como:

- O PoUP não é “bombeiro”, ou seja, se este tiver de realizar outras tarefas que não estão definidas no seu trabalho standard, o abastecimento de material na linha pode falhar;
- O trabalho standard do PoUP deve ser verificado, melhorado e ajustado consoante mudança de parâmetros;
- O standard deve ser informado e treinado aos colaboradores de todos os turnos;
- Os chefes de linha são as pessoas de contacto para questões e são responsáveis pela confirmação e melhoria de standard.

4.3 Objeto de estudo

Nesta dissertação, o objetivo de estudo é a implementação do PoUP num determinado conjunto de linhas, nomeadamente correspondentes à área de Sistemas de Instrumentação (IS), com base num determinado conjunto de factores fundamentais para a realização da tarefa. Foram escolhidas as linhas da área de Sistemas de Instrumentação pois estas produzem um número de produtos por turno elevado, o que conseqüentemente significa um número elevado de peças necessárias num curto espaço de tempo. Pretende-se demonstrar que factores se deve ter em conta ao planear o trabalho normalizado do PoUP e também, através de técnicas de optimização, diminuir ao máximo os tempos de deslocamento e maximizar a ocupação do tempo de ciclo com tarefas de abastecimento.

4.3.1 Funções do PoUP

No objeto de estudo do PoUP, as funções identificadas no PoUP são as seguintes:

- Efetuar o *picking* no supermercado das caixas que são necessárias abastecer na linha. Os supermercados são um conjunto de estantes dinâmicas, pois estas possuem prateleiras inclinadas e com rolamentos, de modo a que os materiais deslizem por gravidade e se cumpra a regra FIFO. Um exemplo de supermercado encontra-se na figura 24.



Figura 24 – Exemplo de Supermercado

- Colocar e recolher caixas da rampa, onde cada rampa é destinada a uma determinada peça. Com o objetivo de respeitar a regra FIFO, também os níveis da rampa se encontram inclinados (as rampas destinadas ao abastecimento possuem uma inclinação para o interior da linha e as rampas destinadas à recolha possuem uma inclinação para o exterior da linha). Na figura 25 está representado um tipo de rampa existente nas linhas de produção.

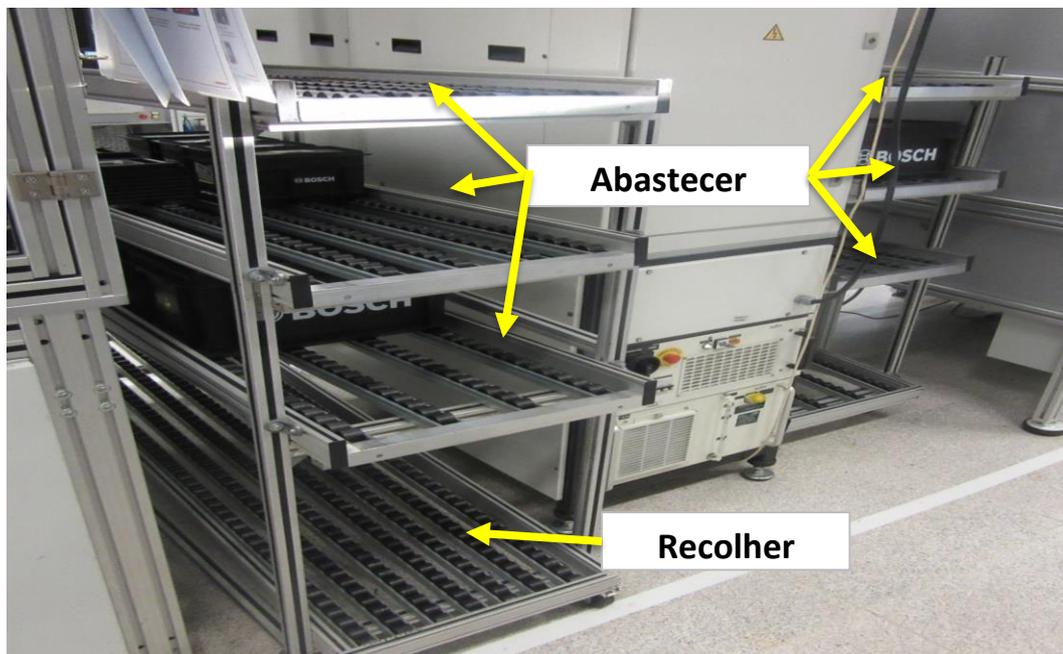


Figura 25 - Exemplo de Rampa de Colocação/Recolha de caixas

- Retirar e ler a etiqueta de cada caixa através de um PDA, tal como representado na figura 26. Esta tarefa é necessária porque cada caixa possui uma etiqueta com várias informações, como o tipo de peça que contém e a quantidade. Esta informação serve para o departamento de logística obter a informação de determinada peça e proceder à construção de um lote, que consoante o nível definido despoleta uma entrega de determinada peça no supermercado. Para efetuar este controlo existe um PDA com um *software* próprio instalado. A leitura pode ser de dois tipos: abastecer a linha (significa que a caixa de uma determinada peça vai ser usada) ou esvaziar *kanban* (significa que foi consumida uma caixa de uma determinada peça). Estes dois tipos de leitura permitem um melhor rastreamento de cada caixa.

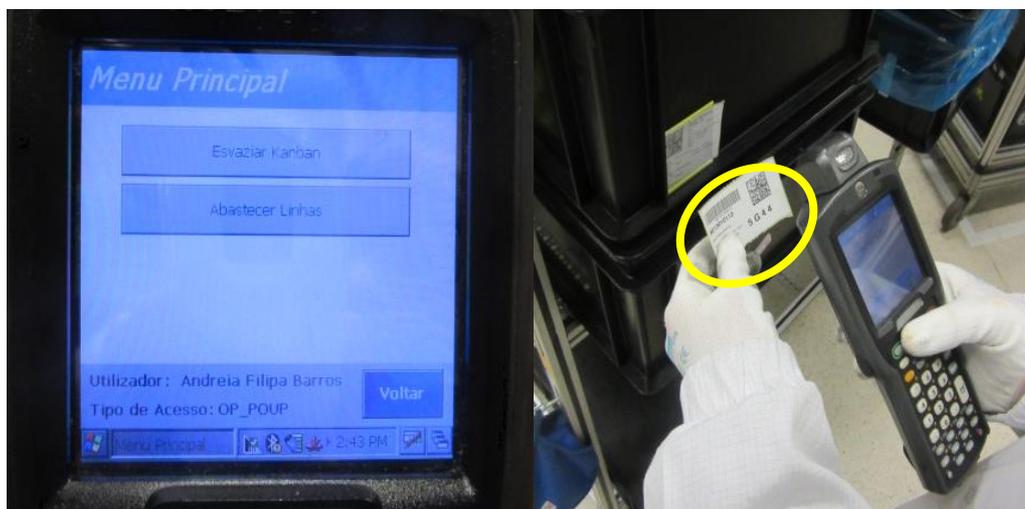


Figura 26 - PDA para leitura de etiquetas

- Separação de caixas vazias por fluxo interno/externo, onde existe uma carruagem própria num local definido para o efeito (Figura 27). As caixas de fluxo externo são aquelas que são enviadas diretamente ao fornecedor, para este abastecer com as peças destinadas. As caixas de fluxo interno são enviadas para a logística, onde são limpas e usadas para colocação de novas peças.

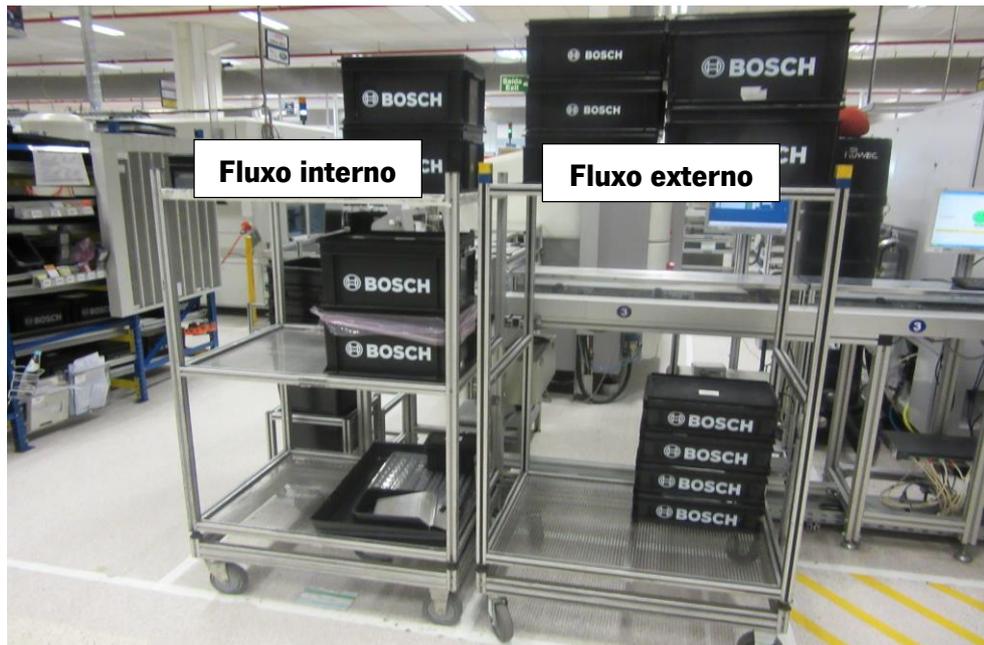


Figura 27 - Local de Separação de Caixas Vazias

- Efetuar construção de lotes. Esta tarefa é necessária em determinadas peças que ainda não possuem o sistema de leitura de etiquetas, logo a construção de lotes é manual. Sempre que se recolhe uma caixa retira-se o cartão e coloca-se no quadro de construção de lotes, representado na figura 28. Quando o lote estiver completo, o Point of Use Provider recolhe os cartões e junta-os com um elástico, deixando-os num depósito próprio para recolha fácil pelo *Milkrun*, levando assim a informação ao armazém de que é necessário reabastecimento daquela peça.



Figura 28 – Exemplo de Quadro de Construção de Lotes

- Troca de carruagens de Material Volumoso. A utilização de material volumoso (material cuja taxa de utilização é elevada) permite reduzir o espaço em supermercado, assim como a redução do número de movimentos do material. As caixas de material volumoso não se encontram no supermercado, mas sim em carruagens colocadas em locais próximos do ponto de consumo. Sempre que estas ficam vazias, é necessário efetuar a sua troca, pegando na carruagem e deslocando-se ao local onde se encontra a carruagem cheia. A carruagem de material volumoso normalmente é deixada pelo *Milkrun* no mesmo local onde se encontram os pontos de separação de caixas vazias. Esta é considerada uma tarefa não cíclica. Um exemplo de carruagem de material volumoso encontra-se na figura 29.



Figura 29 – Exemplo de Carruagem de Material Volumoso

4.3.2 Área de Estudo

Como já foi dito anteriormente, o objeto de estudo desta dissertação é a implementação do PoUP na área dos IS, em que neste caso foram estudadas cinco linhas de produção. Para as cinco linhas estão dedicados dois PoUP. Para uma fácil interpretação, representamos as linhas do seguinte modo (Figura 30).



Figura 30 - Representação das Linhas de Produção

Note-se que as linhas 1 e 3 aparecem repetidas. Isto acontece porque determinadas peças são preparadas num local (os quadrados mais pequenos) para serem posteriormente usadas para a montagem final, neste caso representado pelos quadrados maiores. Esta situação obriga a que o PoUP tenha que se deslocar primeiro a estes postos mais pequenos e só depois ir a determinadas rampas, que são aquelas onde vão entrar as peças recolhidas nestes postos.

Quanto à alocação de cada PoUP, a situação neste momento é que existe um PoUP para abastecer as linhas 1 e 2, que neste caso vamos designar PoUP1, e outro PoUP para abastecer as linhas 3, 4 e 5, que vamos designar PoUP2.

O que se verificou é que o PoUP1 não possui uma rota definida, ou seja, por cada ciclo de abastecimento efetuava percursos bastante irregulares. Já o PoUP2 efetua uma rota constante ao longo dos vários ciclos de abastecimento. Isto é favorável pois permite um maior controlo do consumo da linha de produção. A rota efetuada pelo PoUP2 está representada na Figura 31:

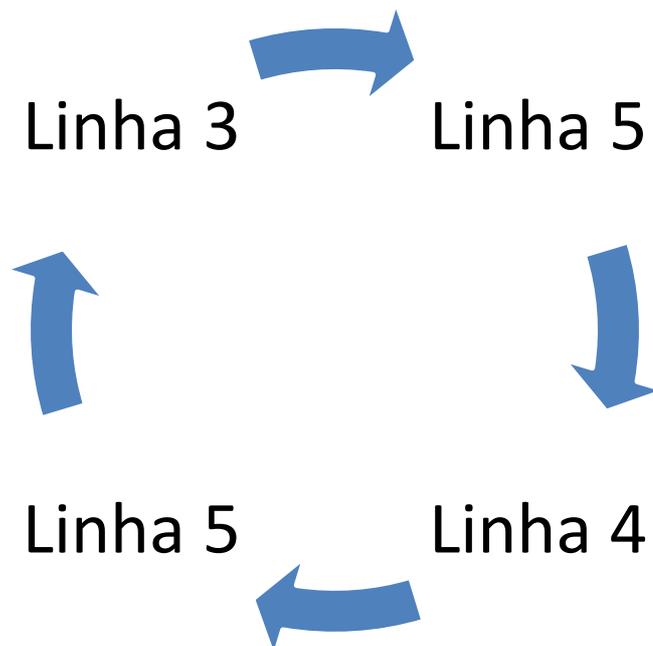


Figura 31 - Representação da Rota desempenhada pelo PoUP2

O que se observou foi que o facto da linha 5 ter um consumo bastante elevado de peças leva a que no mesmo ciclo o PoUP tenha de abastecer a linha duas vezes. No entanto, através de observações do percurso que a pessoa responsável pelo abastecimento fazia, verificou-se que:

- A quantidade de caixas excedia a capacidade do meio de transporte;
- Existia a necessidade de uma segunda pessoa, que não é PoUP, efetuar os abastecimentos que este não conseguia efetuar, pois o tempo que demorava a fazer o percurso era superior à quantidade que era abastecida na linha. Através de várias observações verificou-se que o PoUP demorava cerca de 20 minutos a abastecer as três linhas.

Outra das observações durante este processo foi que, apesar de no caso do PoUP2 existir uma rota definida (neste caso pela pessoa responsável pela tarefa), não existia qualquer critério definido no que toca a quantidades a abastecer nos pontos de uso, assim como não existia qualquer trabalho normalizado para a realização da tarefa.

Neste sentido, tornou-se necessário criar um documento para auxiliar na tarefa de definição de quantidades a abastecer nos pontos de uso, assim como um método para obter uma rota que diminua o tempo gasto em deslocamentos.

- **Ponto de Paragem:** Ponto de paragem no qual a rampa será abastecida;
- **PN:** Referência da matéria-prima a ser abastecida;
- **Qtd./Caixa:** Quantidade de matéria-prima que traz cada caixa;
- **Designação:** Designação da matéria-prima;
- **Observações:** Observações a ter em conta sobre a matéria-prima aquando da definição do trabalho normalizado;
- **Tipo de Caixa:** Tipo de caixa em que vem a matéria-prima (referência utilizada pela empresa);
- **Volume para 1 caixa (cm³):** Volume que uma caixa de determinada referência possui;
- **Tipo de Rampa:** Definição se a rampa é de abastecimento, de recolha ou se é dos dois tipos;
- **Local de Picking:** Local no supermercado onde se encontra a matéria-prima. Esta informação pode ser usada ou não no cálculo do tempo de deslocamento;
- **Consumo do PN para a produção de 1x produto:** Quantidade de matéria-prima necessária para cada produto;
- **Qtd. Necessária caixas/hora:** Quantidade de caixas necessárias de cada matéria-prima por hora. Esta informação está dependente da quantidade de produtos a ser produzidos por hora;
- **Qtd. Necessária caixas/turno:** Quantidade de caixas necessárias de cada matéria-prima por turno. Esta informação está dependente da quantidade de produtos a ser produzidos por cada turno. Na empresa em estudo o dia é dividido em 3 turnos;
- **Duração Ciclo (em min) - para UMA caixa:** Representa em quanto tempo uma caixa de uma determinada matéria-prima é consumida;
- **Nº caixas para Ciclo X:** Número de caixas necessárias para o tempo de ciclo definido. Este tempo é definido pelo responsável do trabalho normalizado;
- **Volume ocupação no carrinho (cm³):** Volume que cada matéria-prima ocupa no carrinho por ciclo;
- **Volume ocupação no carrinho (cm³):** Volume total disponível no carrinho. O carrinho possui como medidas úteis dois níveis, cada um com 95 cm x 43 cm x 61 cm;
- **% Ocup. Volumétrica:** Percentagem de espaço que cada matéria-prima ocupa no carrinho por ciclo;
- **% Ocup. Volumétrica acumulada:** Percentagem acumulada de espaço ocupado no carrinho. Esta informação é útil para perceber os limites do carrinho quando se define a quantidade a abastecer;

- **Capacidade da rampa:** Quantidade de caixas de matéria-prima que é possível abastecer na rampa;
- **% Ocup. Volumétrica da rampa:** Percentagem de espaço ocupado na rampa por matéria-prima. Esta informação é, tal como a ocupação volumétrica acumulada, útil para perceber os limites da rampa quando se define a quantidade a abastecer.

Para preencher os dados da folha principal são necessários dados que se encontram em outras folhas, nomeadamente:

- **Dados das linhas**

Dados	
minutos por turno	457,00
Horas por turno	7,62

min horas

Linha	Produto	Qtd./Turno	Qtd./hora	Dur. Ciclo	N° ciclos/turno
			0,00	*/H/D	*/H/D

Figura 33 – Ferramenta de Suporte (Dados das Linhas)

Nesta folha (Figura 33) é onde se encontra a informação sobre a duração de cada turno em horas e em minutos. As outras informações que se encontram são:

- **Linha:** Linha de Produção;
- **Produto:** Produto para o qual está a ser planeado o trabalho normalizado (no caso de existir mais que um produto na mesma linha);
- **Qtd./Turno:** Quantidade produzida por turno de um determinado produto;
- **Qtd./Hora:** Quantidade produzida por hora de um determinado produto;
- **Dur. Ciclo:** Tempo de ciclo definido para o PoUP;
- **N° ciclos/turno:** Número de ciclos de abastecimento necessários por turno, com base no tempo de ciclo definido para o PoUP.

- **Tempos de Ciclo**

	A	B
	Linha	Tempo de Ciclo
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Figura 34 - Ferramenta de Suporte (Tempos de Ciclo)

Nesta folha (Figura 34) são inseridos os tempos de ciclo definidos para cada linha. Este tempo funciona como um tempo de cobertura, para que a linha nunca tenha falta de material nos intervalos de tempo em que o PoUP não passe por ela. Por essa razão, é possível que, nos casos em que o PoUP abasteça duas linhas no mesmo ciclo, estas tenham tempos de cobertura diferentes.

- **Lotes**

	A	B	C	D	E	F
	PN	N° cartões	Qtd. Necessária/turno	Ciclo abastecimento (1 cx) [min]	Ciclo construção de cartões (mi)	
1					0,00	
2					0,00	
3					0,00	
4					0,00	
5					0,00	
6					0,00	
7					0,00	
8					0,00	
9					0,00	
0					0,00	
1					0,00	

Figura 35 - Ferramenta de Suporte (Lotes)

Na folha Lotes (Figura 35) encontra-se a informação dos produtos para os quais é necessária a construção de lotes. As informações a inserir são:

- **PN:** Referência da matéria-prima para a qual se vai fazer construção de lotes;
- **N° cartões:** Número de cartões necessários para a construção de um lote. Após atingir esse número, é despoletada uma ordem para a Logística abastecer o supermercado com caixas dessa matéria-prima;
- **Qtd. Necessária/Turno:** Quantidade necessária de caixas de determinada matéria-prima por turno;
- **Ciclo abastecimento (1 cx) [min]:** Esta coluna representa em quantos minutos uma caixa de uma determinada matéria-prima é consumida;
- **Ciclo construção de cartões (min):** Representa, em minutos, ao fim de quanto tempo é possível construir um lote de uma determinada matéria-prima.

- **Volumoso**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Volumoso	Linha	PN	Capacidade da carruagens (cxs)	Consumo (min)	Reposição (min)	N° ciclos/turno	N° ciclos/turno	N° vezes/ciclo
1									
2					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
3					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
4					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
5					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
6					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
7					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
8					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
9					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D
10					0,00		#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D

Figura 36 - Ferramenta de Suporte (Volumoso)

Na folha Volumoso (Figura 36) encontra-se a informação relativa à matéria-prima que é considerada material volumoso. As informações a inserir são:

- **Volumoso:** Identificação do volumoso (p.e. Volumoso 1);
- **Linha:** Linha de produção onde será abastecido o material volumoso;
- **PN:** Referência da matéria-prima considerada material volumoso;
- **Capacidade da carruagens (cxs):** Nesta coluna encontra-se a informação sobre a quantidade de caixas que a carruagem de material volumoso possui;
- **Consumo (min):** Representa o tempo, em minutos, em que é consumida a quantidade de determinada matéria-prima abastecida na linha;
- **Reposição (min):** Representa, em minutos, de quanto em quanto tempo é necessário substituir a carruagem de material volumoso por uma cheia;
- **Nº ciclos/turno:** Representa a quantidade de vezes por ciclo em que é necessário substituir a carruagem de material volumoso. Este valor é representado no resultado normal, e noutra coluna arredondado por excesso;
- **Nº vezes/ciclo:** Número de vezes por ciclo que é necessário efetuar a troca de carruagem. Este valor, apesar de pequeno, é necessário ao efetuar o trabalho normalizado.

• **Tempos de Atividade**

	A	B
1	Atividade	Tempo (s)
2	Colocar Caixas na	5
3	Recolher Caixas da	7
4	Retirar Etiquetas	7
5	Ler Etiquetas	5
6	Separar Caixas	12
7		

Figura 37 – Ferramenta de Suporte (Tempos de Atividade)

Os tempos de cada tarefa encontram-se na folha Tempos de Atividade (Figura 37). Estes tempos foram obtidos através de diversas observações à pessoa responsável pela tarefa do PoUP.

- **Tipos de Caixas**

	A	B	C	D	E
1	Tipo caixa	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm3)
2	BAND P	45,00	35,00	7,00	11025,00
3	BG	24,50	17,00	10,00	4165,00
4	BM	17,20	12,00	10,00	2064,00
5	BP	17,20	8,00	5,00	688,00
6	ET12	60,00	40,00	12,00	28800,00
7	ET8	60,00	40,00	8,00	19200,00
8	RK12	40,00	30,00	12,00	14400,00
9	RK12P	20,00	15,00	12,00	3600,00
10	BAND G	65,00	45,00	15,00	43875,00
11	RK17	40,00	30,00	17,00	20400,00
12	RK22	40,00	30,00	22,00	26400,00
13	RK22G	60,00	40,00	22,00	52800,00
14	RK22P	30,00	20,00	22,00	13200,00
15	RK7	40,00	30,00	7,00	8400,00
16	TAB	60,00	40,00	5,00	12000,00
17	TG	59,00	13,00	10,00	7670,00
18	TP	16,50	10,00	7,30	1204,50
19	OR	59,70	39,20	5,10	11935,22
20	OR1	60,00	40,00	38,00	91200,00

Figura 38 - Ferramenta de Suporte (Tipos de Caixas)

Na folha Tipos de Caixas (Figura 38) encontram-se os volumes de todas as caixas usadas para abastecimento de matéria-prima. Tal como referido anteriormente, estes volumes são necessários para analisar a ocupação volumétrica do carrinho que faz o transporte dessas caixas.

- **Outras Folhas Úteis**

Nesta ferramenta de suporte foram criadas outras duas folhas que podem ser úteis para a pessoa responsável pela definição do trabalho normalizado. Uma das folhas designa-se por Deslocamentos (Figura 39), onde podem ser colocados os valores de distâncias entre os vários pontos definidos no layout.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG			
1																																				
2	0		32,6	32,1	23,7	25,9	24,9	32	36,8	25,4	25,8	22	27,2	34	46,1	36,1	34,6	33,1	31,6	22,1	25,4	31,1	33	34,5	36,6	39,3	40,6	41,9	48,8	41,9	31,6	24,2				
3	1	32,6		13,6	17,8	26,1	30,9	50	54,8	40,3	40,7	36,8	42	48,8	73,8	63,8	62,3	60,8	59,3	49,9	53,1	58,8	60,8	62,2	64,3	67	68,4	69,7	78,5	63,7	59,3	43,6				
4	4	32,1	13,6		17,3	25,6	30,4	49,5	54,3	39,8	40,2	36,3	41,5	48,3	73,3	63,3	61,8	60,3	58,8	49,4	52,6	58,3	60,3	61,7	63,8	66,6	67,9	69,2	76	63,2	58,8	43,1				
5	6	23,7	17,8	17,3		17,1	22	41,1	45,9	31,3	31,7	27,9	33,1	39,9	64,9	54,9	53,4	51,9	50,4	40,9	44,2	49,9	51,8	53,3	55,4	58,1	59,4	60,7	67,6	60,7	50,4	34,7				
6	8	25,9	26,1	25,6	17,1		4,81	24	28,7	33,6	34	30,1	35,3	42,1	52,7	42,7	41,2	39,7	38,2	28,8	32	37,7	39,7	41,1	43,2	46	47,3	48,6	55,4	48,6	38,2	30,8				
7	9	24,9	30,9	30,4	22	4,81		18,1	23,9	38,4	38,8	34,9	40,1	41,9	47,9	37,9	36,4	34,9	33,4	24	27,2	32,9	34,9	36,3	38,4	41,1	42,5	43,8	50,6	43,8	33,4	26				
8	12	32	50	49,5	41,1	24	18,1		4,75	48	48,4	53,8	55,8	49	55,1	45,1	43,5	42	40,8	31,1	34,4	40,1	42	43,5	45,5	48,3	49,6	50,9	57,8	50,9	40,8	33,2				
9	14	36,8	54,8	54,3	45,9	28,7	23,9	4,75		52,8	53,2	58,6	60,5	53,8	59,8	49,8	48,3	46,8	45,3	35,9	39,1	44,8	46,8	48,2	50,3	53,1	54,4	55,7	62,5	55,7	45,3	37,9				
10	23	25,4	40,5	39,8	31,3	33,6	38,4	49	52,8		4,28	17,5	12,9	8,65	35,8	25,9	24,3	22,8	21,3	23,9	27,2	32,9	34,8	36,2	38,3	38,9	37,6	36,3	43,6	43,7	33,3	17,7				
11	24	25,8	40,7	40,2	31,7	34	38,8	49,4	53,2	4,28		17,2	12	8,31	35,5	25,5	24	22,5	21	24,3	27,6	32,5	34,5	35,9	39	38,8	37,2	35,3	43,2	43,4	33	18,1				
12	26	22	36,8	36,3	27,9	30,1	34,9	53,8	59,6	17,5	17,2		5,22		39,2	29,2	27,6	26,1	24,7	23,7	33	36,2	38,1	39,6	41,7	42,2	40,9	39,6	46,9	47,1	38,7	23,5				
13	29	27,2	42	41,5	33,1	35,3	40,1	55,8	60,5	12,3	12	5,22		6,77	34	24	22,4	20,9	19,5	14,7	27,9	31	32,9	34,4	36,4	37	35,7	34,4	41,7	41,8	31,4	28,7				
14	31	34	48,8	48,3	39,9	42,1	41,9	49	53,8	8,65	9,31	12	8,77		27,2	17,2	15,7	14,2	12,7	17,9	21,2	24,2	26,2	27,6	29,7	30,2	28,9	27,6	34,9	35,1	24,7	26,3				
15	33	46,1	73,8	73,3	64,9	52,7	47,9	55,1	59,8	35,8	35,5	39,2	34	27,2		3,97	11,5	10	14,5	24	22,8	28,1	28,1	24,7	22,6	19,8	18,5	17,2	24,5	31,4	30,7	33,1				
16	35	36,1	63,8	63,3	54,9	42,7	37,9	45,1	49,8	25,9	25,5	29,2	24	17,2	9,97		1,55	3,08	4,52	14	17,2	20,3	19,3	17,9	15,8	13	11,7	10,4	17,7	24,6	20,8	23,1				
17	36	34,6	62,3	61,8	53,4	41,2	36,4	43,5	48,3	24,3	24	27,6	23,8	15,7	11,5	1,55		1,51	2,98	12,4	15,7	18,7	20,7	19,4	17,4	14,6	13,3	12	19,3	21,6	17,2	21,5				
18	37	33,1	60,8	60,3	51,9	39,7	34,9	42	46,8	22,8	22,5	26,1	20,9	14,2	12	3,08	1,51		1,46	10,9	14,2	17,2	19,2	20,6	19,9	16,1	14,8	13,5	20,8	27,6	19,7	20				
19	38	31,6	59,3	58,8	50,4	38,2	33,4	40,6	45,3	21,3	21	24,7	18,5	12,7	19,5	4,52	2,98	1,45		3,47	12,7	15,8	17,7	18,2	20,3	17,6	16,2	14,9	22,2	28,6	16,2	18,6				
20	41	22,1	49,9	49,4	40,9	28,8	24	31,1	35,9	23,9	24,3	29,7	24,7	17,9	24	14	12,4	10,9	9,47		3,26	8,97	10,9	12,3	14,4	17,2	18,5	19,8	26,7	19,8	9,43	9,11				
21	42	25,4	53,1	52,6	44,2	32	27,2	34,4	39,1	27,2	27,6	33	27,9	21,2	27,2	17,2	15,7	14,2	12,7	3,26		5,71	7,65	9,08	11,2	13,9	15,3	16,6	23,4	16,6	6,18	12,4				
22	45	31,1	58,8	58,3	49,9	37,7	32,9	40,1	44,8	32,9	32,5	36,2	31	24,2	28,1	20,3	18,7	17,2	15,8	8,97	5,71		1,94	3,37	5,46	8,23	9,54	10,9	20,2	13,3	2,95	18,1				
23	46	33	60,8	60,3	51,9	39,7	34,9	42	46,8	34,8	34,5	38,1	32,9	26,2	26,1	19,3	20,7	19,2	17,7	10,9	7,65	1,94		1,43	3,53	6,29	7,6	8,92	20,3	15,3	4,98	20				
24	47	34,5	62,2	61,7	53,3	41,1	36,3	43,5	48,2	36,2	35,9	38,6	34,4	27,6	24,7	17,9	19,4	20,6	19,2	12,3	9,08	3,37	1,43		2,09	4,96	6,17	7,48	18,9	16,7	6,32	21,5				
25	48	36,6	64,3	63,8	55,4	43,2	38,4	45,5	50,3	38,3	38	41,7	36,4	29,7	22,6	15,8	17,4	18,9	20,3	14,4	11,2	5,46	3,53	2,09		2,77	4,09	5,38	16,8	18,8	8,41	23,5				
26	49	39,3	67	66,6	58,1	46	41,1	48,3	53,1	38,9	38,6	42,2	37	30,2	19,8	13	14,6	16,1	17,6	17,2	13,9	8,23	6,29	4,86	2,77	1,31	2,62	14	20,9	11,2	26,3					
27	50	40,6	68,4	67,9	59,4	47,3	42,5	49,6	54,4	37,6	37,2	40,9	35,7	28,9	18,5	11,7	13,3	14,8	16,2	18,5	15,3	9,54	7,6	6,17	4,08	1,31	1,31	12,7	19,6	12,5	27,6					
28	51	41,9	69,7	69,2	60,7	48,6	43,8	50,9	55,7	36,3	35,9	39,6	34,4	27,6	17,2	10,4	12	13,5	14,9	19,8	16,6	10,9	8,92	7,48	5,39	2,62	1,31	11,4	19,3	13,8	28,9					
29	54	48,8	76,5	76	67,6	55,4	50,6	57,8	62,5	43,6	43,2	46,9	41,7	34,9	24,5	17,7	19,3	20,8	22,2	26,7	23,4	20,2	20,3	18,9	16,8	14	12,7	11,4	16,8	17,2	35,8					
30	55	41,9	69,7	69,2	60,7	48,6	43,8	50,9	55,7	43,7	43,4	47,1	41,8	35,1	31,4	24,6	26,1	27,6	26,6	19,8	16,6	13,3	15,3	16,7	18,8	20,9	19,6	18,3	6,85	10,4	28,9					
31	57	31,6	59,3	58,8	50,4	38,2	33,4	40,6	45,3	33,3	33	36,7	31,4	24,7	30,7	20,8	19,2	17,7	16,2	9,43	6,18	2,95	4,88	6,32	8,41	11,2	12,5	13,8	17,2	10,4	18,5					
32	58	24,2	43,6	43,1	34,7	30,8	26	33,2	37,9	17,7	18,1	23,5	28,7	26,3	33,1	23,1	21,5	20	18,6	9,11	12,4	18,1	20	21,5	23,5	26,3	27,6	28,9	35,8	28,9	18,5					
33																																				
34																																				

Figura 39 – Ferramenta de Suporte (Deslocamentos)

A outra folha designa-se por Layout (Figura 40), onde se pode colocar simplesmente uma ilustração do layout com identificação das rampas a abastecer e dos pontos de paragem.

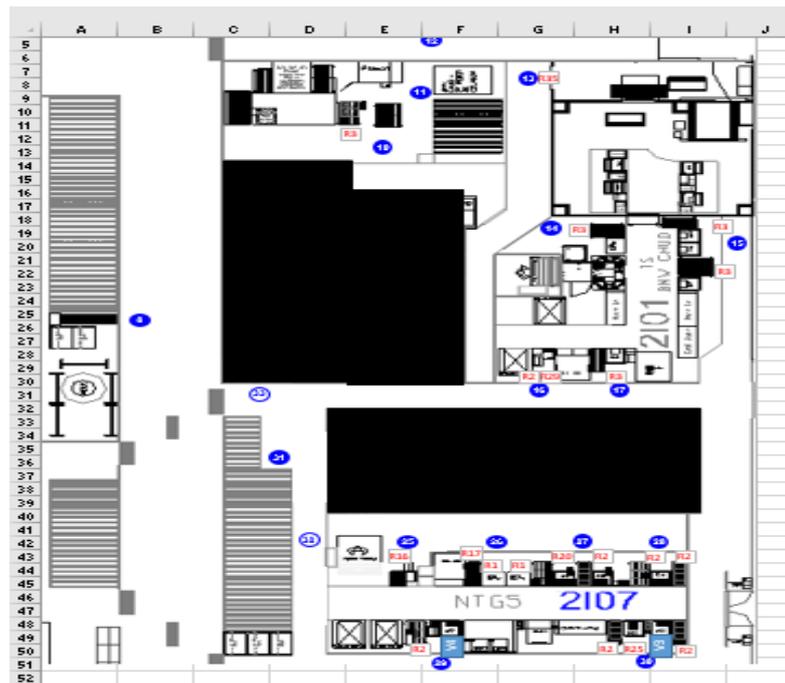


Figura 40 - Ferramenta de Suporte (Layout)

5.2 Definição da Estratégia de Abastecimento

Ao analisar as várias linhas e o *layout* geral, procedeu-se à identificação das rampas que cada linha possui (pistas gravíticas dispostas em pontos estratégicos nas linhas, nas quais as caixas de material são colocadas) e os pontos de paragem necessários para o PoUP, incluindo o abastecimento de rampas, separação de caixas, *picking* e construção de lotes. A representação encontra-se na figura 41.

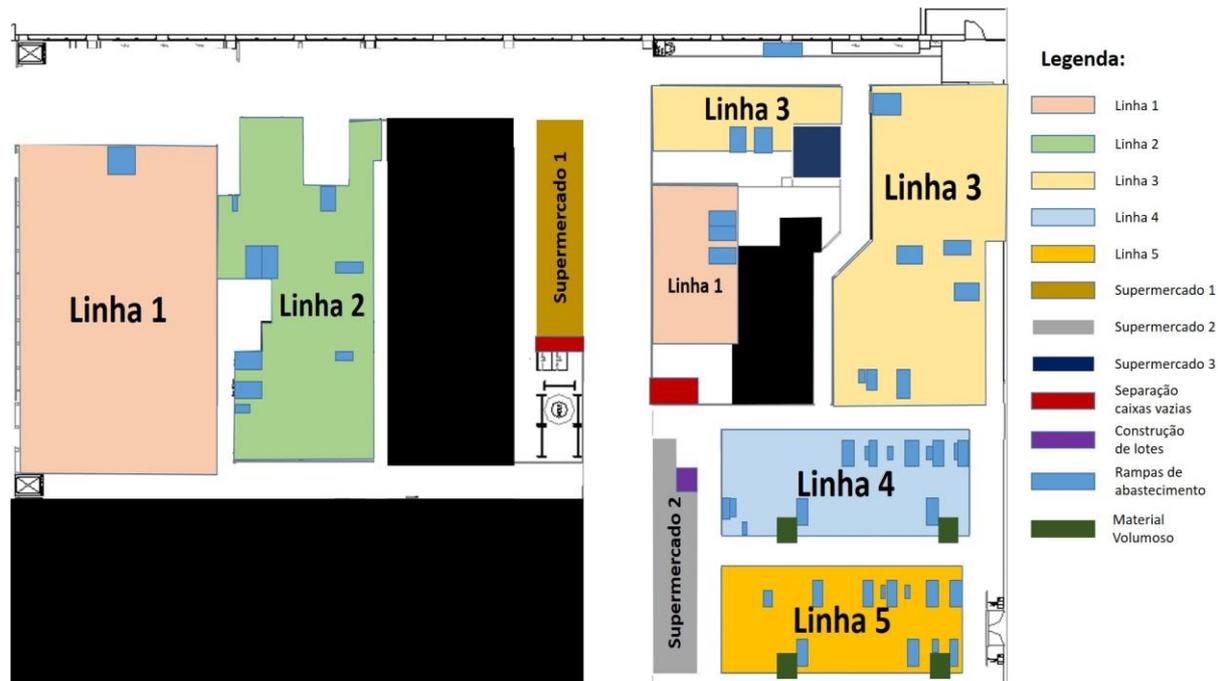


Figura 41 - Representação dos Locais de Paragem

Dentro de cada linha encontram-se representadas as rampas a abastecer nas linhas. Algumas rampas são de abastecimento e retorno. Com a cor verde estão representados os locais onde estão as carruagens de material volumoso. Como já dito anteriormente, estas encontram-se próximas às rampas onde vai entrar o seu material. Também se encontram representados os supermercados, onde é efetuado o *picking* das caixas de material. O supermercado mais à esquerda (Supermercado 1) é destinado ao abastecimento das Linhas 1 e 2, enquanto que o supermercado mais à direita (Supermercado 2) é destinado ao abastecimento das Linhas 3, 4 e 5. O outro supermercado representado (Supermercado 3) serve como um supermercado intermédio para a linha 3, isto é, certos componentes são montados no quadrado mais pequeno da Linha 3, são colocados no Supermercado 3 e posteriormente o PoUP irá fazer o *picking* nesse supermercado para abastecer as restantes rampas da Linha 3. A vermelho estão representados os locais onde é feita a separação de caixas vazias. O local representado mais à esquerda

é destinado à colocação de caixas vazias de PCB's. Por fim, a roxo encontra-se representado o local onde é feita a construção de lotes.

5.2.1 Definição de Pontos de Paragem

Depois de identificados todos os locais onde o PoUP tem de passar, procedeu-se à definição dos pontos de paragem que este terá de efetuar no seu percurso, quando for abastecer uma rampa, efetuar *picking* ou separar caixas. Na figura 42 encontra-se representada a área em que o PoUP pode circular.

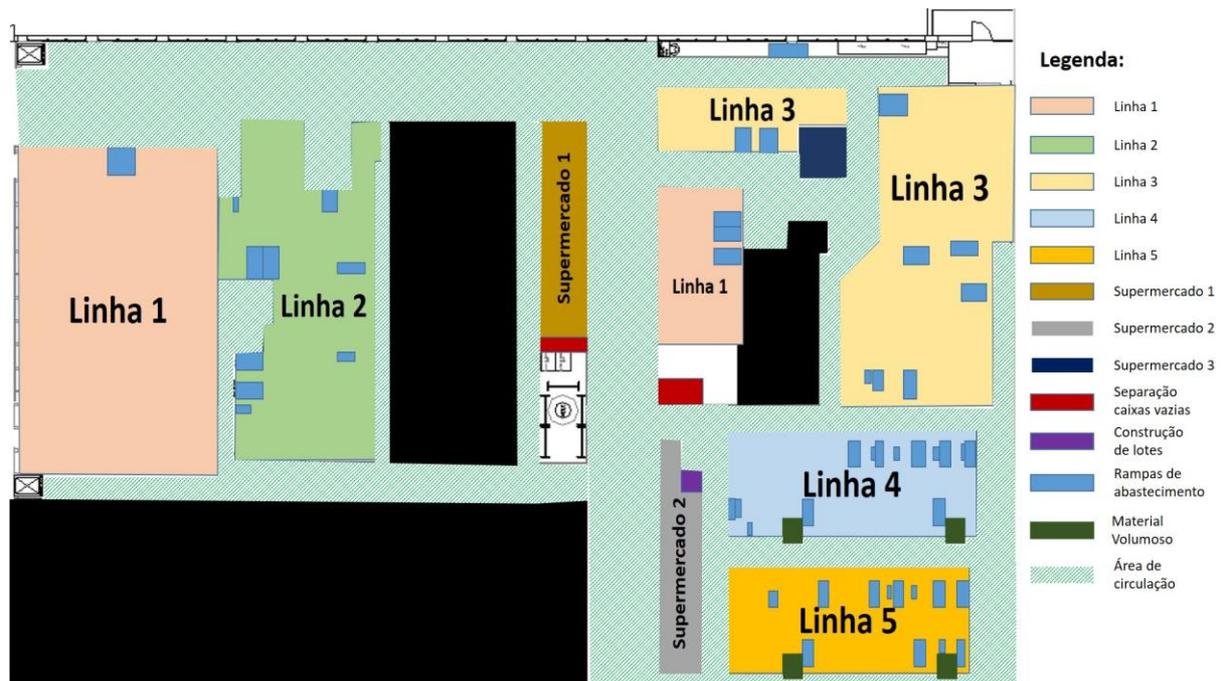


Figura 42 - Representação da área possível de circulação do PoUP

Um dos fatores mais notáveis é que devido às linhas 1 e 2 se encontrarem juntas, torna-se difícil a circulação a curtas distâncias. Também o facto das duas áreas correspondentes à linha 1 se encontrarem bastante distantes uma da outra traz um acréscimo ao tempo gasto em deslocação.

Com os locais de paragem e a área de circulação determinados, procede-se à definição de pontos de paragem. Não foi considerada uma paragem para cada rampa porque existem rampas que estão bastante próximas umas das outras. Com base nisso, foi definido um ponto de paragem comum, a uma distância aproximadamente similar das rampas a abastecer. Os pontos de paragem definidos encontram-se representados na figura 43.

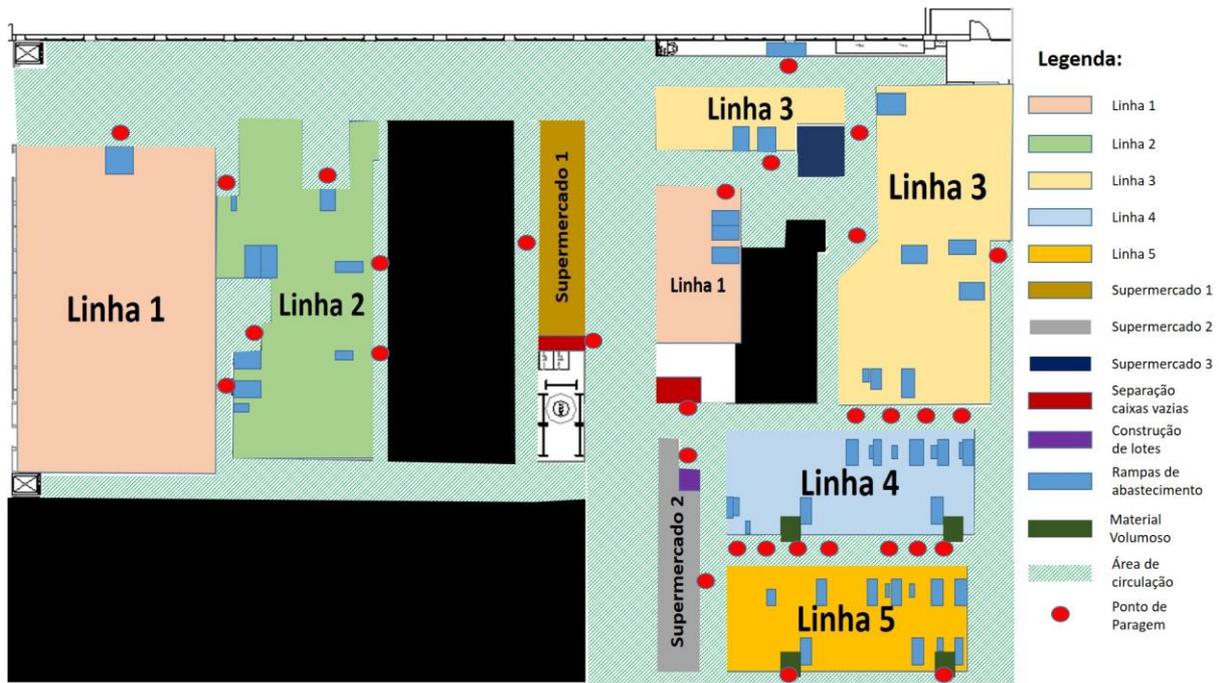


Figura 43 - Representação dos Pontos de Paragem no Layout

Com a definição dos pontos de paragem, procedeu-se à determinação das várias distâncias entre eles. Para um melhor resultado, optou-se por definir pontos de cruzamento e posteriormente, através de uma técnica de otimização, determinar o caminho mais curto que liga um ponto ao outro. Na figura 44 encontram-se os vários pontos de cruzamento existentes. As distâncias entre eles foram retiradas com recurso ao *software* Autocad.

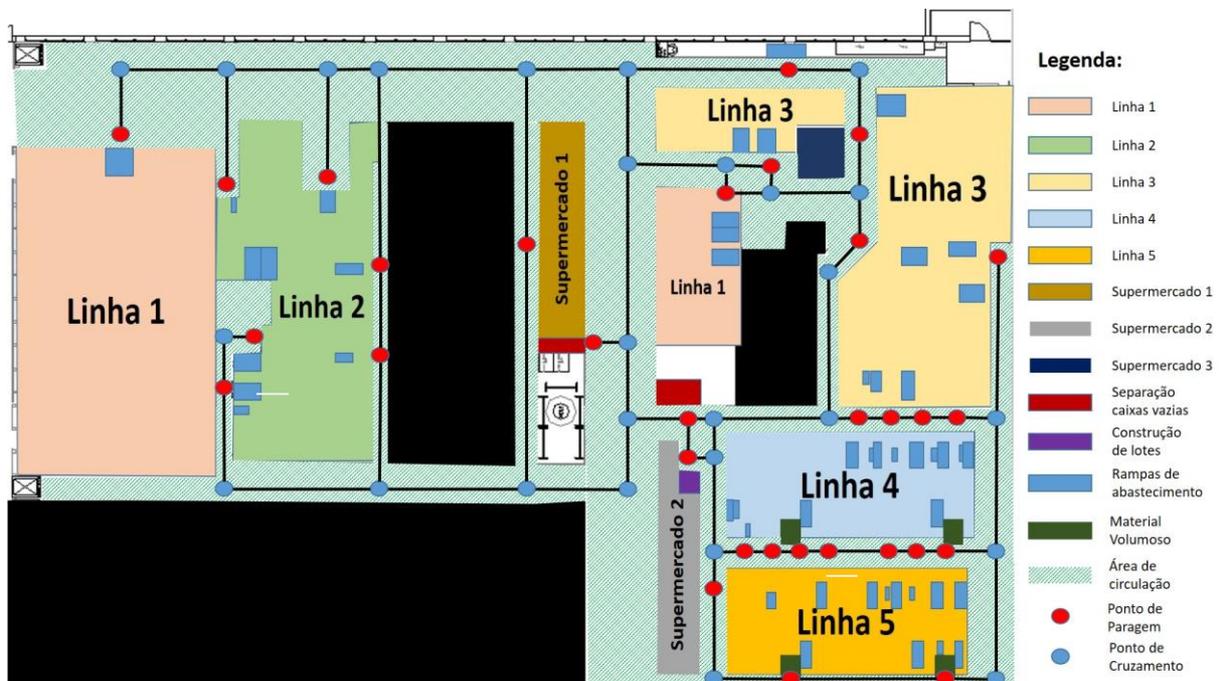


Figura 44 - Representação dos Cruzamentos entre Pontos de Paragem

Depois de definir os vários cruzamentos existentes entre os pontos de paragem, chegou-se a um total de 66 distâncias, cujas medidas se encontram na seguinte tabela:

Tabela 1 - Valores das distâncias entre os vários pontos

Distância	Valor (mm)	Distância	Valor (mm)	Distância	Valor (mm)
1-2	2929	19-18	9081	43-44	3103
2-3	4118	18-17	4620	44-57	1707
3-4	6553	20-41	3519	57-56	5586
3-5	6292	18-22	5199	56-55	4797
5-6	4418	17-26	8344	55-54	6853
5-7	3045	26-27	2110	54-53	2541
7-8	9683	26-28	3913	53-52	6819
8-9	4813	28-29	1308	52-34	6783
9-10	5991	29-30	5225	34-33	8382
10-11	9076	25-30	4791	52-51	2041
11-12	4081	23-25	2310	51-50	1312
12-13	2503	24-25	1971	50-49	1312
13-14	2243	22-24	2372	49-48	2765
10-15	7350	22-23	1971	48-47	2092
7-16	7322	30-31	1544	47-46	1434
15-0	11520	31-32	2316	46-45	1937
0-16	8869	32-39	8249	45-44	1240
15-21	4415	39-40	5969	34-35	1587
16-17	4756	40-41	1368	36-35	1554
21-20	2675	41-42	3256	36-37	1505
20-19	4169	40-43	3336	38-37	1456
58-19	1424	42-43	1368	38-39	2133

5.2.2 Determinação das Distâncias Mínimas entre Pontos de Paragem

Na tabela anterior encontram-se os resultados obtidos entre os vários pontos definidos no *layout*. No entanto, pretende-se apenas saber a distância entre os pontos de paragem que vão ser realmente usados nas tarefas. Para obter essas distâncias, assumiu-se um modelo de programação linear e considerou-se este um problema de caminho mais curto. O modelo de programação linear utilizado foi o seguinte:

Parâmetros:

A: conjunto de todos os arcos da rede

c_{ij} : valor do arco de *i* para *j*, $\forall ij \in A$

origem: nodo de origem do caminho

destino: nodo de destino do caminho

Variáveis de decisão:

$x_{ij} = 1$ se o arco ij faz parte do caminho mais curto

$x_{ij} = 0$ se o arco ij não faz parte do caminho mais curto

Modelo:

$$\text{Min } z = \sum_{ij \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

sujeito a:

$$\sum_{j:ij \in A} x_{ij} - \sum_{j:ji \in A} x_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{se } i = \text{origem} \\ 0, & \text{se } i \neq \text{origem}, i \neq \text{destino}, \forall i \in N \\ -1, & \text{se } i = \text{destino} \end{cases} \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall ij \in A \quad (10)$$

A equação (8) representa o que queremos minimizar, que neste caso é o somatório do produto do custo do arco ij e da variável x_{ij} . Caso, por exemplo, o arco 1-2 seja utilizado na solução, o custo associado a esse arco é incluído no custo total da solução. As equações (9) e (10) representam as restrições a que o problema está sujeito, onde a equação (9) define qual é o ponto de origem e o ponto de destino, e a equação (10) tem como objetivo única e exclusivamente garantir que o resultado da variável de decisão é maior do que zero (neste caso terá como resultado 0 ou 1). O problema possui apenas um tipo de variável de decisão, que define se o arco ij é ou não utilizado no caminho definido.

O modelo foi otimizado através do Microsoft Excel e com recurso ao addin *OpenSolver*. Os resultados obtidos encontram-se no Anexo I. Os resultados encontram-se em metros, no entanto correspondem também ao tempo que demora a ir de um ponto de paragem a outro, pois foi considerado que cada metro demora um segundo a percorrer. Na figura 45 encontra-se o resultado obtido para o caminho mais curto entre o ponto de paragem 1 e o ponto de paragem 54.

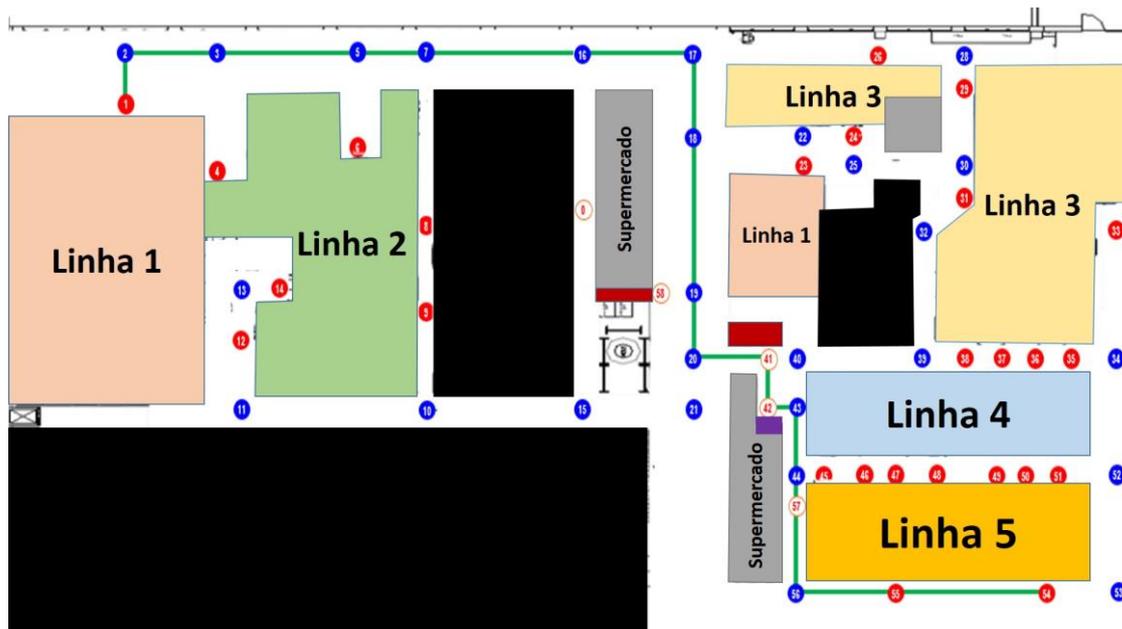


Figura 45 - Ilustração do caminho mais curto entre 1 e 54

5.3 Identificação dos produtos produzidos em cada linha

Após a identificação dos pontos de paragem e com a definição das linhas a analisar, procedeu-se à identificação dos produtos que são produzidos em cada linha. Note-se que alguns produtos podem ter várias variantes, o que leva a que as peças para cada um sejam diferentes. Para a implementação deste PoUP, considerou-se a variante em que a quantidade de peças por caixa é menor, o que significa que essa caixa terá de ser reabastecida mais vezes. A obtenção das peças com a respetiva identificação foi conseguida através de informação fornecida pelo departamento de Logística.

Uma vez que as linhas 4 e 5 produzem apenas um tipo de produto (designado por Produto A), nestas não serão necessárias as considerações referidas anteriormente, e assim sendo as peças necessárias para a concepção do produto A encontram-se na Tabela 2. Os produtos que as restantes linhas produzem encontram-se nos anexos III A VI.

Tabela 2 - Lista de Peças Usadas nas Linhas 4 e 5 para produzir o produto A

Quantidade por unidade de Produto	Nº Peça	Designação	Tipo Caixa	Quantidade Peças por Caixa
2	1 036 907 659	PARAFUSO; 2,5x8,5	RK12P	5000
1	1 036 923 583	ASSY EMC-sheet metal "upper"	RK22	72
2	1 036 924 280	PARAFUSO; 5x20	RK12P	833
1	1 036 924 667	Central Carrier	RK17	6
1	1 036 924 671	Light Guide	RK12P	2000
2	1 036 924 721	FAIXA; Foam Tape	RK22G	10000
1	1 036 924 722	FAIXA; Foam Tape	RK22G	5000
1	1 036 925 775	PELICULA PROTETORA;	RK17	1000
1	6 000 404 382	SACO	RK17	500
1	6 000 940 704	ROTULO	RK22P	1000
0,26	6 000 984 755	FICHA INDICE	RK12P	500
0,01	6 765 105 700	FITA	BM	2
3	8 613 010 003	PARAFUSO; M3x7 mm display screw	RK12P	6000
1	8 613 010 191	Rear Cover	RK22	8
1	8 613 010 208	Frontmask	OR	4
1	8 613 130 137	EMC-cover sheet "lower"	RK22	56
1	8 613 560 502	Trimring	RK22	20
1	8 613 921 611	ROTULO; 2D Barcode	RK12P	1000
1	8 618 004 442	AUTOCOLANTE	RK12P	3000
1	8 631 184 324	ETIQUETA AUTO-ADESIVA; "BLANKO-VERP."	RK12P	1000
1	8 928 554 126	LC DISPLAY; Pbfree; 7inch TFT standard 8	RK22G	16

5.4 Determinação de quantidades a abastecer e análise de capacidade do meio de transporte

Depois de obter informação sobre os materiais necessários para a produção de uma unidade, assim como os tipos de caixa de cada material e as suas quantidades, torna-se possível fazer a análise relativamente à quantidade de caixas necessárias a abastecer, assim como observar a capacidade do meio de transporte.

Os materiais existentes nas linhas de produção podem vir em diferentes tipos de caixas, as quais possuem diferentes volumes. Na tabela 3 encontram-se todas as caixas que podem ser utilizadas.

Tabela 3 - Tipos de caixas utilizadas para abastecimento de materiais

Tipo caixa	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Volume (cm3)
BAND P	45,00	35,00	7,00	11025,00
BG	24,50	17,00	10,00	4165,00
BM	17,20	12,00	10,00	2064,00
BP	17,20	8,00	5,00	688,00
ET12	60,00	40,00	12,00	28800,00
ET8	60,00	40,00	8,00	19200,00
RK12	40,00	30,00	12,00	14400,00
RK12P	20,00	15,00	12,00	3600,00
BAND G	65,00	45,00	15,00	43875,00
RK17	40,00	30,00	17,00	20400,00
RK22	40,00	30,00	22,00	26400,00
RK22G	60,00	40,00	22,00	52800,00
RK22P	30,00	20,00	22,00	13200,00
RK7	40,00	30,00	7,00	8400,00
TAB	60,00	40,00	5,00	12000,00
TG	59,00	13,00	10,00	7670,00
TP	16,50	10,00	7,30	1204,50
OR	59,70	39,20	5,10	11935,22
OR1	60,00	40,00	38,00	91200,00

As linhas de produção que servem de objeto de estudo possuem diferentes valores de quantidades a produzir por turno, as quais estão representadas na tabela 4.

Tabela 4 - Dados de Produção das Linhas

Dados				
Minutos por turno	457,00	min		
Horas por turno	7,62	horas		
Linha	Qtd./Turno	Qtd./hora	Dur. Ciclo	Nº ciclos/turno
Linha 4	556,00	73,00	10,00	45,70
Linha 3	340,00	44,64	10,00	45,70
Linha 3	140,00	18,38	10,00	45,70
Linha 1 / Linha 2	140,00	18,38	10,00	45,70

Para a obtenção dos dados da tabela 4 é assumido que cada turno tem 457 minutos, o que corresponde a 7,62 horas.

Através dos valores das quantidades produzidas por hora obtém-se o número necessário de caixas de material por hora (N_{hora}), com a fórmula (11).

$$N_{hora} = C * \frac{Q_{hora}}{Q_{cx}} \quad (11)$$

Onde:

C – consumo do material para a concepção de um produto

Q_{hora} – quantidade de produtos produzidos por hora

Q_{cx} – quantidade de material por caixa

Para além da quantidade de caixas necessárias por hora, foram também calculadas as quantidades de caixas necessárias por turno (N_{turno}) e o tempo de consumo para uma caixa (T_{caixa}), com as fórmulas (12) e (13).

$$N_{turno} = C * \frac{Q_{turno}}{Q_{cx}} \quad (12)$$

$$T_{caixa} = \frac{T_{turno}}{N_{turno}} \quad (13)$$

Onde:

Q_{turno} – quantidade de produtos produzidos por turno

T_{turno} – duração do turno em minutos

Os resultados de aplicação das fórmulas (11), (12) e (13) encontram-se nos anexos.

Com as tabelas 3 e 4 e sabendo o tipo de caixa em que cada material vem, é determinado o volume que esse abastecimento vai ocupar no meio de transporte. O meio de transporte a utilizar é um carrinho com dois níveis, que possui de volume útil 498370 cm³.

O volume que cada material ocupa no meio de transporte está diretamente dependente do tempo de ciclo definido para abastecimento. Neste estudo de caso, o tempo de ciclo definido é de 10 minutos, que é o tempo aconselhado para abastecimento dos materiais às linhas de produção.

Sabendo então o tempo de ciclo a utilizar, são definidas as quantidades de caixas necessárias a abastecer por cada ciclo. Por questões de segurança, o número de caixas a abastecer por ciclo (N_{ciclo}) deve corresponder a dois ciclos de abastecimento, de modo a evitar possíveis falhas de material. Esse valor obtém-se através de:

$$N_{ciclo} = 2 * \frac{N_{hora} * T_{ciclo}}{60} \quad (14)$$

Onde:

T_{ciclo} – Tempo de ciclo para abastecimento da linha

Tabela 5 - Número estimado de caixas por ciclo necessárias na Linha 4

Linha	Nº caixas para Ciclo X
Linha 4	0,01
	0,34
	0,06
	4,06
	0,01
	0,02
	0,05
	0,12
	0,01
	3,04
	6,08
	0,43
	1,22
	0,02
	0,02
	1,52
	0,68

Na tabela 5 encontram-se os valores obtidos para a linha 4. Este é um valor estimado, pois para a quantidade de produtos a produzir por turno é necessário um determinado número de caixas, que distribuídas pelos vários ciclos de abastecimento se tornam um número médio.

Com os valores das quantidades necessárias de caixas por ciclo, e sabendo o volume que cada caixa tem, é possível obter o volume necessário no carrinho para o transporte de cada material no tempo de ciclo definido, e assim perceber qual a taxa de ocupação do carrinho. Os valores obtidos para a Linha 4 encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 - Valores de Ocupação Volumétrica na Linha 4

Linha	Nº caixas para Ciclo X	Volume ocupação no carrinho (cm3)	% Ocup. Volumétrica	% Ocup. Volumétrica acumulada
Linha 4	0,01	35,04	0%	0%
	0,34	8921,95	2%	2%
	0,06	210,32	0%	2%
	4,06	82730,85	17%	18%
	0,01	43,80	0%	18%
	0,02	496,39	0%	19%
	0,05	992,77	0%	19%
	0,12	251,11	0%	19%
	0,01	43,80	0%	19%
	3,04	80297,59	16%	35%
	6,08	72603,77	15%	49%
	0,43	11471,08	2%	52%
	1,22	32119,04	6%	58%
	0,02	87,60	0%	58%
	0,02	87,60	0%	58%
	1,52	80297,59	16%	74%
	0,68	5677,61	1%	76%

5.5 Determinação de Rotas de Abastecimento às Linhas de Produção

Com a identificação dos vários pontos de paragem e das distâncias mínimas entre eles, obtidas através do método do caminho mais curto (ver capítulo 5.2.2), procedeu-se à determinação de rotas de abastecimento às várias linhas de produção.

Para determinar essas rotas, foi utilizado o algoritmo de *Miller-Tucker-Zemlin*, que está inserido nos problemas do caixeiro viajante (TSP). Recordamos a formulação do problema:

- **Variáveis de decisão**

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se arco } ij \text{ faz parte do circuito} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \forall ij \in A$$

u_i = posição em que é visitada o ponto de paragem i , $i = 2, \dots, n$

$$\text{Min } z = \sum_{ij \in A} c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a:

$$\sum_{j:ij \in A} x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (15)$$

$$\sum_{j:ji \in A} x_{ji} = 1, \forall i \in N \quad (16)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, \forall ij \in A, i \neq 1, j \neq 1 \quad (17)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall ij \in A \quad (18)$$

$$u_i \geq 0, i = 2, \dots, n \quad (19)$$

Sendo:

c_{ij} = custo do arco ij

A – conjunto de todos os arcos

n – número de nós

Com esta formulação pretende-se minimizar então o custo do caminho obtido, tendo como restrições obrigar a que cada ponto de paragem tenha um nó de entrada e outro de saída (equações (15) e (16)). Para além destas, o problema dá também a informação sobre a ordem em que as cidades são visitadas (equação (17)).

Para as linhas em estudo, existem certas restrições que têm de ser adicionadas no problema. O facto de os pontos de paragem onde se efetua a separação de caixas vazias e a colocação de caixas vazias de PCB leva à necessidade de existir uma restrição para garantir que estes são os últimos pontos a ser visitados. De seguida apresentam-se as combinações utilizadas.

5.5.1 Rota para Linhas 1 e 2

Como as linhas 1 e 2 trabalham em conjunto, faz sentido que a rota efetuada pelo PoUP abranja estas duas linhas. Neste caso existe uma restrição que deve ser adicionada, pois existe uma rampa na qual a matéria-prima que é abastecida provém de uma outra rampa, como representado na figura 46.

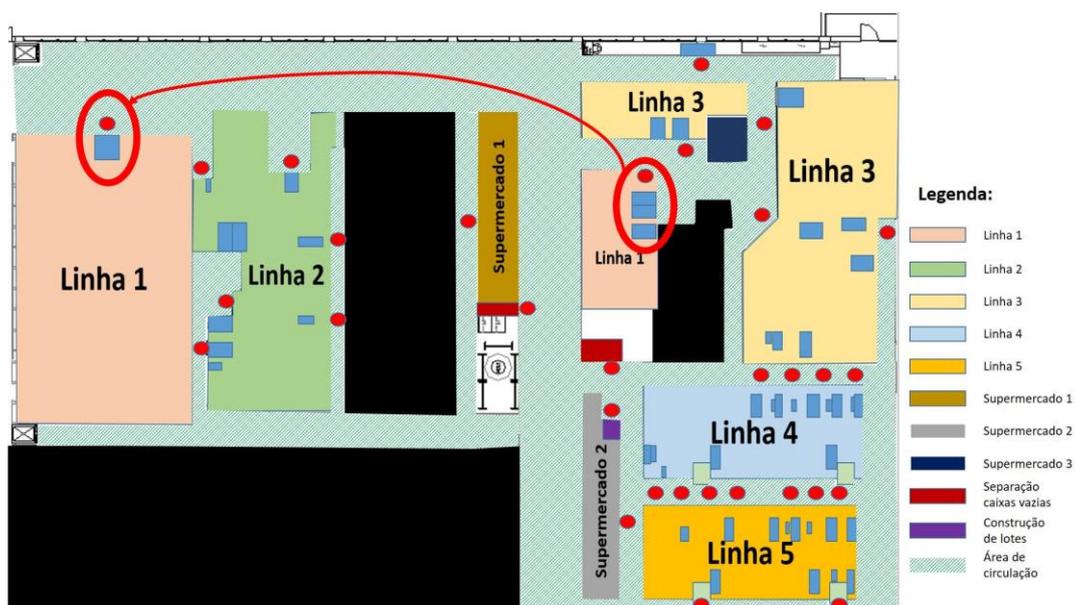


Figura 46 - Precedência de abastecimento nas rampas

Para garantir esta condição de precedência, é necessário acrescentar a restrição de que a posição em que é visitado o ponto de paragem 1 é superior à posição em que é visitado o ponto de paragem 23.

A otimização deste problema foi obtida com recurso ao software *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio*. Para as linhas 1 e 2, o código utilizado foi o seguinte:

```

int numNodes=...; //numero de nós
float c[1..numNodes][1..numNodes]=...; //distancias entre nós
/*****variáveis de decisão*****/
dvar int+ x[1..numNodes][1..numNodes] in 0..1; //se arco ij é usado
dvar int+ u[1..numNodes]; //posição em que é visitado o ponto de paragem
dvar float length; //valor mínimo de distância total
/*****/
minimize sum (i in 1..numNodes) sum (j in 1..numNodes) c[i][j]*x[i][j];
subject to {
    //restrições para garantir que todos os pontos de paragem são visitados
    forall(j in 1..numNodes)sum (i in 1..numNodes) x[i][j] == 1;
    forall(j in 1..numNodes)sum (i in 1..numNodes) x[j][i] == 1;
    forall (j in 1..numNodes : j!=1) u[10]>=u[j];
    u[2]>=u[9];
    u[10]>=u[11];
    forall (i in 1..numNodes : i!=1) forall(j in 1..numNodes: j!=1) u[i] - u[j] + numNodes*x[i][j] <=
numNodes - 1;
    length==sum (i in 1..numNodes) sum (j in 1..numNodes) c[i][j]*x[i][j];
}

```

Após encontrar a melhor solução, os resultados são enviados para o ficheiro Excel. Os resultados obtidos encontram-se na figura 47 e a representação da rota na figura 48. Com esta rota a distância total percorrida é de aproximadamente 212 metros.

	0	1	4	6	8	9	12	14	23	41	58
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
23	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Figura 47 - Rota obtida para Linhas 1 e 2

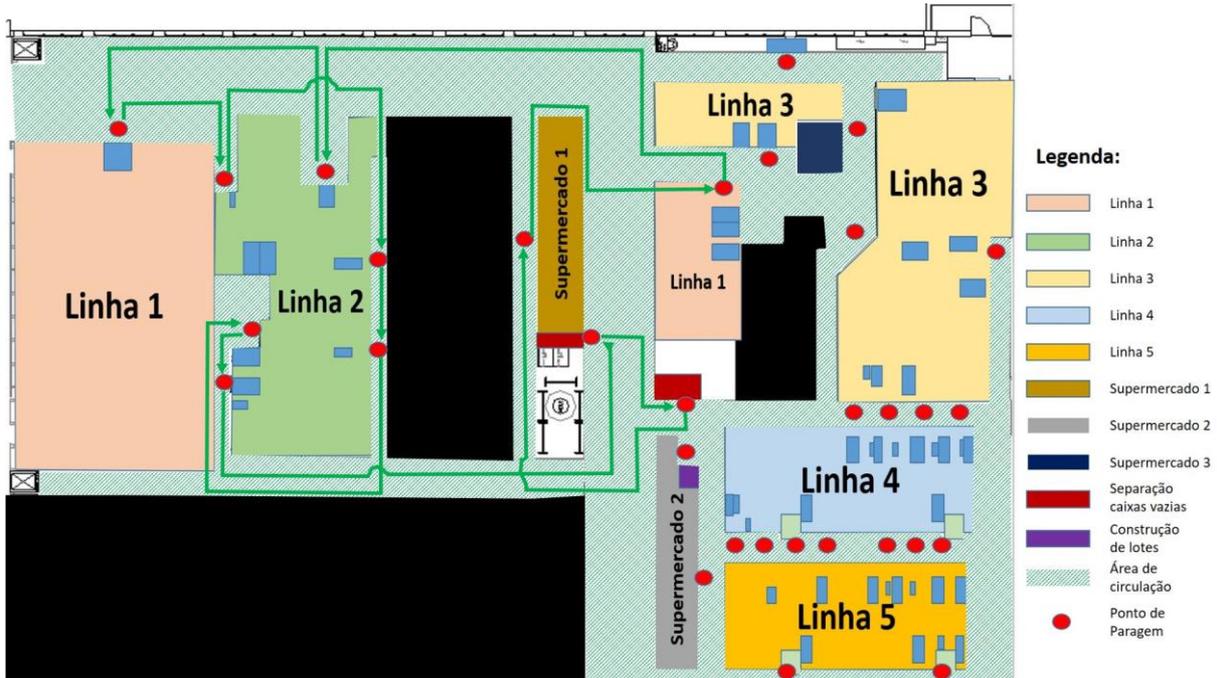


Figura 48 - Representação da rota nas linhas 1 e 2

5.5.2 Rota para Linha 3

Tal como no caso anterior, a linha 3 tem outra restrição a ser adicionada, pois existem dois pontos de paragem que só podem ser visitados após o PoUP passar pelo supermercado 3. O código utilizado é o seguinte:

Com a aplicação deste código obtiveram-se os resultados da figura 49, encontrando-se a representação da rota na figura 50. Ao efetuar esta rota, o PoUP realiza um deslocamento de aproximadamente 141 metros.

	57	24	26	29	31	33	36	38	41	58
57	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
29	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
36	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Figura 49 - Rota obtida para a Linha 3

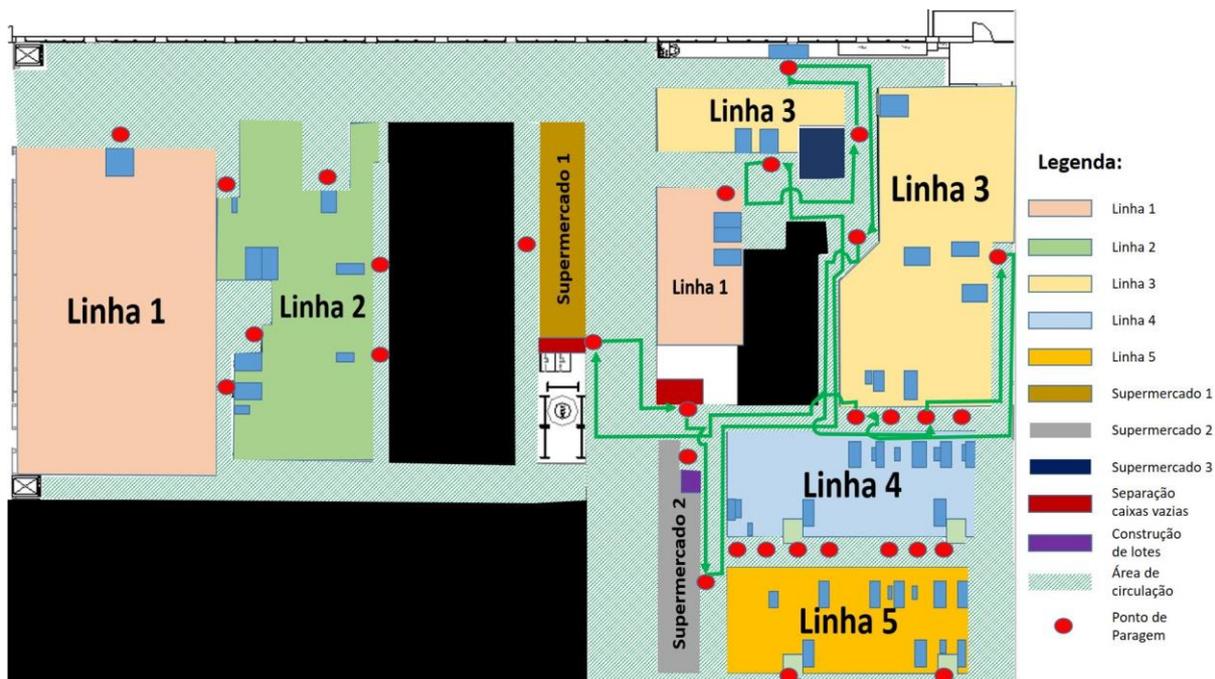


Figura 50 - Representação da rota na linha 1

5.5.3 Rota para Linhas 4 e 5

Para as linhas 4 e 5 existe, para além das restrições dos locais de separação de caixas vazias, a restrição relativa ao local de construção de lotes. Optou-se por juntar estas duas linhas pois elas produzem o mesmo produto, logo a matéria-prima a abastecer é a mesma. O código encontra-se em anexo.

Os resultados obtidos encontram-se na figura 51 e a representação da rota na figura 52. Com esta rota a distância total percorrida é de aproximadamente 99 metros.

	57	35	36	37	38	41	42	45	46	47	48	49	50	51	54	55	58
57	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
41	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
55	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 51 - Rota Obtida para linhas 4 e 5

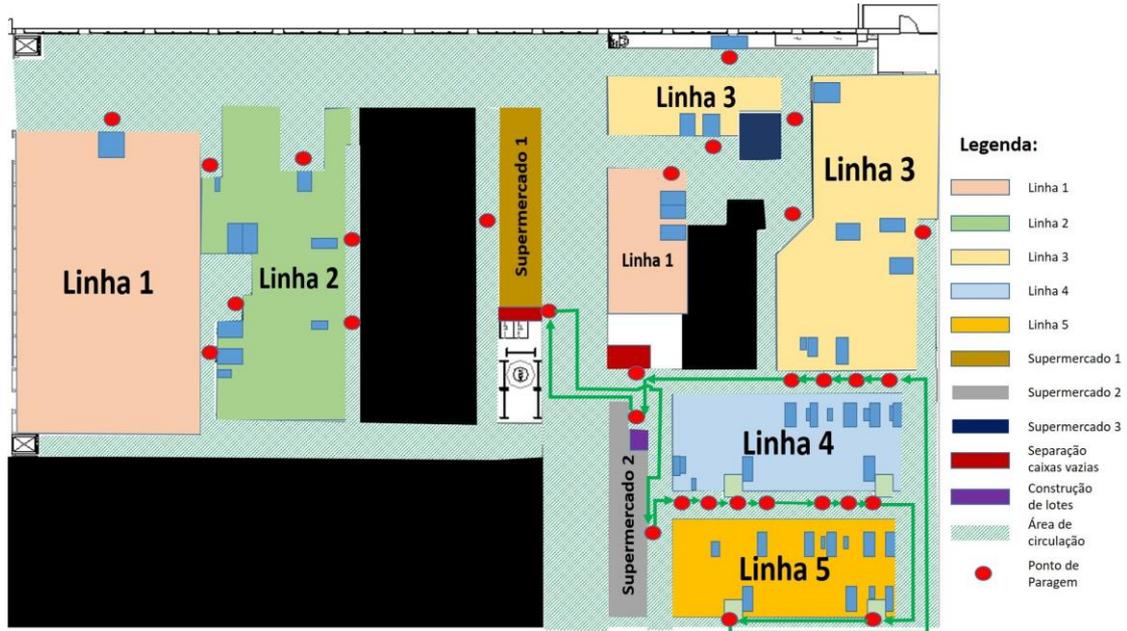


Figura 52 - Representação da rota nas linhas 4 e 5

5.6 Análise dos resultados

Depois de encontrados todos os critérios necessários, é possível proceder à definição do trabalho normalizado. No documento de suporte, existe uma folha denominada Trabalho Standard (Figura 53), onde é colocado o conjunto de tarefas a realizar pelo PoUP em cada rota.

ID	Linha	Tarefa	Nº caixas/coi	Tempo/pega	Manual (em segs)	Distância (em m)	Deslocamento (em segs)	Total da Tarefa (em segs)	Total Acumulado (em segs)
21	13	Colocar Caixas Pastora na Rampa 26	2,04	5,00	10,21			10,21	240,70
22	14	Deslocamento de 26 para 31			0,00			11,99	252,69
23	15	Colocar Caixas na Rampa 33	0,26	5,00	1,28	11,99	11,99	1,28	253,97
24	16	Recolher Caixas da Rampa 33	0,26	7,00	1,79			1,79	255,75
25	17	Retirar Etiqueta das Caixas da Rampa 33	0,26	7,00	1,79			1,79	257,54
26	10	Levar Etiqueta das Caixas da Rampa 33	0,26	5,00	1,28			1,28	258,82
27	19	Deslocamento de 31 para 26			0,00	15,66	15,66	15,66	274,48
28	20	Colocar Caixas na Rampa 26	0,06	5,00	0,21			0,21	274,69
29	21	Recolher Caixas da Rampa 26	0,06	7,00	0,43			0,43	275,12
30	22	Retirar Etiqueta das Caixas da Rampa 26	0,06	7,00	0,43			0,43	275,55
31	23	Levar Etiqueta das Caixas da Rampa 26	0,06	5,00	0,21			0,21	275,76
32	24	Deslocamento de 26 para 33			0,00		11,52	11,52	287,28
33	25	Colocar Caixas na Rampa 31,32	1,64	5,00	0,21			0,21	287,49
34	26	Recolher Caixas da Rampa 31,32	1,64	7,00	11,49			11,49	298,98
35	27	Retirar Etiqueta das Caixas da Rampa 31,32	1,64	7,00	11,49			11,49	310,47
36	28	Levar Etiqueta das Caixas da Rampa 31,32	1,64	5,00	0,21			0,21	310,68
37	29	Deslocamento de 33 para 29			0,00	14,48	14,48	14,48	325,16
38	30	Colocar Caixas na Rampa 29	0,00	5,00	0,02			0,02	325,18
39	31	Recolher Caixas da Rampa 29	0,00	7,00	0,02			0,02	325,20
40	32	Retirar Etiqueta das Caixas da Rampa 29	0,00	7,00	0,02			0,02	325,22
41	33	Levar Etiqueta das Caixas da Rampa 29	0,00	5,00	0,02			0,02	325,24
42	34	Deslocamento de 29 para 58			0,00	18,58	18,58	18,58	343,82
43	35	Colocar Caixas vazias do POB	0,20	5,00	1,28			1,28	345,10
44	36	Deslocamento de 58 para 41			0,00	9,11	9,11	9,11	354,21
45	37	Separar as Caixas Pastor	5,48	12,00	65,72			65,72	419,93
46	38	Deslocamento de 41 para 57			0,00	9,43	9,43	9,43	429,36
47		Atividade de Pickings	12,19	7,00	85,33			85,33	514,69
48		Deslocamento de 57 para 45			0,00	2,95	2,95	2,95	517,64
49		Colocar Caixas na Rampa 14, 15	0,17	5,00	0,85			0,85	518,49

Figura 53 - Documento de Suporte (Trabalho Standard)

Após a constituição do trabalho normalizado é possível determinar o tempo total que o PoUP demora a fazer um ciclo de abastecimento, considerando deslocamentos e atividades de colocação e recolha de caixas. Na tabela 7 encontram-se os resultados obtidos segundo as rotas definidas.

Tabela 7 - Resultados obtidos das rotas

	Linha 1/2	Linha 3	Linha 4/5
Tempo Ciclo (em minutos)	10,0	10,0	10,0
Tempo total do PoUP (em minutos)	6,0	7,4	18,7
Tempo gasto em deslocamento (em minutos)	3,5	2,4	1,7

Através dos resultados obtidos conclui-se que para o conjunto de linhas 1 e 2 e para a linha 3 é possível efetuar o abastecimento dentro do tempo definido. Contudo, para as linhas 4 e 5, é perceptível que não é possível que o percurso seja efetuado por apenas uma pessoa, pois esta demoraria quase o

dobro do tempo definido. Conclui-se então que, para as linhas 4 e 5, terá de existir uma pessoa dedicada ao abastecimento de cada linha.

5.7 Conclusões

Neste capítulo foi apresentada uma proposta de solução para problemas de abastecimento. Na proposta de solução apresentada estão incluídas ferramentas de planeamento e ferramentas de definição de rotas de abastecimento.

A ferramenta de planeamento apresentada fornece uma visão mais ampla sobre tudo o que deve ser considerado na definição do trabalho a realizar pelo PoUP. Tem em conta várias considerações que são necessárias, como capacidades dos meios de transporte e rampas de abastecimento. Também permite analisar, de um modo mais acessível, a influência que o tempo de ciclo tem nas quantidades a abastecer. Conclui-se então que esta é uma ferramenta necessária para a definição do trabalho do PoUP, pois possui todas as considerações que por fim irão determinar o número de pessoas necessárias para efetuar o abastecimento.

A ferramenta de definição de rotas de abastecimento é de igual modo útil, pois permite obter a rota na qual o tempo de deslocamento é mínimo, com base nas restrições necessárias para cada linha (por exemplo: precedências, zonas de separação de caixas, etc.).

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Com a realização deste trabalho pretendeu-se analisar o impacto que o layout tem no abastecimento de materiais às linhas de produção. O objetivo era também perceber quais os factores que são críticos no planeamento do abastecimento dos materiais. Outro objetivo do trabalho foi usar técnicas de optimização de modo a que o deslocamento da pessoa responsável pelo abastecimento fosse mínimo.

Ao longo do projeto foram realizadas diversas observações à tarefa de abastecimento desempenhada pelos PoUP, de modo a retirar tempos das tarefas individuais e perceber a rota que estes realizavam. Através dessas observações concluiu-se que não existia qualquer critério no que toca a esta tarefa de abastecer as linhas, pois os colaboradores não seguiam nenhuma das normas que estão implícitas na filosofia da empresa.

Outra das observações é de que, em cada rota de abastecimento, o PoUP excedia a capacidade do meio de transporte utilizado, e que, mesmo nesta situação de sobrecarga, o tempo de abastecimento excedia o tempo de ciclo definido, o que levava a que uma outra pessoa tivesse de compensar os abastecimentos que o PoUP não conseguia cumprir.

Para uma análise mais detalhada do problema, primeiramente foram recolhidos dados sobre as linhas de produção em estudo, nomeadamente quantidades a produzir por turno e dados sobre as matérias-primas utilizadas para a produção dos vários produtos. Uma vez que não existia qualquer tipo de ferramenta de suporte, procedeu-se à criação de uma ferramenta desenvolvida em excel de modo a incorporar toda a informação necessária à organização e planeamento das tarefas de abastecimento de acordo com as normas definidas pela empresa. Nesse documento é possível obter as quantidades a abastecer de acordo com o tempo de ciclo pretendido, tendo em consideração também factores como capacidade do meio de transporte e das rampas de abastecimento.

Foram definidos e identificados os vários pontos de paragem associados às várias rampas de abastecimento e outros pontos importantes, como supermercados e locais de separação de caixas. Para a obtenção de distâncias mínimas entre os pontos de paragem foi aplicado o modelo do caminho mais curto. A obtenção das rotas de abastecimento foi conseguida através da aplicação do modelo de *Miller-Tucker-Zemlin*, associado a problemas do caixeiro viajante.

Concluiu-se que, para um abastecimento dentro das normas definidas pela empresa, é necessário que pelo menos quatro pessoas estejam encarregues da tarefa de abastecimento nas

linhas estudadas, cumprindo assim factores como capacidade do meio de transporte, rampas de abastecimento e tempo de abastecimento.

A realização deste trabalho permite concluir que o abastecimento de materiais às linhas de produção é uma tarefa complexa e que exige uma coordenação entre a produção e o abastecimento de material, só possível com a integração da informação relevante, pois as quantidades a produzir pelas linhas definem as quantidades a abastecer, em cada ciclo, pelo PoUP.

6.1 Limitações na realização do Projeto

Tal como referido no início desta dissertação, o maior desafio ao realizar um projeto relacionado com layouts e linhas de produção é o facto de estas estarem em constante mudança. Uma vez que o layout que serviu de base à realização deste projeto já não é o layout que se encontra no presente, não foi possível implementar as considerações utilizadas no projeto, servindo este como estudo sobre aquilo que deve ser aplicado quando se pensa no abastecimento de materiais.

Outro dos factores está relacionado com as várias variantes de produto e alteração de quantidades a produzir, o que provoca imediatamente alterações nas quantidades a abastecer.

6.2 Sugestões para Trabalho Futuro

Como referido no capítulo 6.1, várias limitações existem quando se planeia o abastecimento de materiais às linhas de produção, como alterações de layout e variantes de produtos.

O trabalho futuro deste projeto passaria pela criação de uma *interface* mais acessível à pessoa responsável pelo planeamento do abastecimento de materiais, onde deveriam estar consideradas todas as normas que a empresa pretende ter em conta no que toca ao abastecimento de materiais.

Essa interface deveria também fornecer uma rota otimizada com base numa matriz de deslocamentos fornecida.

Por fim, como trabalho futuro propõe-se a criação de uma ferramenta de simulação genérica, em que, com base nas considerações feitas, permita uma simulação do ciclo de abastecimento, de modo a validar os resultados obtidos antes de proceder à implementação em ambiente real.

BIBLIOGRAFIA

- Alarcon, R., Antøen, J. P., & Lozano, A. (2012). Logistics Competitiveness in a Megapolitan Network of Cities: A Theoretical Approach and Some Application in the Central Region of Mexico. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 739–752. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.144>
- Aleisa, E. E. (2005). For Effective Facilities Planning: Layout Optimization Then Simulation, or Vice Versa? In *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005*. (Vol. 2005, pp. 1381–1385). IEEE. <http://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574401>
- Azadivar, F., & Wang, J. (2000). Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms. *International Journal of Production Research*, 38(17 SPEC.), 4369–4383. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0034694502&partnerID=tZ0tx3y1>
- Baudin, M. (2005). *Lean Logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods*. Taylor & Francis. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=nLyuEYC8rWIC>
- Benjaafar, S., Heragu, S. S., & Irani, S. A. (2002). Next Generation Factory Layouts : Research Challenges and Recent Progress. *Interfaces*, 32(6), 58–76. <http://doi.org/10.1287/inte.32.6.58.6473>
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2015). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- Carvalho, J. C. de, Guedes, P. A., Arantes, A. J. M., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., ... Ramos, T. (2012). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. (M. Robalo, Ed.) (1st ed.). Lisboa: Edições Sílabo. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=j2OZZwEACAAJ>
- Çemberci, M., Civelek, M. E., & Canbolat, N. (2015). The Moderator Effect of Global Competitiveness Index on Dimensions of Logistics Performance Index. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1514–1524. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.453>
- Colovic, G. (2011). *Management of technology systems in garment industry. Management of Technology Systems in Garment Industry*. Woodhead Publishing Limited. <http://doi.org/10.1533/9780857094049>
- CSCMP. (2013). Supply Chain Management Terms and Glossary. Retrieved April 8, 2016, from https://cscmp.org/sites/default/files/user_uploads/resources/downloads/glossary-2013.pdf?utm_source=cscmpsite&utm_medium=clicklinks&utm_content=glossary&utm_campaign=GlossaryPDF
- Danese, P., Romano, P., & Bortolotti, T. (2012). JIT production, JIT supply and performance: investigating the moderating effects. *Industrial Management & Data Systems*, 112(3), 441–465. <http://doi.org/10.1108/02635571211210068>
- Daugherty, P. J., & Spencer, M. S. (1990). Just in Time Concepts: Applicability to Logistics/Transportation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 20(7), 12–18. <http://doi.org/10.1108/EUM00000000000368>
- Dengiz, B., İç, Y. T., & Belgin, O. (2016). A meta-model based simulation optimization using hybrid simulation-analytical modeling to increase the productivity in automotive industry. *Mathematics and Computers in Simulation*, 120, 120–128. <http://doi.org/10.1016/j.matcom.2015.07.005>
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 255–267. <http://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.04.001>
- Elmaraghy, H., Algeddawy, T., Samy, S. N., & Espinoza, V. (2014). A model for assessing the layout structural complexity of manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1), 51–64. <http://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.05.012>
- Emde, S., & Boysen, N. (2012). Optimally locating in-house logistics areas to facilitate JIT-supply of mixed-

- model assembly lines. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 393–402. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.07.022>
- Fleury, P. F., Wanke, P., & Figueiredo, K. (2000). *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. Editora Atlas. Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=xnfkAAAACAAJ>
- Grajo, E. S. (1995). Strategic layout planning and simulation for lean manufacturing a layOPT tutorial. In *Winter Simulation Conference Proceedings* (pp. 510–514). IEEE. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0029543158&partnerID=tZOtx3y1>
- Gyulai, D., Pfeiffer, A., Sobottka, T., & Váncza, J. (2013). Milkrun Vehicle Routing Approach for Shop-floor Logistics. *Procedia CIRP*, 7, 127–132. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.022>
- Hasan, M. A., Sarkis, J., & Shankar, R. (2012). Agility and production flow layouts: An analytical decision analysis. *Computers and Industrial Engineering*, 62(4), 898–907. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.011>
- Hwang, H.-S. (2004). Heuristic transporter routing model for manufacturing facility design. *Computers & Industrial Engineering*, 46(2), 243–251. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2003.12.021>
- Kia, R., Khaksar-Haghani, F., Javadian, N., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Solving a multi-floor layout design model of a dynamic cellular manufacturing system by an efficient genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1), 218–232. <http://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.12.005>
- Klenk, E., Galka, S., & Günthner, W. A. (2015). Operating Strategies for In-Plant Milk-Run Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1882–1887. <http://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.361>
- Kovács, A. (2011). Optimizing the storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 312–318. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.10.028>
- Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345–358. [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90192-C](http://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90192-C)
- Maskell, B. (1987). Just in time Manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*, 87(9/10), 17–20. <http://doi.org/10.1108/eb057491>
- Niminet, L. A. (2013). The Automotive Market – An Ongoing Turmoil. *Procedia Economics and Finance*, 6(13), 108–114. [http://doi.org/10.1016/S2212-5671\(13\)00121-4](http://doi.org/10.1016/S2212-5671(13)00121-4)
- Nobert, Y., & Laporte, G. (1987). Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem. *North-Holland Mathematics Studies*, 132, 147–184. [http://doi.org/10.1016/S0304-0208\(08\)73235-3](http://doi.org/10.1016/S0304-0208(08)73235-3)
- Olivares, V., Cordova, F., Sepúlveda, J. M., & Derpich, I. (2015). Modeling Internal Logistics by Using Drones on the Stage of Assembly of Products. *Procedia Computer Science*, 55(I tqm), 1240–1249. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.132>
- Orman, A. J., & Williams, H. P. (2007). A Survey of Different Integer Programming Formulations of the Travelling Salesman Problem. In E. J. Kontoghiorghes & C. Gatu (Eds.), *Optimisation, Econometric and Financial Analysis* (pp. 91–104). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/3-540-36626-1_5
- Papadimitriou, C. H. (1977). The Euclidean travelling salesman problem is NP-complete. *Theoretical Computer Science*, 4(3), 237–244. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0304-3975\(77\)90012-3](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0304-3975(77)90012-3)
- Porter, M. E. (1985). *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. NY: The Free Press.
- Prasad, N. H., Rajyalakshmi, G., & Reddy, a. S. (2014). A Typical Manufacturing Plant Layout Design Using CRAFT Algorithm. *Procedia Engineering*, 97, 1808–1814. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.334>
- Samy, S. N., AlGeddawy, T., & ElMaraghy, H. (2015). A granularity model for balancing the structural complexity of manufacturing systems equipment and layout. *Journal of Manufacturing Systems*, 36,

- 7–19. <http://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.02.009>
- Shariatzadeh, N., Sivard, G., & Chen, D. (2012). Software evaluation criteria for rapid factory layout planning, design and simulation. *Procedia CIRP*, 3(1), 299–304. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.052>
- Sly, D. P. (1997). Before dynamic simulation: Systematic layout design from scratch. In *Winter Simulation Conference Proceedings* (pp. 645–648). IEEE. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0031381763&partnerID=tZOtx3y1>
- Teixeira De Sousa, P. (2012). Logística Interna: O Princípio Da Logística Organizacional Está Na Administração Dos Recursos Materiais E Patrimoniais (Armp) Internal Logistics: the Principle of Organizational Logistics Is in the Management of the Material and Asset Resources. *Revista Científica FacMais*, 2(1).
- Wu, Y. J. (2002). Effective Lean Logistics Strategy for the Auto Industry. *The International Journal of Logistics Management*, 13(2), 19–38. <http://doi.org/10.1108/09574090210806405>

ANEXO I – DISTÂNCIAS ENTRE PONTOS DE PARAGEM

	0	1	4	6	8	9	12	14	23	24	26	29	31	33	35	36	37	38	41	42	45	46	47	48	49	50	51	54	55	57	58
0		33	32	24	26	25	32	37	25	26	22	27	34	46	36	35	33	32	22	25	31	33	34	37	39	41	42	49	42	32	24
1	33		14	18	26	31	50	55	40	41	37	42	49	74	64	62	61	59	50	53	59	61	62	64	67	68	70	77	70	59	44
4	32	14		17	26	30	50	54	40	40	36	42	48	73	63	62	60	59	49	53	58	60	62	64	67	68	69	76	69	59	43
6	24	18	17		17	22	41	46	31	32	28	33	40	65	55	53	52	50	41	44	50	52	53	55	58	59	61	68	61	50	35
8	26	26	26	17		4,8	24	29	34	34	30	35	42	53	43	41	40	38	29	32	38	40	41	43	46	47	49	55	49	38	31
9	25	31	30	22	4,8		19	24	38	39	35	40	42	48	38	36	35	33	24	27	33	35	36	38	41	42	44	51	44	33	26
12	32	50	50	41	24	19		4,7	48	48	54	56	49	55	45	44	42	41	31	34	40	42	43	46	48	50	51	58	51	41	33
14	37	55	54	46	29	24	4,7		53	53	59	61	54	60	50	48	47	45	36	39	45	47	48	50	53	54	56	63	56	45	38
23	25	40	40	31	34	38	48	53		4,3	18	12	8,6	36	26	24	23	21	24	27	33	35	36	38	39	38	36	44	44	33	18
24	26	41	40	32	34	39	48	53	4,3		17	12	8,3	35	26	24	22	21	24	28	33	34	36	38	39	37	36	43	43	33	18
26	22	37	36	28	30	35	54	59	18	17		5,2	12	39	29	28	26	25	30	33	36	38	40	42	42	41	40	47	47	37	23
29	27	42	42	33	35	40	56	61	12	12	5,2		6,8	34	24	22	21	19	25	28	31	33	34	36	37	36	34	42	42	31	29
31	34	49	48	40	42	42	49	54	8,6	8,3	12	6,8		27	17	16	14	13	18	21	24	26	28	30	30	29	28	35	35	25	26
33	46	74	73	65	53	48	55	60	36	35	39	34	27		10	12	13	14	24	27	28	26	25	23	20	19	17	25	31	31	33
35	36	64	63	55	43	38	45	50	26	26	29	24	17	10		1,6	3,1	4,5	14	17	20	19	18	16	13	12	10	18	25	21	23
36	35	62	62	53	41	36	44	48	24	24	28	22	16	12	1,6		1,5	3	12	16	19	21	19	17	15	13	12	19	26	19	22
37	33	61	60	52	40	35	42	47	23	22	26	21	14	13	3,1	1,5		1,5	11	14	17	19	21	19	16	15	13	21	28	18	20
38	32	59	59	50	38	33	41	45	21	21	25	19	13	14	4,5	3	1,5		9,5	13	16	18	19	20	18	16	15	22	27	16	19
41	22	50	49	41	29	24	31	36	24	24	30	25	18	24	14	12	11	9,5		3,3	9	11	12	14	17	19	20	27	20	9,4	9,1
42	25	53	53	44	32	27	34	39	27	28	33	28	21	27	17	16	14	13	3,3		5,7	7,6	9,1	11	14	15	17	23	17	6,2	12
45	31	59	58	50	38	33	40	45	33	33	36	31	24	28	20	19	17	16	9	5,7		1,9	3,4	5,5	8,2	9,5	11	20	13	2,9	18
46	33	61	60	52	40	35	42	47	35	34	38	33	26	26	19	21	19	18	11	7,6	1,9		1,4	3,5	6,3	7,6	8,9	20	15	4,9	20
47	34	62	62	53	41	36	43	48	36	36	40	34	28	25	18	19	21	19	12	9,1	3,4	1,4		2,1	4,9	6,2	7,5	19	17	6,3	21
48	37	64	64	55	43	38	46	50	38	38	42	36	30	23	16	17	19	20	14	11	5,5	3,5	2,1		2,8	4,1	5,4	17	19	8,4	24
49	39	67	67	58	46	41	48	53	39	39	42	37	30	20	13	15	16	18	17	14	8,2	6,3	4,9	2,8		1,3	2,6	14	21	11	26
50	41	68	68	59	47	42	50	54	38	37	41	36	29	19	12	13	15	16	19	15	9,5	7,6	6,2	4,1	1,3		1,3	13	20	12	28
51	42	70	69	61	49	44	51	56	36	36	40	34	28	17	10	12	13	15	20	17	11	8,9	7,5	5,4	2,6	1,3		11	18	14	29
54	49	77	76	68	55	51	58	63	44	43	47	42	35	25	18	19	21	22	27	23	20	20	19	17	14	13	11		6,9	17	36
55	42	70	69	61	49	44	51	56	44	43	47	42	35	31	25	26	28	27	20	17	13	15	17	19	21	20	18	6,9		10	29
57	32	59	59	50	38	33	41	45	33	33	37	31	25	31	21	19	18	16	9,4	6,2	2,9	4,9	6,3	8,4	11	12	14	17	10		19
58	24	44	43	35	31	26	33	38	18	18	23	29	26	33	23	22	20	19	9,1	12	18	20	21	24	26	28	29	36	29	19	

ANEXO II – OPTIMIZAÇÃO DO MODELO NO EXCEL



ANEXO III – LISTA DE PEÇAS DOS PRODUTOS DA LINHA 3 (PRODUTO A)

Quantidade Peças por Produto	Nº Peça	Designação	Tipo Caixa	Quantidade Peças por Caixa
1	1 036 929 381	CAIXA SUPERIORA; Assembly	RK22G	8
1	1 036 925 744	Combiner-cover	RK17	48
1	1 036 925 743	Combiner-support unit	RK17	12
1	1 036 922 640	Coverglass	RK12P	100
1	8 613 010 411	DISCO; Combiner	RK17	15
4	1 036 928 094	ELEMENTO AMORTECEDOR	RK17	1000
1	1 036 922 641	ESPELHO;	RK17	60
1	8 618 002 877	FITA ADESIVA;	RK22P	1500
1	1 036 924 692	Fresnel lense	RK17	360
1	1 036 924 767	GUANICAO (JUNTA);	RK12P	100
4	1 261 099 102	Holding Spring	RK12P	1000
1	1 036 930 291	kinematics assembly	RK22G	4
1	8 928 554 108	LC DISPLAY; Pbfree; 1.8inch HUD TFT full	RK17	60
1	1 036 924 876	LED Flexfoil (FFC LED)_EMV	RK12P	300
1	1 036 922 638	light bezel	RK22	8
1	1 036 923 112	Light Funnel unit	RK22	36
4	1 036 928 095	LUVA	RK12P	300
10	1 036 928 093	PARAFUSO;	RK12P	5000
3	1 030 052 663	PARAFUSO; Torx 2,5x8,5	RK12P	5000
1	1 036 924 693	PGU diffuser THICK	RK22P	144
1	1 036 921 443	PGU display frame	RK17	100
1	1 036 923 074	PGU Display Spring	RK17	351
1	1 036 923 588	PGU heat conduction pad	RK12P	550
1	1 036 922 680	PGU heatsink	RK17	23
1	1 036 924 784	QUADRO; IMS metal frame	RK22	275
1	1 036 922 644	Rear cover	RK22	20
1	1 036 930 780	ROTULO; 2D Production	RK12P	1000
1	1 036 930 178	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 930 179	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 915 238	TRANSF PET WH- top S8001-BG42WH	RK22P	2000

ANEXO IV – LISTA DE PEÇAS DOS PRODUTOS DA LINHA 3 (PRODUTO B)

Quantidade Peças por Produto	Nº Peça	Designação	Tipo Caixa	Quantidade Peças por Caixa
1	1 036 929 381	CAIXA SUPERIORA; Assembly	RK22G	8
1	1 036 925 744	Combiner-cover	RK17	48
1	1 036 925 743	Combiner-support unit	RK17	12
1	1 036 922 640	Coverglass	RK12P	100
1	8 613 010 411	DISCO; Combiner	RK17	15
1	1 036 922 641	ESPELHO;	RK17	60
1	8 618 002 877	FITA ADESIVA;	RK22P	1500
1	1 036 924 692	Fresnel lense	RK17	360
1	1 036 924 767	GUANICAO (JUNTA);	RK12P	100
4	1 261 099 102	Holding Spring	RK12P	1000
1	1 036 929 384	kinematics assembly	RK22G	4
1	8 928 554 108	LC DISPLAY; Pbfree; 1.8inch HUD TFT full	RK17	60
1	1 036 924 876	LED Flexfoil (FFC LED)_EMV	RK12P	300
1	1 036 922 638	light bezel	RK22	8
1	1 036 923 112	Light Funnel unit	RK22	36
10	1 036 928 093	PARAFUSO;	RK12P	5000
3	1 030 052 663	PARAFUSO; Torx 2,5x8,5	RK12P	5000
1	1 036 924 693	PGU diffuser THICK	RK22P	144
1	1 036 921 443	PGU display frame	RK17	100
1	1 036 923 074	PGU Display Spring	RK17	351
1	1 036 923 588	PGU heat conduction pad	RK12P	550
1	1 036 922 680	PGU heatsink	RK17	23
1	1 036 924 784	QUADRO; IMS metal frame	RK22	275
1	1 036 922 644	Rear cover	RK22	20
1	1 036 930 781	ROTULO; 2D Production	RK12P	1000
1	1 036 930 178	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 930 179	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 915 238	TRANSF PET WH- top S8001-BG42WH	RK22P	2000

ANEXO V – LISTA DE PEÇAS DOS PRODUTOS DA LINHA 3 (PRODUTO C)

Quantidade Peças por Produto	Nº Peça	Designação	Tipo Caixa	Quantidade Peças por Caixa
1	1 036 929 381	CAIXA SUPERIORA; Assembly	RK22G	8
1	1 036 925 744	Combiner-cover	RK17	48
1	1 036 925 743	Combiner-support unit	RK17	12
1	1 036 922 640	Coverglass	RK12P	100
1	8 613 010 411	DISCO; Combiner	RK17	15
1	1 036 922 641	ESPELHO;	RK17	60
3	6 000 984 755	FICHA INDICE	RK12P	500
1	8 618 002 877	FITA ADESIVA;	RK22P	1500
1	1 036 924 692	Fresnel lense	RK17	360
1	1 036 924 767	GUANICAO (JUNTA);	RK12P	100
4	1 261 099 102	Holding Spring	RK12P	1000
1	1 036 929 384	kinematics assembly	RK22G	4
1	8 928 554 108	LC DISPLAY; Pbfree; 1.8inch HUD TFT full	RK17	60
1	1 036 924 876	LED Flexfoil (FFC LED)_EMV	RK12P	300
1	1 036 922 638	light bezel	RK22	8
1	1 036 923 112	Light Funnel unit	RK22	36
10	1 036 928 093	PARAFUSO;	RK12P	5000
3	1 030 052 663	PARAFUSO; Torx 2,5x8,5	RK12P	5000
1	1 036 924 693	PGU diffuser THICK	RK22P	144
1	1 036 921 443	PGU display frame	RK17	100
1	1 036 923 074	PGU Display Spring	RK17	351
1	1 036 923 588	PGU heat conduction pad	RK12P	550
1	1 036 922 680	PGU heatsink	RK17	23
1	1 036 924 784	QUADRO; IMS metal frame	RK22	275
1	1 036 922 644	Rear cover	RK22	20
1	1 036 930 181	ROTULO; 2D Production	RK12P	1000
1	1 036 930 178	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 930 179	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 915 238	TRANSF PET WH- top S8001-BG42WH	RK22P	2000

ANEXO VI – LISTA DE PEÇAS DOS PRODUTOS DA LINHA 3 (PRODUTO D)

Quantidade Peças por Produto	Nº Peça	Designação	Tipo Caixa	Quantidade Peças por Caixa
1	1 036 929 381	CAIXA SUPERIORA; Assembly	RK22G	8
1	1 036 925 744	Combiner-cover	RK17	48
1	1 036 925 743	Combiner-support unit	RK17	12
1	1 036 922 640	Coverglass	RK12P	100
1	8 613 010 411	DISCO; Combiner	RK17	15
1	8 928 554 072	DISPLAY; TFT Sony 1,8"	RK17	60
1	1 036 922 641	ESPELHO;	RK17	60
0,01	6 765 105 700	FITA	BM	2
1	8 618 002 877	FITA ADESIVA;	RK22P	1500
1	1 036 924 692	Fresnel lense	RK17	360
1	1 036 924 767	GUANICAO (JUNTA);	RK12P	100
4	1 261 099 102	Holding Spring	RK12P	1000
1	1 036 929 384	kinematics assembly	RK22G	4
1	1 036 924 876	LED Flexfoil (FFC LED)_EMV	RK12P	300
1	1 036 922 638	light bezel	RK22	8
1	1 036 923 112	Light Funnel unit	RK22	36
10	1 036 928 093	PARAFUSO;	RK12P	5000
3	1 030 052 663	PARAFUSO; Torx 2,5x8,5	RK12P	5000
1	1 036 924 693	PGU diffuser THICK	RK22P	144
1	1 036 921 443	PGU display frame	RK17	100
1	1 036 923 074	PGU Display Spring	RK17	351
1	1 036 923 588	PGU heat conduction pad	RK12P	550
1	1 036 922 680	PGU heatsink	RK17	23
1	1 036 924 784	QUADRO; IMS metal frame	RK22	275
1	1 036 922 644	Rear cover	RK22	20
1	1 036 927 582	ROTULO; Production	RK12P	1000
1	6 000 799 092	SACO	RK22	25
1	1 036 930 178	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 930 179	TIRA ISOLANTE; Sound Insulation	RK17	200
1	1 036 915 238	TRANSF PET WH- top S8001-BG42WH	RK22P	2000

ANEXO VII – DADOS DE TODOS OS MATERIAIS

Linha	Produto	Rampa	Ponto de Paragem	PN	Qtd./Caixa	Designação	Observações	Tipo de caixa	Volume para 1 caixa (cm³)	Tipo de Rampa	Local de Picking	Consumo do PN para a produção de 1x produto	Qtd. Necessária caixas/hora	Qtd. Necessária caixas/turno	Duração Ciclo (em min) para UMA caixa	Nº caixas para Ciclo X	Capacidade carrinho de apoio				Capacidade rampas	
																	Volume ocupado no carrinho (cm³)	Volume disponível do carrinho (cm³)	% Ocup. Volumétrica	% Ocup. Volumétrica acumulada	Capacidade da rampa	% Ocup. Volumétrica da rampa
204		Rampa 7	20	1 036 207 659	5000	PARAFUSO: 2,5x6,5		RK12P	26400,00	Abastecimento/Recoha	S B 3 8	2	0,03	0,22	254,88	0,01	25,28	498370,00	0%	0%	2,00	0%
204		Rampa 9	21	1 036 204 280	833	ASSY EMC-sheet metal "upper"		RK12P	36000,00	Abastecimento	S C 2 1	1	1,01	7,72	59,18	0,25	6991,47	498370,00	1%	1%	4,00	0%
204		Rampa 3	18	1 036 204 280	833	PARAFUSO: 5x20		RK12P	36000,00	Abastecimento	S B 3 9	2	0,18	1,33	342,34	0,04	157,74	498370,00	0%	1%	2,00	2%
204		Rampa 6	20	1 036 204 471	2000	Central Carrier		RK17	20400,00	Abastecimento/Recoha	S C 5 2	1	12,17	92,67	4,93	3,04	62048,14	498370,00	12%	14%	7,00	43%
204		Rampa 12	23	1 036 202 775	1000	Light Guide		RK17	20400,00	Abastecimento	S B 4 7	1	0,04	0,28	1643,88	0,01	32,85	498370,00	0%	14%	2,00	0%
204		Rampa 15	22	6 000 484 382	500	PELICULA PROTETORA:		RK17	20400,00	Abastecimento/Recoha	S B 2 8	1	0,07	0,56	821,94	0,02	372,29	498370,00	0%	14%	3,00	1%
204		Rampa 14	22	6 785 105 700	2	SACO		BM	20400,00	Abastecimento	S A 5 6	1	0,15	1,11	410,97	0,04	744,58	498370,00	0%	14%	2,00	2%
204		Rampa 4	19	8 613 010 003	6000	FFTA		BM	20400,00	Abastecimento	22 CC 1 7	0,01	0,36	2,78	164,39	0,09	188,33	498370,00	0%	14%	2,00	5%
204		Rampa 24	24	8 613 010 003	6000	PARAFUSO: M3x7 mm display screw		RK12P	26400,00	Abastecimento	S B 4 1 1	3	0,04	0,28	1643,88	0,01	32,85	498370,00	0%	14%	2,00	0%
204		Rampa 12	23	8 613 010 208	4	Rear Cover		RK12P	26400,00	Abastecimento/Recoha	S PA 0 5	1	9,12	69,60	6,06	2,28	60223,19	498370,00	12%	26%	7,00	33%
204		Rampa 10	21	8 613 130 137	56	FRONTMASK		GR	11935,22	Abastecimento/Recoha	S PA 0 30	1	18,25	130,00	3,29	4,56	54462,83	498370,00	11%	37%	15,00	30%
204		Rampa 8	20	8 613 130 502	20	EMC-cover sheet "lower"		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S C 2 5	1	1,30	9,07	46,03	0,33	8603,31	498370,00	0%	39%	4,00	2%
204		Rampa 2	18	8 613 260 502	20	TERRING		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S C 4 4	1	3,05	27,80	16,44	0,91	24089,28	498370,00	0%	44%	4,00	23%
204		Rampa 13	23	8 613 261 611	1000	ROTULO: 2D Barcode		RK12P	36000,00	Abastecimento	S B 5 4	1	0,07	0,56	821,94	0,02	65,70	498370,00	0%	44%	3,00	1%
204		Rampa 5	19	8 828 554 126	16	ETIQUETA ALTO-DESEIVA: "BLANKO-VERP."		RK12P	36000,00	Abastecimento	S B 4 9	1	0,07	0,56	821,94	0,02	65,70	498370,00	0%	44%	3,00	1%
204		Rampa 1	18	8 613 340 680	36	LC DISPLAY: Phos: Trich TFT standard 8		RK22G	52800,00	Abastecimento/Recoha	S C 3 3	1	4,56	34,75	13,15	1,14	60223,19	498370,00	12%	56%	2,00	38%
204		Rampa 17	26	8 613 340 680	36	PCB	O PdaP coloca os bilstres nas caixas	RK7	8400,00	Abastecimento/Recoha	S C 3 3	1	2,03	15,44	29,59	0,51	4258,21	498370,00	1%	57%	2,00	25%
207		Rampa 25	30	1 036 207 659	5000	PARAFUSO: 2,5x6,5		RK12P	36000,00	Abastecimento	S B 3 8	2	0,02	0,14	230,29	0,00	16,07	498370,00	0%	58%	0%	1,00
207		Rampa 17	26	1 036 204 280	833	ASSY EMC-sheet metal "upper"		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S C 2 1	1	0,62	4,72	96,78	0,15	4091,90	498370,00	0%	57%	4,00	4%
207		Rampa 25	30	1 036 204 280	833	PARAFUSO: 5x20		RK12P	36000,00	Abastecimento	S B 3 9	2	0,11	0,82	559,83	0,03	96,46	498370,00	0%	57%	1,00	0%
207		Rampa 19	26	1 036 204 467	6	Central Carrier		RK17	20400,00	Abastecimento/Recoha	S C 5 2	1	7,44	96,67	6,06	1,86	37943,11	498370,00	8%	64%	7,00	27%
207		Rampa 28	28	1 036 202 775	1000	Light Guide		RK12P	20400,00	Abastecimento	S B 4 7	1	0,02	0,17	268,34	0,01	20,09	498370,00	0%	64%	2,00	2,1%
207		Rampa 27	29	1 036 202 775	1000	PELICULA PROTETORA:		RK17	20400,00	Abastecimento/Recoha	S B 2 8	1	0,04	0,34	1344,12	0,01	227,66	498370,00	0%	64%	3,00	0%
207		Rampa 16	25	6 000 484 755	500	FICHA INDICE		RK12P	26400,00	Abastecimento	S B 4 8	0,26	0,02	0,18	2584,84	0,01	20,89	498370,00	0%	64%	2,00	0%
207		Rampa 20	27	8 613 010 003	6000	PARAFUSO: M3x7 mm display screw		RK12P	26400,00	Abastecimento	S B 4 1 1	3	0,02	0,17	2684,24	0,01	20,09	498370,00	0%	64%	2,00	0%
207		Rampa 30	30	8 613 010 003	6000	Rear Cover		RK22	26400,00	Abastecimento	S PA 0 5	1	5,68	42,60	19,75	1,38	36227,13	498370,00	7%	72%	7,00	7%
207		Rampa 27	29	8 613 010 208	4	FRONTMASK		GR	11935,22	Abastecimento/Recoha	S PA 0 30	1	11,16	85,00	5,38	2,79	33298,49	498370,00	7%	75%	15,00	19%
207		Rampa 24	24	8 613 130 137	56	EMC-cover sheet "lower"		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S C 2 5	1	0,80	6,07	75,27	0,20	5261,02	498370,00	0%	79%	4,00	5%
207		Rampa 23	28	8 613 260 502	20	TERRING		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S C 4 4	1	2,23	17,07	26,88	0,56	14740,85	498370,00	0%	82%	4,00	14%
207		Rampa 26	26	8 613 261 611	1000	ROTULO: 2D Barcode		RK12P	36000,00	Abastecimento	S B 5 4	1	0,04	0,34	1344,12	0,01	42,18	498370,00	0%	82%	3,00	0%
207		Rampa 21	27	8 828 554 126	16	LC DISPLAY: Phos: Trich TFT standard 8		RK22G	52800,00	Abastecimento/Recoha	S C 3 3	1	2,29	21,25	21,51	0,70	36837,13	498370,00	7%	90%	3,00	23%
207		Rampa 17	26	8 613 340 680	36	PCB	O PdaP coloca os bilstres nas caixas	RK7	8400,00	Abastecimento/Recoha	S C 3 3	1	1,74	9,44	48,39	0,31	26027,94	498370,00	0%	90%	2,00	15%
201		Rampa 34	10	1 036 202 663	5000	PARAFUSO: Torx 2,5x6,5		RK12P	36000,00	Abastecimento/Recoha	S B 3 1	3	0,01	0,08	540,48	0,00	9,93	498370,00	0%	90%	2,00	0%
201		Rampa 35	13	1 036 212 228	2000	TRANSF. PLET. IRR. SMD18-6G420WH		RK22P	36000,00	Abastecimento/Recoha	S C 1 1	1	12,01	0,07	6251,97	0,01	20,33	498370,00	0%	90%	2,00	0%
201		Rampa 35	13	1 036 212 443	100	PGU display frame		RK17	26400,00	Abastecimento/Recoha	S A 4 2	1	0,18	1,40	326,43	0,05	937,42	498370,00	0%	90%	3,00	2%
201		Rampa 34	10	1 036 212 638	8	light bezel		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S A 5 2	1	2,30	17,50	26,11	0,57	15161,11	498370,00	0%	93%	3,00	19%
201		Rampa 34	10	1 036 212 640	100	Convergias		RK12P	36000,00	Abastecimento/Recoha	S B 2 3	1	0,18	1,40	326,43	0,05	1664,43	498370,00	0%	93%	3,00	2%
201		Rampa 32	15	1 036 212 641	80	ESPELHO		RK17	26400,00	Abastecimento/Recoha	S A 4 5	1	0,31	2,32	159,86	0,08	1562,36	498370,00	0%	95%	4,00	3%
201		Rampa 31	15	1 036 212 644	80	Rear cover		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S A 5 5	1	0,92	7,00	65,29	0,23	6065,65	498370,00	0%	95%	2,00	11%
201		Rampa 32	15	1 036 212 680	23	PGU/heatsink		RK17	26400,00	Abastecimento/Recoha	S A 4 1	1	0,58	6,09	75,08	0,20	4078,73	498370,00	0%	95%	3,00	7%
201		Rampa 35	13	1 036 212 074	351	PGU Display Spring		RK17	26400,00	Abastecimento/Recoha	S C 2 6	1	0,05	0,40	1145,76	0,01	267,07	498370,00	0%	96%	3,00	0%
201		Rampa 35	13	1 036 212 112	26	Light Frame unit		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S A 4 4	1	0,51	3,89	117,51	0,13	3360,80	498370,00	0%	96%	3,00	4%
201		Rampa 32	15	1 036 212 588	550	PGU heat conduction pad		RK12P	26400,00	Abastecimento/Recoha	S B 2 4	1	0,03	0,25	1795,36	0,01	30,08	498370,00	0%	96%	3,00	0%
201		Rampa 35	13	1 036 212 692	380	Fresnel lense		RK17	26400,00	Abastecimento/Recoha	S O 5 2	1	0,05	0,39	1176,14	0,01	260,39	498370,00	0%	96%	3,00	0%
201		Rampa 35	13	1 036 212 693	114	PGU diffuser THICK		RK22P	13200,00	Abastecimento/Recoha	S A 3 2	1	0,13	0,97	470,06	0,03	421,23	498370,00	0%	96%	3,00	0%
201		Rampa 35	13	1 036 212 707	100	QUADRO (GRAPH)		RK12P	26400,00	Abastecimento/Recoha	S B 4 1	1	0,18	1,40	326,43	0,05	165,43	498370,00	0%	96%	3,00	2%
201		Rampa 35	13	1 036 214 784	275	QUADRO: IRS metal frame		RK22	26400,00	Abastecimento/Recoha	S A 5 3	1	0,07	0,51	897,68	0,02	441,14	498370,00	0%	96%	3,00	1%
201		Rampa 35	13	1 036 214 876	300	LED Flexkit (PFC LED), EMV		RK12P	36000,00	Abastecimento/Recoha	S B 2 2	1	0,06	0,47	979,29	0,02	55,14	498370,00	0%	96%	3,00	1%
201		Rampa 34	10	1 036 212 743	12	Combiner-support unit		RK17	20400,00	Abastecimento/Recoha	S O 5 1	1	1,53	11,67	39,17	0,38	7811,82	498370,00	2%	98%	3,00	13%
201		Rampa 31	15	1 036 212 744	48	Combiner-cover		RK17	20400,00	Abastecimento/Recoha	S B 4 2	1	0,38									

ANEXO VIII – QUANTIDADES DE CAIXAS NECESSÁRIAS POR CICLO E OCUPAÇÃO VOLUMÉTRICA DA LINHA 5

Linha	Nº caixas para Ciclo X	Volume ocupação no carrinho (cm3)	% Ocup. Volumétrica	% Ocup. Volumétrica acumulada
Linha 5	0,01	21,43	0%	0%
	0,21	5455,87	1%	1%
	0,04	128,61	0%	1%
	2,48	50590,81	10%	11%
	0,01	26,78	0%	11%
	0,01	303,54	0%	11%
	0,01	27,85	0%	11%
	0,01	26,78	0%	11%
	1,86	49102,84	10%	21%
	3,72	44397,99	9%	30%
	0,27	7014,69	1%	32%
	0,74	19641,14	4%	35%
	0,01	53,57	0%	35%
	0,93	49102,84	10%	45%
	0,41	3471,92	1%	46%

ANEXO IX – QUANTIDADES DE CAIXAS NECESSÁRIAS POR CICLO E OCUPAÇÃO VOLUMÉTRICA DA LINHA 3

Linha	Nº caixas para Ciclo X	Volume ocupação no carrinho (cm3)	% Ocup. Volumétrica	% Ocup. Volumétrica acumulada
Linha 3	0,00	13,23	0%	0%
	0,00	40,44	0%	0%
	0,06	1249,89	0%	0%
	0,77	20218,82	4%	4%
	0,06	220,57	0%	4%
	0,10	2083,15	0%	5%
	0,31	8087,53	2%	6%
	0,27	5434,31	1%	7%
	0,02	356,09	0%	8%
	0,17	4493,07	1%	8%
	0,01	40,10	0%	8%
	0,02	347,19	0%	9%
	0,04	561,63	0%	9%
	0,06	220,57	0%	9%
	0,02	588,18	0%	9%
	0,02	73,52	0%	9%
	0,51	10415,75	2%	11%
	0,13	2603,94	1%	11%
	0,01	44,11	0%	11%
	0,77	40437,64	8%	20%
	1,53	80875,27	16%	36%
	0,03	624,95	0%	36%
	0,03	624,95	0%	36%
	0,02	88,23	0%	36%
	0,41	8332,60	2%	38%
	0,10	2083,15	0%	38%
	0,26	2144,42	0%	39%
	0,02	178,70	0%	39%

ANEXO X – QUANTIDADES DE CAIXAS NECESSÁRIAS POR CICLO E OCUPAÇÃO VOLUMÉTRICA DAS LINHAS 1 E 2

Linha	Nº caixas para Ciclo X	Volume ocupação no carrinho (cm3)	% Ocup. Volumétrica	% Ocup. Volumétrica acumulada
Linha 1 / Linha 2	0,06	255,19	0%	0%
	0,06	882,28	0%	0%
	0,56	29409,19	6%	6%
	0,01	44,11	0%	6%
	0,11	2231,95	0%	7%
	0,11	2231,95	0%	7%
	0,02	312,47	0%	7%
	0,02	308,61	0%	7%
	0,06	882,28	0%	7%
	0,03	114,70	0%	7%
	0,14	3676,15	1%	8%
	0,19	5054,70	1%	9%
	0,44	11553,61	2%	11%
	0,02	416,63	0%	12%
	0,01	22,06	0%	12%
	0,01	22,06	0%	12%
	0,34	17972,28	4%	15%
	0,01	44,11	0%	15%
	1,02	26958,42	5%	21%
	0,11	839,17	0%	21%
0,26	2144,42	0%	21%	

ANEXO XI – CÓDIGO UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DE ROTA PARA LINHA 3

```
int numNodes=...; //numero de nós
float c[1..numNodes][1..numNodes]=...; //distâncias entre nós
/*****variáveis de
decisão*****/
dvar int+ x[1..numNodes][1..numNodes] in 0..1; //se arco ij é usado
dvar int+ u[1..numNodes]; //posição em que é visitado o ponto
dvar float length;
/*****
**/
minimize sum (i in 1..numNodes) sum (j in 1..numNodes) c[i][j]*x[i][j];
subject to {
    //restricoes para garantir que cliente é visitado
    forall(j in 1..numNodes)sum (i in 1..numNodes) x[i][j] == 1;
    forall(j in 1..numNodes)sum (i in 1..numNodes) x[j][i] == 1;
    forall (j in 1..numNodes : j!=1) u[9]>=u[j];
    u[6]>=u[2];
    u[4]>=u[2];
    forall (j in 1..numNodes : j!=1 && j!=9) u[10]>=u[j];
    forall (i in 1..numNodes : i!=1) forall(j in 1..numNodes: j!=1) u[i] - u[j] + numNodes*x[i][j] <=
numNodes - 1;
    length==sum (i in 1..numNodes) sum (j in 1..numNodes) c[i][j]*x[i][j];
}
```

ANEXO XII – CÓDIGO UTILIZADO PARA DETERMINAÇÃO DE ROTA PARA LINHAS 4 E 5

```
int numNodes=...; //numero de nós
float c[1..numNodes][1..numNodes]=...; //distâncias entre nós
/*****variáveis de decisão*****/
dvar int+ x[1..numNodes][1..numNodes] in 0..1; //se arco ij é usado
dvar int+ u[1..numNodes]; //posição em que é visitado o ponto
dvar float length; //valor mínimo de distância total
/*****/
minimize sum (i in 1..numNodes) sum (j in 1..numNodes) c[i][j]*x[i][j];
subject to {
    //restrições para garantir que cliente é visitado
    forall(j in 1..numNodes)sum (i in 1..numNodes) x[i][j] == 1;
    forall(j in 1..numNodes)sum (i in 1..numNodes) x[j][i] == 1;
    forall (j in 1..numNodes : j!=1) u[7]>=u[j];
    u[6]>=u[17];
    forall (i in 1..numNodes : i!=1) forall(j in 1..numNodes: j!=1) u[i] - u[j] + numNodes*x[i][j] <=
numNodes - 1;
    length==sum (i in 1..numNodes) sum (j in 1..numNodes) c[i][j]*x[i][j];
}
```