



Filipe Neto de Freitas

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

Implementação de AGV's –

Um estudo de caso industrial

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Doutor António José Freire Mourão, Professor associado, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Manuel Vicente Fradinho

Arguentes: Professor Doutor António Gabriel Marques Duarte
dos Santos

Engenheiro Anselmo José Dias Pimenta Rodrigues

Vogais: Professor Doutor António José Freire Mourão



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho, 2018

O autor não segue as normas do novo Acordo Ortográfico

[Implementação de AGV's – Um estudo de caso industrial]

Copyright © Filipe Neto de Freitas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

*I shall be telling this with a sigh
Somewhere ages and ages hence:
Two roads diverged in a wood, and I –
I took the one less travelled by,
And that has made all the difference.*

Robert Frost – The Road Not Taken

Agradecimentos

Ao meu irmão, tios, primos, avós, amigos, ex-colegas e professor orientador por toda a disponibilidade e ajuda prestada.

O estágio que tornou possível esta dissertação foi recheado de surpresas, tanto a nível académico, como pessoal. Desta forma, agradeço aos ex-colegas Alexandre Freitas, Anselmo Rodrigues, Paulo Jerónimo, Luís Estremoz, Cláudio Costa, Jorge Lopes, André Carvalho, Florival Azougado, Nuno Labaredas e Mário Mira todo o amparo, gentileza e conhecimentos transmitidos.

Ao restante pessoal, deixo também um agradecimento pela simpatia e amabilidade com que me receberam.

Ao professor António José Freire Mourão pelos valiosos conselhos e tardes despendidas.

Finalmente, aos meus pais pela maneira como me esculpiram ao longo destas quase duas décadas e meia. Estatisticamente, é muito improvável que sejam os melhores pais do mundo, mas caramba, seguramente andam lá perto.

Resumo

O objectivo fundamental da presente dissertação é estudar e implementar um sistema de *AGV's – Automated Guided Vehicles* numa fábrica de componentes para a indústria automóvel.

Foi feito um levantamento dos *AGV's* existentes no mercado e posterior caracterização, com base no seu princípio operativo. Apuraram-se ainda, as soluções técnicas actuais que, conjugadas com a tecnologia de veículos guiados automaticamente, podem constituir uma implementação de um circuito de *AGV's*, nomeadamente os tipos de trajectória e sistemas de guia, os modos de comunicação e as soluções de carregamento de baterias. Para fazer coexistir essas componentes da implementação, escrutinaram-se a relevância do controlo de tráfego, a gestão logística e a interacção de *AGV's* com o meio externo, incidindo quer nas suas unidades periféricas, quer na relação homem-máquina.

Na secção destinada à implementação, verificaram-se que peças eram produzidas, como eram transportadas e armazenadas, as suas cadências de produção, bem como a mão-de-obra usada no seu fabrico.

Com o propósito de prevenir falhas no circuito implementado, bem como de diminuir a sua ocorrência e severidade elaborou-se um *FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)* de pós-implementação do circuito em causa.

Com o objectivo de justificar financeiramente a implementação, compararam-se os custos entre a solução de transporte antiga, a implementada e uma terceira que, segundo uma proposta metodológica de implementação de *AGV's* em contexto industrial *indoor* elaborada pelo autor, seria a mais indicada.

A implementação foi concretizada, com resultados directos positivos, que se traduziram numa redução de custos e com o investimento pago ao fim de 6 meses e 14 dias.

Abstract

The present thesis aims to study and implement a system of AGV's - Automated Guided Vehicles in factory of components for the automotive industry.

A survey was done concerning the various types of AGV's available in the market with subsequent characterization, based on their operating principle. The current technical solutions were probed, namely vehicle navigation, communication and battery charging methods, which associated with automated guided vehicles technology, may constitute an AGV implementation. In order to facilitate those implementation components' coexistence, the bearing of traffic control, logistics management and AGV interaction with its surroundings, with emphasis on its peripheral units and human-machine interaction was scrutinized.

The area intended for implementation was investigated as to verify what parts were produced, how they were transported and stored, their production cycles, as well as the manpower required for its production.

A post-implementation FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) was elaborated for the circuit in pursuance of failure prevention along with severity and occurrence attenuation.

The costs between the former transportation solution, the implemented one and a third suggested by a methodological proposal for AGV implementation in an indoor industrial context developed by the author, were compared aiming to justify the investment validity in this technology. Moreover, the option suggested by the author is regarded as a more suitable alternative than the implemented one.

The implementation was completed resulting in a reduction of labor costs with a payback period of 6 months and 14 days.

Índice

Agradecimentos	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
Lista de Fluxogramas	xix
Lista de Figuras	xix
Lista de Tabelas	xxii
Lista de Gráficos	xxii
Siglas	xxiii
1.Introdução	1
1.1 Preâmbulo.....	1
1.2 Enquadramento	2
1.3 Objectivo	2
1.4 Contexto histórico	2
1.5 Estrutura da dissertação	4
2. Descrição geral dos AGV's e suas aplicações	5
2.1 Tipo de veículos	5
2.1.1 Veículos de reboque	5
2.1.2 Veículos de carga.....	6
2.1.3 Veículos "garfo"	8
2.2 Componentes	9
2.3 Trajectória e sistemas de guia	11
2.3.1 Introdução	11
2.3.2 Trajectória em guia fixa	11
2.3.3 Trajectória aberta – Open path	13
2.4 Comunicação	16
2.4.1 Introdução	16
2.4.2 Por rádio.....	16
2.4.3 Por infravermelhos	18
2.4.4 Por fio guia.....	18
2.4.5 Por circuitos de indução.....	18
2.4.6 Por Wi-Fi	19

2.5 Soluções para carregamento de baterias	19
2.5.1 <i>Introdução</i>	19
2.5.2 <i>Substituição manual</i>	20
2.5.3 <i>Substituição automática</i>	20
2.5.4 <i>Carregamento de oportunidade</i>	20
2.5.5 <i>Carregamento automático</i>	20
2.5.6 <i>Carregamento rápido</i>	21
2.5.7 <i>Acoplamento indutivo</i>	21
2.6 Controlo de tráfego.....	22
2.7 Gestão logística.....	22
2.8 Interacção de AGV's com o meio envolvente	23
2.8.1 <i>Introdução</i>	23
2.8.2 <i>Unidades periféricas</i>	24
2.8.3 <i>O homem e a máquina</i>	25
2.9 Panorama mundial e paradigma futuro	26
2.10 Áreas de aplicação	31
2.11 Vantagens e desvantagens de utilização de AGV's	32
2.12 AGV's no mercado.....	33
2.13 Outras potencialidades	34
3. Caracterização do contexto da unidade fabril pré-AGV's	37
3.1 Dados gerais	37
3.2 Peças e seu armazenamento	37
3.3 Modo de transporte e armazenagem	43
3.4 Produtividade das linhas de produção.....	43
3.5 Ciclos de produção	46
3.6 Mão-de-obra e empilhadores utilizados.....	47
3.7 Síntese da situação actual e proposta de solução	47
4. Caracterização do contexto pós-AGV's.....	49
4.1 Tipo e especificações dos AGV's	49
4.2 Trajectória e sistema de guia	50
4.3 Botoneiras e comunicação.....	50
4.4 Baterias e solução de carregamento	51
4.5 Medidas de segurança.....	52

4.6 Solução de transporte.....	53
4.6.1 Protótipo da plataforma.....	53
4.6.2 Descrição e análise da interação das características do projecto	55
4.6.3 Raio de viragem.....	57
4.7 Propostas conceptuais para a implementação	58
4.7.1 Primeira proposta conceptual.....	58
a. Modelo de circuito – com comunicação Wi-Fi	58
b. Modelo de transporte de carga.....	61
4.7.2 Segunda proposta conceptual.....	62
a. Modelo de circuito – com comunicação Wi-Fi	63
b. Modelo de transporte de carga.....	67
4.7.3 Terceira e última proposta conceptual	67
a. Modelo de circuito – com comunicação rádio	68
b. Modelo de transporte de carga.....	69
4.8 Análise modal de falhas, seus efeitos e criticidade.....	73
4.8.1 Determinação da severidade	74
4.8.2 Determinação da ocorrência	74
4.8.3 Determinação da detecção	75
4.8.4 Número de prioridade de risco	75
4.8.5 FMEA de pós-implementação de AGV's – Funcionamento pleno do circuito	75
4.9 Programação dos AGV's	79
4.10 Cálculo de custos	84
4.10.1 Custos com o sistema de empilhadores e operários (situação de partida)	84
4.10.2 Custos com o sistema de AGV's de reboque (situação implementada)	84
4.10.3 Custos com o sistema de AGV's "garfo" (alternativa).....	85
4.10.4 Comparação de custos entre as três vertentes	86
5. Proposta metodológica de implementação de AGV's em contexto industrial indoor.....	88
5.1 Introdução	88
5.2 Questões para apoio à decisão na implementação de AGV's.....	88
5.3 Fluxograma de apoio à implementação de AGV's.....	88
6. Conclusão	99
Bibliografia	101

Lista de Fluxogramas

Fluxograma 1 - Condições do espaço e sua partilha, carga de trabalho e implicações, carregamento de baterias e métodos de comunicação	93
Fluxograma 1 – A) Trajectória e sistemas de guia.....	95
Fluxograma 1 – B) Tipos de AGV's, cadência, redundância de processo e FMEA	97

Lista de Figuras

Figura 1 - AGV de atraque manual	6
Figura 2 - AGV de atraque automático	6
Figura 3 - AGV com <i>conveyor deck</i>	7
Figura 4 - AGV com <i>lift deck</i>	7
Figura 5 - AGV com braço robótico	7
Figura 6 - AGV <i>unit load</i>	7
Figura 7 - AGV <i>heavy burden</i>	7
Figura 8 - AGV <i>floor-to-floor</i>	8
Figura 9 - AGV para operações de grande altura	8
Figura 10 - AGV tipo garra: exemplo 1	9
Figura 11 - AGV tipo garra: exemplo 2	9
Figura 12 - Caminho fixo: ponto A para B	11
Figura 13 - Representação do sensor num sistema óptico	12
Figura 14 - Fita de cor azul em contraste com a cor verde do pavimento.....	12
Figura 15 - Representação de uma fita magnética como guia de um AGV.....	12
Figura 16 - Pontos magnéticos dispostos em grelha.....	13
Figura 17 – Campo magnético criado por corrente a passar num cabo.....	13
Figura 18 - Triangulação de posição através de lasers	14
Figura 19 - Varrimento em busca de objectos ou zonas específicas	15
Figura 20 - Ímãs como pontos de referência	15

Figura 21 - Circuitos de indução usados para regular a sinalização de semáforos	19
Figura 22 - Custos logísticos, EUA de 1980-2000, em milhares de milhões de dólares (10 ⁹ \$)	23
Figura 23 - Informação versus custo de alterações durante o desenvolvimento do produto	23
Figura 24 - Terminal de contentores de águas profundas semi-automatizado do porto de Barcelona	25
Figura 25 - Representação dos campos de segurança de um AGV	26
Figura 26 - AGV <i>outdoor</i> com pára-choques	26
Figura 27 - Mercado global de AGV's	27
Figura 28 - Novos fabricantes de AGV's pela Europa, Estados Unidos da América e Japão	28
Figura 29 - Sistemas de guia adoptados por fabricantes Europeus de AGV's [46]	28
Figura 30 - Instalação anual de robôs industriais a nível global	28
Figura 31 - Simulação do tráfico actual da baixa da cidade de Boston	29
Figura 32 - Resultados das simulações para o cenário A e B	30
Figura 33 - AGV num corredor do hospital Southmead em Bristol, Inglaterra .	31
Figura 34 - AGV de reboque com estrutura em aço inoxidável	31
Figura 35 - Interação esquemática de um AGV com diferentes secções de um hospital	32
Figura 36 - Exemplos de cargas transportadas por um AGV num ambiente hospitalar	32
Figura 37 - AGV a aguardar a entrada num elevador de serviço	32
Figura 38 - AGV interage com elevador e portas automáticas	32
Figura 39 - Atlascar desenvolvido pela Universidade de Aveiro	34
Figura 40 - Camião de transporte de mercadorias da Otto	34
Figura 41 - Veículo do exército israelita – RAMBOW	35
Figura 42 - Comboio Siemens Inspiro: projecto para o metro de Londres	35
Figura 43 - Projecto de cargueiro eléctrico e autónomo - Yara Birkeland	35

Figura 44 - Navio da marinha americana ACTUV - Anti-Submarine Warfare Continuous Trail Unmanned Vessel	35
Figura 45 - Drone da força aérea americana - MQ-9 Reaper	35
Figura 46 - <i>Fire Scout</i> dos Emirados Árabes Unidos	35
Figura 47 - IP MARCA A	38
Figura 48 - IP MARCA B.....	38
Figura 49 - CVR DS MARCA A	38
Figura 50 - GB's MARCA A para condução à esquerda e direita e gamas alta e baixa	38
Figura 51 - Linhas de produção ① IP A, ② IP B, ③ GB + ④ CVR DS e respectivas <i>racks</i>	39
Figura 52 - <i>Layout</i> da secção em análise da fábrica	41
Figura 53 - Dimensões [mm] críticas do AGV ASTI - EasyBot	49
Figura 54 - AGV ASTI - EasyBot.....	50
Figura 55 - Placas de cobre para carregamento de AGV's	51
Figura 56 - Hierarquia funcional do AGV - <i>Safety Counting</i>	52
Figura 57 - Contentor IP A ou IP B.....	53
Figura 58 - Contentor GB's	53
Figura 59 - Contentor CVR DS.....	53
Figura 60 - Vista isométrica do protótipo da plataforma e esquema de transporte de mercadorias.....	54
Figura 61 - Transporte dos contentores IP A ou IP B.....	54
Figura 62 - Transporte dos contentores GB e CVR DS	54
Figura 63 - Características essenciais da plataforma	55
Figura 64 - Funcionamento do sistema de atraque – Vista em corte segundo o plano definido pelos eixos <i>x</i> e <i>y</i>	56
Figura 65 - Interação Pin Hook com sistema de atraque – Vista em corte segundo os eixos <i>x</i> e <i>y</i>	57
Figura 66 - <i>Layout</i> do primeiro conceito do circuito de AGV's	59
Figura 67 - <i>Layout</i> do segundo conceito do circuito de AGV's.....	65
Figura 68 - <i>Layout</i> do conceito implementado do circuito de AGV's	71

Figura 69 - <i>Tags</i> do circuito IP A	79
Figura 70 - Programação da <i>tag</i> 21115.....	80
Figura 71 - Programação da <i>tag</i> 21075.....	82
Figura 72 - Programação da <i>tag</i> 21077.....	83
Figura 73 - Programação da <i>tag</i> 21098.....	83

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Elementos estacionários de protecção	25
Tabela 2 - Fornecedores de AGV's e seus produtos	34
Tabela 3 - Tipos de contentores e respectivas capacidades de transporte	39
Tabela 4 - Produção dia 11/01/2018 para cliente MARCA - Parque Industrial Auto-Europa.....	44
Tabela 5 - Hierarquização dos graus de severidade	74
Tabela 6 - Hierarquização dos graus de ocorrência	74
Tabela 7 - Hierarquização dos graus de detecção	75
Tabela 8 - FMEA de pós-implementação do circuito	77
Tabela 9 - Informação genérica da programação de AGV's no <i>software</i> SIGAT..	81
Tabela 10 - Funcionamento da programação da <i>tag</i> 21115.....	81
Tabela 11 - Funcionamento da programação da <i>tag</i> 21075.....	82
Tabela 12 - Funcionamento da programação da <i>tag</i> 21077.....	83
Tabela 13 - Funcionamento da programação da <i>tag</i> 21098.....	83
Tabela 14 - Conjunto de questões de apoio à tomada de decisão na implementação deAGV's	91

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Custos acumulados das três vertentes de transporte num período de 6 anos.....	86
Gráfico 2 - Poupança acumulada por implementação de uma das duas opções de automatização.....	87

Siglas

AGV – Automated Guided Vehicle

AMFEC – Análise Modal de Falhas, seus Efeitos e Criticidade

AV – Automated Vehicle

CPDGPS – Carrier-Phase Differential Global Positioning System

CVR DS – Cover Driver Side

DC – Direct Current

DGPS – Differential Global Positioning System

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis

FTS – Fahrerlose Transport System

GB – Glove Box

GPS – Global Positioning System

IP – Instrument Panel

LAN – Local Area Network

LGS – Light Guide System

LGV – Laser Guided Vehicle

PLC – Programmable Logic Controller

NPR – Número de Prioridade de Risco

RF – Radiofrequência

RFID – Radio-Frequency Identification

RPN – Risk Priority Number

SGV – Self-Guided Vehicle

UV - Ultravioleta

VGA – Veículo Guiado Automaticamente

1

Introdução

1.1 Preâmbulo

Retraíndo a lente da nossa câmara para um plano geral, o do trilho que a sociedade percorre actualmente, avistamos carros que se conduzem e estacionam autonomamente, programas de computador que superam qualquer jogador profissional de xadrez, progressos palpáveis no campo das energias renováveis e papéis que começam a ser escrevinhados com planos de povoar o planeta Marte. Passos humildes em direcção a uma civilização tipo I, segundo a escala actualizada do astrofísico soviético Kardashev [1]. Não obstante, não há como negá-lo, é um vislumbre que enche o coração, por mais longínquo que pareça.

Façamos *zoom in* e focuemo-nos neste nicho do progresso tecnológico, os AGV's. O nascimento do AGV é um fruto directo da célebre frase "*work smarter, not harder*". É a materialização de um desejo de emancipação do trabalho monótono e saturante. Trata-se de um sistema operado independentemente, guiado através de sensores por rotas definidas [2], cuja bateria tem uma duração aproximada de 8 a 16 horas entre carregamentos [3]. O veículo é controlado por um microprocessador que identifica a carga a transportar, o seu destino, o caminho e velocidade do veículo.

Esta dissertação contém termos anglo-saxónicos quando não há uma tradução adequada para a língua portuguesa, ou quando faz parte da terminologia utilizada internacionalmente, estando estes sempre assinalados a itálico.

1.2 Enquadramento

Desenvolveu-se um projecto em ambiente fabril durante um período de seis meses, na Faurecia, uma empresa de fabrico de equipamentos para a indústria automóvel, culminando numa implementação de um circuito de AGV's. Este trabalho foi primariamente desenvolvido pelo autor em regime autónomo, não obstante, com colaboração de engenheiros e operários.

1.3 Objectivo

Do ponto de vista da empresa, objectiva-se uma implementação bem-sucedida de um circuito de AGV's que consista numa alternativa adequada ao actual sistema de transporte de mercadorias, com um ganho relevante que justifique o investimento nesta tecnologia.

Na óptica académica, o objectivo desta dissertação centra-se no levantamento de soluções comerciais de AGV's e na sua caracterização, com vista à melhor adequação das necessidades do caso em estudo, às soluções técnicas e tecnológicas disponíveis. Para isso, procura-se tomar conhecimento dos vários tipos existentes de AGV's, da sua estrutura, método de funcionamento, modo de navegação, comunicação, prós e contras entre cada um deles e, finalmente, propor uma metodologia de implementação deste tipo de equipamento num contexto fabril e *indoor*. No fundo, pretende-se proceder à mais escurpulosa análise de todas as consequências que advêm da automatização do transporte de mercadoria numa parte específica da fábrica. Ou seja, analisar-se-á o que se adivinha ser um esforço de coesão logística, empresarial, tecnológica e social.

1.4 Contexto histórico

Através da automação, o homem tem conseguido progressivamente libertar-se do trabalho de origem muscular, repetitivo e pouco preciso [2]. A consequência desta abordagem socrática ao mundo que nos rodeia, resultou no aumento da

qualidade de vida, quer em áreas de saúde, conforto ou acesso a tecnologia e informação.

Paulatinamente, a automação localizada, onde o factor humano é fundamental como elemento de controlo do sistema, está a ser substituída por uma automação centralizada, onde toda a informação é processada e analisada de forma a tornar o processo mais fluído e eficaz.

O primeiro AGV surgiu no mercado em 1953, nos Estados Unidos da América, lançado pela Barret Electronics of Northbrook consistindo numa simples carruagem que seguia sobre carris, projectado para mover mercadorias dentro de um armazém de perecíveis [4–6]. No final dos anos 50 e início dos 60 do século XX o uso de AGV's chegou à Europa começando a ser usados mais frequentemente e em diferentes aplicações.

Nos anos 70 o principal sistema de guia consistia na indução eléctrica de um cabo soterrado no solo, ao longo do percurso desejado. Um dispositivo chamado *floor controller* desligava e ligava a corrente, dirigindo assim o AGV pelo caminho pretendido, dando origem à expressão *Smart floors and dumb vehicles* - O veículo era considerado “burro” pois limitava-se a seguir sinais vindos do chão e a inteligência do processo vinha dos controladores [7].

Através da antena do AGV, o veículo era conduzido de acordo com a força do sinal recebido, implicando que múltiplos cabos fossem soterrados para lidar com intersecções no percurso. O sistema faria, portanto, passar corrente somente no cabo correspondente ao caminho pretendido, daí o preço exorbitante da instalação de todo o mecanismo. Também a introdução de curvas no percurso criava problemas: o corte no solo por onde passavam o(s) cabo(s) tinha que descrever exactamente o mesmo raio de viragem que o AGV. Além disso, materiais metálicos e sinais electrónicos interferiam com os sinais do sistema guia [7].

Na década de 80, sistemas de navegação sem fios – *Open path* foram introduzidos, o que resultou em maiores flexibilidade e precisão do sistema – Orientação a laser, por exemplo [7].

Hoje em dia existem vários tipos de AGV's sendo o mais comum o LGV (Laser Guided Vehicle). É comum encontrar siglas diferentes para fazer referência a **AGV's**, nomeadamente, **LGV**, **SGV** (Self-Guided Vehicle), **FTS** (Fahrerlose Transport System) na Alemanha e **Forarlösa Trucker** na Suécia [4].

Num processo automatizado esta tecnologia é programada para comunicar com outros robôs, evitando precalços no transporte de produtos. Nos dias que correm, os AGV's são uma parte fulcral a ter em conta no projecto de novos armazéns e de novas fábricas.

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação é composta por 6 capítulos:

- O capítulo 1 contém o exórdio, uma introdução ao tema da dissertação, seu objectivo e contexto histórico;
- O capítulo 2 compreende uma apresentação geral dos AGV's;
- O capítulo 3 integra as características da unidade fabril num contexto pré-AGV's;
- O capítulo 4 abarca a descrição das soluções técnicas eleitas e o desenvolvimento de componentes relevantes num contexto pós-AGVs;
- O capítulo 5 inclui uma proposta metodológica de implementação de AGV's em contexto industrial *indoor*;
- O capítulo 6 encerra a conclusão da presente dissertação.

Descrição geral dos AGV's e suas aplicações

2.1 Tipo de veículos

Fontes distintas categorizam os AGV's de variadas formas. Algumas consideram que os veículos são diferentes, mesmo que entre eles varie apenas a capacidade de carga [8]. Outras estabelecem os limites das categorias no grau de automatização; se o veículo opera de forma exclusivamente independente pertence a um tipo, se operado manualmente é considerado um híbrido [9]. Noutro caso, a separação entre os veículos é feita com base nos seus tipos de comunicação [2]. Cada fonte distingue os AGV's de acordo com o seu interesse acadêmico ou foco empresarial.

Por conseguinte, surge a necessidade de escolher um critério classificativo mais abrangente e mais adequado.

Resumindo, um AGV é um veículo que transporta determinada carga de um ponto A para B. A capacidade de carga pode variar, a largura do veículo pode ser diferente, o percurso pode ser maior ou menor e assim por diante. No entanto, a característica diferenciadora é a forma como o AGV se “apropria” da carga, como a carrega e a entrega. Assim, a categorização será feita com base no princípio de funcionamento [4].

2.1.1 Veículos de reboque

Designados por *tow vehicles*, os veículos de reboque são veículos cuja estrutura não permite carga mas que, através de uma barra de reboque puxam atrelados com a mesma [3]. São preferencialmente usados quando se pretende mover

grandes quantidades de mercadoria ($\approx 23\ 000\ \text{Kg}$) [10] e podem deslocar mais do que um atrelado de cada vez [4]. Existe a possibilidade de atraque manual ou automático. Habitualmente, se o sistema de atraque é manual, o AGV assemelha-se ao representado na Figura 1, se é automático, a configuração do veículo possibilita que o mesmo passe por baixo da plataforma onde tem que atracar (Figura 2).



Figura 1 - AGV de atraque manual



Figura 2 - AGV de atraque automático

Os benefícios dos AGV's de reboque podem ser sintetizados em [11]:

- ✓ Viabiliza o transporte de múltiplos atrelados e, portanto, de mais produtos que qualquer outro AGV;
- ✓ Pela quantidade de mercadoria que consegue transportar, torna-se o AGV mais eficiente.

2.1.2 Veículos de carga

Este tipo de AGV transporta a mercadoria sobre a sua estrutura, mas o modo de a carregar pode variar. Tapetes rolantes (*conveyor deck* – Figura 3), elevadores (*lift deck* – Figura 4) ou braços robóticos (Figura 5) são exemplos de como estes AGV's colocam sobre eles a carga e a transportam para o local programado de forma totalmente automática.



Figura 3 - AGV com *conveyor deck* [50]

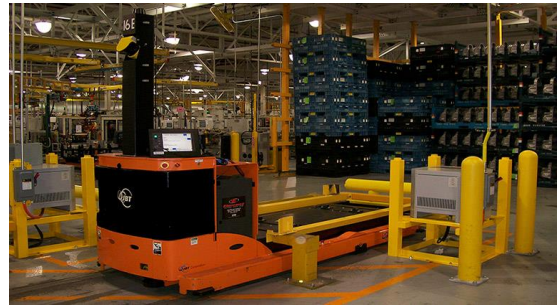


Figura 4 - AGV com *lift deck* [51]



Figura 5 - AGV com braço robótico [52]

Dentro desta tecnologia são consideradas duas categorias: uma com capacidade máxima até 250 Kg [4] (Figura 6), designada por *unit load carrier*, destinada não só a fábricas e armazéns, mas também a habitações e hospitais, por exemplo; outra, com capacidade máxima de 340.000 Kg [12] (Figura 7), denominada por *heavy burden carrier*, que se destina a ambiente de “indústria pesada”, idealmente utilizados para transporte de estruturas metálicas, lingotes, matrizes, etc. Ainda que comercialmente estes dois tipos de veículos sejam distintos, o seu princípio de funcionamento tecnológico é o mesmo.



Figura 6 - AGV *unit load*



Figura 7 - AGV *heavy burden*

Os benefícios dos veículos de carga são substanciados por [12,13]:

- ✓ Indicado para uma grande gama de cargas;
- ✓ Mais seguro no transporte de mercadoria;
- ✓ Vantagem na integração em ambientes partilhados com trabalhadores e empilhadores;
- ✓ Adequado para implementação em ambientes muito diversos, nomeadamente estabelecimentos de saúde e habitações.

2.1.3 Veículos “garfo”

Os veículos do tipo “garfo”, conhecidos por *fork vehicles*, caracterizam a substituição mais directa dos clássicos empilhadores e são indicados para uma vasta gama de configurações e aplicações [14], podendo vários tipos de “garfo” ser adaptados ao mecanismo. A altura máxima de funcionamento pode variar mas, normalmente ronda os 6 m [3] e podem suportar cargas até 2000 Kg [15].

Estes AGV's são ideais para situações onde os pontos de carga e descarga de mercadorias têm altura variável. Existem modelos mais adequados tanto para transferências *floor-to-floor*, onde a diferença de alturas entre o ponto de carga e descarga não é significativa (Figura 8), como para variações que podem ultrapassar uma dezena de metros (Figura 9).



Figura 8 - AGV *floor-to-floor*



Figura 9 - AGV para operações de grande altura [53]

É de notar que o mecanismo que “agarra” a carga não é exclusivamente bifurcado, existindo variações infindáveis adequadas à função pretendida (Figura 10 e Figura 11).



Figura 10 - AGV tipo garra: exemplo 1 [54]



Figura 11 - AGV tipo garra: exemplo 2 [16]

Os benefícios dos veículos do tipo “garfo” são sintetizados por:

- ✓ Ideal em aplicações onde o acesso a diferentes alturas é essencial.

2.2 Componentes

O veículo é composto por uma carcaça, baterias, unidade de carregamento, unidade de accionamento eléctrico, sistema de direcção, travões, controlador de bordo, unidade de comunicação, sistema de segurança e uma plataforma de trabalho [3].

A carcaça é normalmente feita em aço ou alumínio e corresponde à estrutura do veículo.

As baterias industriais são de 24 ou 48 V DC, existindo várias opções de carregamento (ver 2.5).

Existem três tipos de controlo direccional, sendo o mais comum o *differential speed control* [16]. Neste método são usadas duas rodas motrizes, movendo-se a diferentes velocidades para que o AGV possa mudar de direcção, ou a velocidade igual para que se consiga deslocar para a frente ou para trás.

O segundo tipo dá pelo nome de *steered wheel control* e assemelha-se ao sistema de direcção de um carro. É usual a utilização de um conjunto com três rodas, em que só uma delas é motriz, e a única com poder direccional.

O terceiro tipo baseia-se numa junção dos dois anteriores. Dois motores independentes, cada um ligado a uma roda, posicionadas diagonalmente nos cantos do AGV e rodízios giratórios colocados nos outros cantos do veículo, permitem a viragem em arco, movimento lateral e diferencial em qualquer direcção.

O AGV dispõe de um sistema de travões de grande precisão que permite a sua paragem no local programado. O comando é transmitido por uma unidade de controlo exterior, por um código de barras colocado no chão ou em caso de emergência, accionado por sensores de movimento, caso detectem um objecto ou pessoa no seu percurso.

O controlador de bordo consiste, tipicamente, num microprocessador cuja função é recolher informação e tomar decisões com base num programa. Monitoriza a posição e velocidade do veículo, controla a activação de mecanismos de segurança, condição das baterias, do sistema de direcção e dos travões [17]. É o responsável pela manutenção do desempenho do AGV.

A unidade de comunicação está encarregada de transmitir comandos (ver 2.4) ao microprocessador. É essencial para o AGV executar comandos não automáticos e para comunicar com outros AGV's, possibilitando a gestão da sua presença pelos locais programados.

Dependendo dos AGV's, vários métodos podem ser usados para garantir a segurança durante a operação destes veículos. Sensores de proximidade, pára-choques, material reflector, avisos sonoros e luminosos.

2.3 Trajectória e sistemas de guia

2.3.1 Introdução

Veículos que seguem uma guia para navegar de um ponto A para B (Figura 12) usam os primeiros métodos de navegação de AGV's. As características gerais deste método são [7]:

- As guias estão bem definidas no chão;
- As guias são contínuas;
- As guias são fixas mas podem ser alteradas.

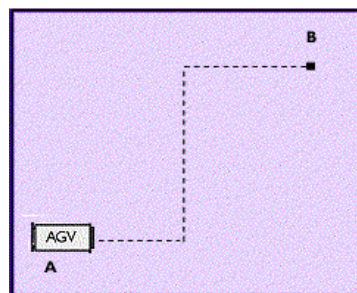


Figura 12 - Caminho fixo: ponto A para B

2.3.2 Trajectória em guia fixa

A generalidade dos AGV's necessita de uma guia fixa, *fixed path* na terminologia inglesa, para delinear o caminho a percorrer e para o efeito são usadas duas técnicas distintas: a) Rastreamento passivo, depende de princípios de detecção óptica ou metálica e b) Rastreamento activo, depende de princípios indutivos [3].

Os métodos de rastreamento passivo exigem um sensor na parte inferior do AGV, cujo objectivo é detectar a fita, químicos ou *tags* que definem e mantêm o veículo no seu caminho. São considerados passivos porque não necessitam que o sistema de guia seja energizado [4], sendo utilizados sistemas ópticos ou magnéticos.

O método óptico depende de sensores (Figura 13) que analisam o comprimento de onda, do espectro visível, entre a luz reflectida pelo pavimento e pela fita

(Figura 14). Este contraste permite ao AGV corrigir a sua rota quando se desvia do percurso. Naturalmente, se a fita estiver suja, danificada ou parcialmente removida, o AGV poderá abandonar a sua rota.

Um modo alternativo é baseado na estimulação com luz UV que ilumina a fita ou químicos não absorventes no espectro visível [18].

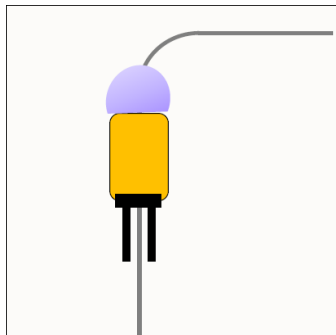


Figura 13 - Representação do sensor num sistema óptico



Figura 14 - Fita de cor azul em contraste com a cor verde do pavimento

Pode optar-se por definir o caminho com uma fita magnética (Figura 15) e, ajudado por sensores, o AGV mantém-se na sua rota. Apesar do princípio físico ser diferente, a ideia de funcionamento é muito semelhante à anterior [18].

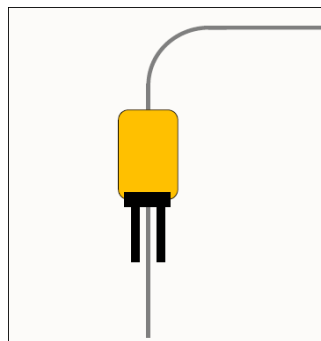


Figura 15 - Representação de uma fita magnética como guia de um AGV

Existe uma segunda opção, a de colocar pontos de referência magnéticos num padrão de grelha (Figura 16) atribuindo coordenadas x , y a cada ponto. Simultaneamente, um giroscópio mantém uma direcção de referência [18].

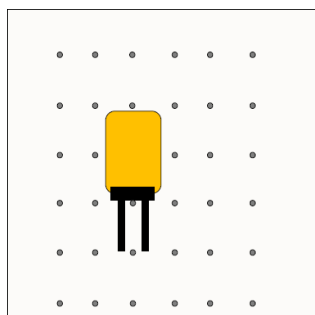


Figura 16 - Pontos magnéticos dispostos em grelha

No rastreamento activo, os sistemas são filoguiados, conhecidos por *guide wire* e implicam a utilização de um cabo soterrado a pouca profundidade. O cabo é electrificado, criando assim um campo magnético (Figura 17). O AGV é equipado com antenas com propósito orientador. Tem a vantagem de não ser afectado pelo nível de limpeza do solo, tinta, óleo, gelo e neve, por exemplo, não influenciando o bom funcionamento do sistema [2]. No entanto, este método é cada vez menos utilizado pela pouca flexibilidade de mudança que oferece.

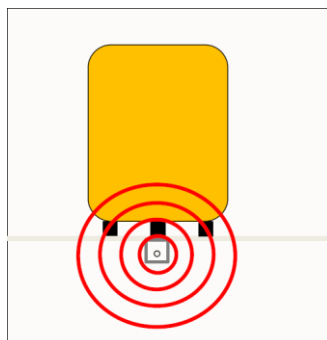


Figura 17 – Campo magnético criado por corrente a passar num cabo

2.3.3 Trajectória aberta – *Open path*

Para um AGV se deslocar num espaço sem restrições ou caminho pré-definido, tem que ter forma de se localizar, bem como que rota tomar sem provocar nenhum acidente.

Os quatro métodos mais comuns de navegação são:

- Orientação a laser – *Laser guidance*
- Orientação natural – *Natural navigation*
- Orientação inercial – *Inertial guidance*
- Orientação GPS – *GPS navigation*

Qualquer um dos métodos de navegação em trajectória aberta exige que o veículo tenha registado na sua memória o percurso estabelecido, assim como vários pontos de referência que o auxiliam na sua movimentação e orientação.

A orientação a laser é o método de navegação em trajectória aberta mais comum [18]. É caracterizado pelo uso de um scanner laser numa “cabeça” giratória que, ao longo do percurso, efectua um varrimento em busca de alvos reflectores posicionados estrategicamente. Obtendo as distâncias e ângulos relativos aos alvos, o AGV consegue triangular a sua posição (Figura 18). O laser pode ser pulsado ou modulado.

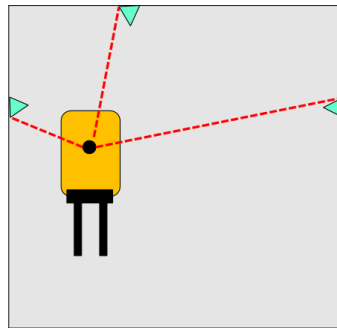


Figura 18 - Triangulação de posição através de lasers

O laser pulsado, por norma, emite luz a uma frequência de 14,400 Hz, o que permite uma resolução máxima de 0.2° a 8 revoluções por segundo [16,19]. Para que estes dados possibilitem uma navegação fidedigna, têm que ser interpolados com base na intensidade da luz reflectida, para se determinar o centro do reflector.

O laser modulado permite maior alcance e precisão que a anterior alternativa. Graças à emissão contínua de luz, em vez de pulsada, disponibiliza uma fonte de dados posicionais ininterrupta assim que um reflector entre no “campo de visão” do scanner. Comparativamente, consegue-se obter uma resolução angular de 0.006° (também a 8 rev./s), batendo o método anterior por duas ordens de grandeza [16,19].

Na orientação natural, o ponto chave do método é o armazenamento em memória de áreas ou objectos, específicos da zona de operação (Figura 19), sendo

o cálculo da posição do AGV feito em relação a estes. É ideal para cenários que mudem constantemente [16,20].

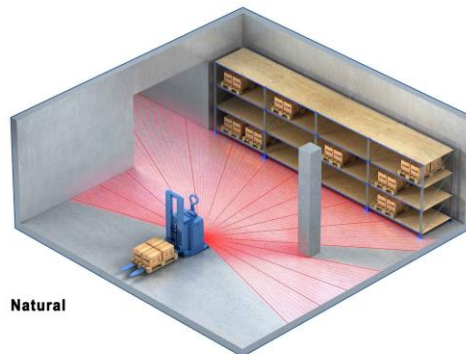


Figura 19 - Varrimento em busca de objectos ou zonas específicas

A orientação inercial usa pontos de referência no chão, habitualmente ímans (Figura 20), colocados em posições definidas por coordenadas cartesianas [18]. Esses pontos são detectados por um sensor presente no AGV durante a marcha. Simultaneamente, um giroscópio regista quaisquer mudanças de trajectória [21] e por último, a distância percorrida é também medida. O veículo utiliza a informação destas três fontes para se localizar.

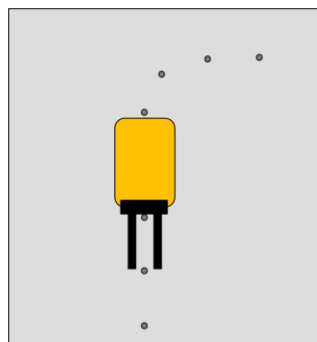


Figura 20 - Ímans como pontos de referência

A orientação GPS é quase exclusiva em percursos ao ar livre para evitar bloqueios do sinal causados por edifícios.

GPS – *Global positioning system* é um sistema de localização global com tecnologia convencional, cuja precisão ronda os 20 m [22]. Além desta técnica, o DGPS – *Differential global positioning system* usa uma rede de estações terrestres cujas posições são conhecidas e a sua função é transmitir as diferenças entre as duas

fontes de dados, podendo aumentar-se a exactidão até 3 m. Finalmente, com um último aperfeiçoamento ao mecanismo, foi criado o CPDGPS – *Carrier-phase differential global positioning system* que possibilita a precisão ao centímetro, absolutamente necessária para algumas aplicações [23].

Compreensivelmente, cada incremento tecnológico significa um custo acrescido, pelo que, se o objectivo do AGV for transportar carga e descarregá-la num terreno de um hectare, sem constricções algumas, o sistema GPS é mais que suficiente.

2.4 Comunicação

2.4.1 Introdução

A troca de informação entre AGV's é essencial para a gestão das tarefas a desempenhar e para a monitorização do tráfego dos veículos, com o intuito de impedir acidentes e garantir a máxima autonomia possível. Permite dar comandos aos AGV's, tais como: para onde ir, quando começar a marcha, quando acelerar, quando parar, etc. Dependendo da aplicação, existem cinco tipos de comunicação.

2.4.2 Por rádio

Na comunicação por rádio a capacidade de resposta do sistema a imprevistos é bastante boa e novas rotas podem ser adaptadas rapidamente. É importante ter em conta se existem “zonas mortas” que impossibilitem a transmissão de rádio, ou a existência de outras frequências a operar no mesmo local, a fim de evitar interferências. Esta informação permite calcular o número de antenas adequadas, bem como a sua colocação. Existem dois métodos básicos actualmente em uso: banda estreita e espectro amplo [7].

O sinal de banda estreita, ou *narrow-band*, consiste no envio e recepção de informação, através de uma frequência de rádio específica, cuja amplitude é o

mais limitada possível e ronda os 450 MHz. A sobreposição de vias de comunicação é naturalmente indesejada, pelo que, aos diferentes AGV's são atribuídas frequências distintas [7].

O sinal de espectro amplo, conhecido por *spread spectrum*, é uma forma de comunicação em que a frequência de transmissão é deliberadamente variada. Isto resulta numa amplitude de banda muito maior que a de um sinal cuja frequência não varia.

A frequência de um sinal convencional é mantida tão constante quanto possível para que esta possa ser encontrada facilmente e a informação recolhida (música, discursos, etc.) [24].

Existem dois grandes problemas que esta tecnologia colmata [24]. O primeiro, um sinal com frequência constante está sujeito a interferência. Isto pode acontecer quando um outro sinal é transmitido na mesma frequência ou numa muito próxima da primeira. Este acontecimento tanto pode ser acidental, causado por estações de rádio amadoras, por exemplo, ou pode ser deliberado, como em casos de guerra. O segundo, um sinal com frequência constante é fácil de interceptar e não é, por conseguinte, adequado a aplicações que visam manter a confidencialidade de informações transmitidas entre duas partes.

Para minimizar os inconvenientes acima referidos, a frequência de um sinal transmitido pode ser deliberadamente variada pelo espectro electromagnético. Esta variação é feita de acordo com uma função matemática complexa. Para interceptar um sinal desta natureza, seria necessário sintonizar com precisão em frequências que variam de acordo com esta função. Para duas partes conseguirem comunicar através deste modo, têm que conhecer a função frequência-tempo e o ponto inicial de correspondência entre a função e a frequência.

2.4.3 Por infravermelhos

A comunicação por infravermelhos é eficaz, mas tem a desvantagem de ser *point to point* o que pode resultar em interrupções no movimento do veículo aquando da transmissão de informação. Implica que existam pontos de transmissão espalhados pelo percurso do AGV para que seja possível transmitir comandos. Por esta razão, um dado veículo só inicia a sua marcha depois de um ponto de comunicação quando o caminho está completamente desimpedido de outros AGV's, o que apresenta um problema óbvio para sistemas grandes e/ou complexos. Além disso, as distâncias registadas pelo sensor infravermelho tendem a ser diferentes consoante a velocidade a que o AGV circula e consoante o tipo de material dos obstáculos encontrados [25].

Desta forma, a comunicação por infravermelhos é mais adequada para sistemas a baixa velocidade e menos ambiciosos, com poucos AGV's e estações de carregamento de bateria.

2.4.4 Por fio guia

Na comunicação por fio guia a informação é transmitida pelo fio responsável por guiar o AGV. Este sistema oferece uma flexibilidade semelhante a um que comunique por rádio com a excepção de quando o veículo se afasta do fio condutor. No entanto, salvo raras excepções, a distância entre o fio condutor e o AGV é constante e portanto não há “zonas mortas” de transmissão como podem existir em sistemas com ondas rádio. Ainda assim, o uso de sistemas filoguiados está a cair em desuso face a novas opções que oferecem maior adaptabilidade a novos contextos.

2.4.5 Por circuitos de indução

À semelhança da comunicação por infravermelhos, a realizada por circuitos de indução é também *point to point*. Adjacente ao fio guia são enterrados circuitos que criam um campo magnético à sua volta (Figura 21), responsável pela

transmissão de comandos ao AGV. A sua presença é obrigatória nos locais onde a comunicação com os veículos é desejada. A informação é recebida por antenas e passada ao PLC (Programmable Logic Controller), que age em conformidade com o que lhe foi transmitido. A fonte de informação pode também ser o veículo, possibilitando um melhor controlo e gestão da rede.



Figura 21 - Circuitos de indução usados para regular a sinalização de semáforos [55]

2.4.6 Por Wi-Fi

A tecnologia Wi-Fi é o método de comunicação mais comum em sistemas de AGV's devido à fácil implementação, flexibilidade e escalabilidade [26]. É uma óptima conjugação de características e, como tal, em qualquer sistema com alguma complexidade, é a tecnologia de comunicação utilizada.

2.5 Soluções para carregamento de baterias

2.5.1 Introdução

Existem seis meios de manter o sistema em funcionamento energético. Quatro deles envolvem a substituição manual ou automática das baterias, o chamado carregamento por oportunidade e o carregamento automático. A quinta, *fast charging* acaba por ser um melhoramento da versão inicial de carregamento automático com grande vantagem na sua velocidade. A sexta, e mais inovadora, é o acoplamento indutivo, também conhecido por carregamento por indução e, informalmente, por energia sem fios.

2.5.2 Substituição manual

É um método que requer que um operador troque a bateria usada por uma carregada, o que demora entre 5 a 10 minutos [27]. A duração da bateria é variável, naturalmente, rondando as 10 horas e, portanto, adequada para sistemas até 3 AGV's e durante apenas 1 turno [28].

2.5.3 Substituição automática

Implica uma estação de carregamento e troca de baterias automática. Os passos do processo são os mesmos que no método anterior, apenas o tempo de substituição é geralmente menor [29]. É uma solução adequada a sistemas complexos e está pensada para funcionar 24 horas/dia [28].

2.5.4 Carregamento de oportunidade

Como o nome indica, é o uso do tempo em que o AGV está parado em cada ciclo para reabastecer baterias. O carregamento de oportunidade é pensado para circuitos em que os AGV's tenham muitas paragens curtas e definidas [29]. Necessariamente, nesses locais de inatividade, tem que existir uma interface entre o veículo e o carregador. Este método tem a vantagem de não influenciar a necessidade de mais AGV's pois o tempo usado para carregamento é exclusivamente aquele em que o primeiro está parado. É de notar que esta solução prolonga o tempo de vida útil das baterias (entende-se que uma bateria deixa de ser adequada quando a sua capacidade de carga é menor que 80% de uma nova) [30].

2.5.5 Carregamento automático

O conceito por trás desta ideia consiste no AGV realizar as funções para que está programado até que determinada percentagem da sua bateria se esgote. Quando

ele é atingido, o AGV é encaminhado para uma estação de carregamento, onde permanece até que os níveis energéticos da bateria sejam apropriados.

2.5.6 Carregamento rápido

O carregamento rápido, designado por *fast charging*, consiste no carregamento breve e frequente das baterias do veículo, eliminando a necessidade de múltiplas baterias por veículo ao longo de vários turnos. O princípio de funcionamento é muito semelhante ao do carregamento automático, sendo a velocidade de carregamento 3 a 4 vezes superior ao método de carregamento convencional. No entanto, as baterias carregadas desta forma têm um período de vida que ronda os 3 anos, comparativamente aos 5 anos do período de vida pelo método habitual. Comparando a energia debitada por ambos os métodos, chega-se à conclusão que são aproximadamente iguais. Uma abordagem fornece uma determinada energia ao sistema num período de aproximadamente 5 anos, a outra, fornece a mesma energia, mas num período de cerca de 2,5 anos [30].

2.5.7 Acoplamento indutivo

O acoplamento indutivo é um acoplamento entre dois circuitos, cujo ponto de maior eficiência é o ressonante, ou seja, quando receptor e emissor têm a mesma frequência ressonante, transferindo energia de uma bobine para a outra [31].

Contrariamente ao que se imagina, o acoplamento indutivo ressonante é mais eficiente que sistemas com baterias. Tipicamente o rendimento do primeiro ronda os 96% comparativamente aos 80% aproveitados em sistemas com baterias [32]. Aliás, em 2013, investigadores conseguiram atingir uma eficiência de 97.4% entre bobines, a uma distância de 13 cm e a potência transmitida chegava aos 22 kW [33].

2.6 Controlo de tráfego

Existem duas formas de fazer uma gestão adequada dos AGV's. Uma, implica que os AGV's tenham capacidade de processamento de dados suficiente para se auto-encaminharem para onde for necessário. Geralmente, esta opção é utilizada em sistemas de pequena e média escala. A outra, é ter uma interface de controlo geral dos movimentos de AGV's e cargas pelos percursos delineados, que faça a sua gestão automática. A interface recebe *inputs* de sensores de carga, scanners, sensores de presença, etc. e monitoriza variados parâmetros dos AGV's, nomeadamente a sua localização, condição, estado, etc.

É aconselhável que antes da implementação de um sistema de AGV's de grande dimensão, se faça uma simulação para visualizar a interacção de todos os veículos.

2.7 Gestão logística

O termo “logística” teve origem no exército e aplicava-se no processo de abastecimento de equipamento e mantimentos às tropas [34]. Logística como parte conceptual de um negócio, evoluiu durante a década de 50 com a crescente complexidade de ligações entre negócios e empresas e a necessidade de fornecimento de cada vez mais matéria-prima, mercadorias e produtos a fim de impedir a estagnação da economia mundial.

Uma das funções mais importantes da logística e que tem mostrado maior evolução ao longo dos tempos, é o transporte [35]. O transporte em 1980 representava aproximadamente 46,5% de todos os custos logísticos passando para 58,6% em 2000 (Figura 22).

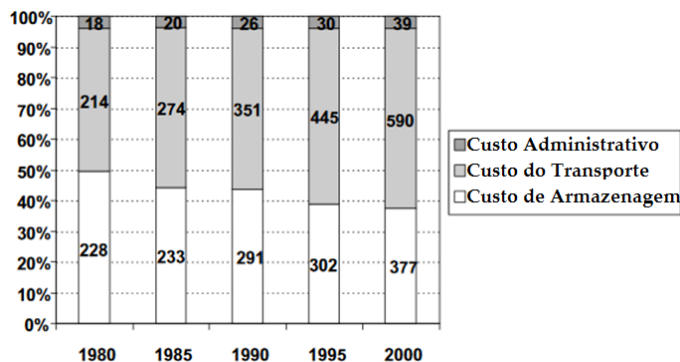


Figura 22 - Custos logísticos, EUA de 1980-2000, em milhares de milhões de dólares (10⁹ \$) [56]

2.8 Interação de AGV's com o meio envolvente

2.8.1 Introdução

É claro que a automação de uma secção de qualquer área, implique, necessariamente, a interação do AGV com robôs, AGV's ou outros, com estruturas do *layout* local, barreiras, semáforos, pessoas, etc. Como tal, e para evitar emendas ao projecto inicial de implementação, a fase de concepção é crucial. O custo de propostas de alterações é elevado, crescendo quanto mais avançada é a fase de implementação (Figura 23).

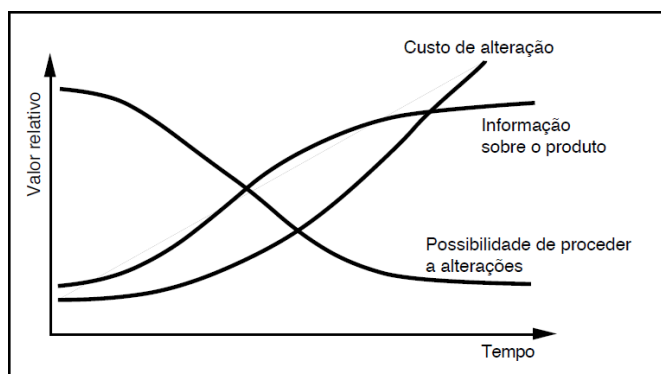


Figura 23 - Informação versus custo de alterações durante o desenvolvimento do produto [57]

Outras variáveis que o projecto tem que ter em consideração [36]:

1. Grandes amplitudes térmicas ou substanciais flutuações de temperatura;
2. Humidade extrema ou falta dela;
3. Características do ar – existência de contaminantes ou substâncias explosivas;

4. Campos eléctricos e magnéticos;
5. Padrões de segurança.

2.8.2 Unidades periféricas

Um sistema de AGV's não tem necessariamente que funcionar em espaço aberto, é possível planear a interacção com portas, portões, elevadores ou outras interfaces físicas. Um exemplo em que tal é necessário, é na implementação de veículos guiados automaticamente num hospital (ou ambiente similar – ver 2.10).

Para esta coexistência ser possível, as portas ou portões têm que abrir e fechar automaticamente. As soluções técnicas habituais são [36]:

1. O sistema de guia do AGV fecha ou abre as portas através de uma conexão LAN (Local Area Network);
2. O AGV comunica diretamente com a interface via infravermelhos ou *bluetooth*;
3. A interface está equipada com o seu próprio sistema de sensores que detectam a aproximação, ou afastamento, do AGV e agem em conformidade.

Refira-se, que além de obstáculos técnicos, o factor “segurança” nunca deve ser negligenciado em qualquer dos passos do projeto. No caso da utilização autónoma de elevadores, especialmente se forem partilhados com pessoas, este detalhe, o da segurança, é especialmente importante [36]:

1. Quem tem acesso aos elevadores? Pessoal treinado, não treinado, visitantes, crianças, pacientes, etc.?
2. Quão frequentemente o elevador é utilizado?
3. É possível segregar humano e máquina para nunca partilharem o elevador?
4. Em caso de emergência, por exemplo um incêndio, a presença de AGV's e pessoas num elevador significa um risco agravado?

2.8.3 O homem e a máquina

A abordagem mais simples para manter um padrão alto de segurança é a de restringir o acesso ao meio em que operam os AGV's. Esta modalidade simbiótica, a de segregar cada parte ao seu espaço é típica em aplicações *outdoor*, como o do terminal de contentores de Barcelona semi-automatizado (Figura 24).

Não sendo possível atribuir espaços exclusivos para homem e máquina, têm que se introduzir várias medidas de prevenção para, por um lado, evitar acidentes e por outro, evitar interrupções no sistema de AGV's e manter a sua eficiência (Tabela 1).

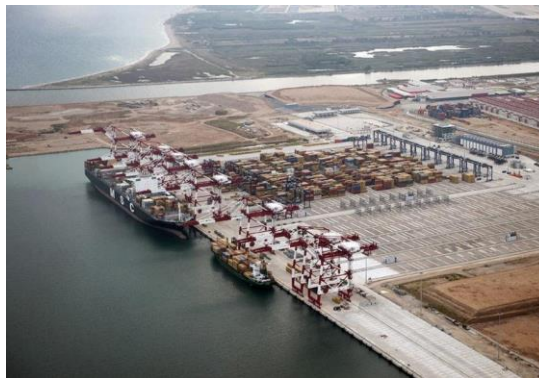


Figura 24 - Terminal de contentores de águas profundas semi-automatizado do porto de Barcelona [58]

Tabela 1 - Elementos estacionários de protecção [36]

Elemento ou medida de segurança	Função
Fitas de marcação e sinalização para designar zonas de perigo	Estabelecer zonas perigosas e de aviso que se trata de uma parte do trajecto de AGV.
Espelho parabólico	Útil em intersecções de visibilidade reduzida.
Semáforos	Para intersecções sem visibilidade. Geralmente a prioridade é dada ao AGV e o sinal muda de forma a que ele não tenha que parar.
Barreiras e corrimões de separação	Úteis em zonas onde há muita afluência de pessoas e em pontos críticos como mudanças de turno, pausa para refeição, etc.
Sinalização visual de 360°	Para avisar a aproximação de um AGV, principalmente em zonas com pouca visibilidade.

Caso falhem as barreiras estacionárias e alguém se coloque defronte a um AGV, é possível incorporar sensores laser, tipicamente infra-vermelhos, no veículo para detecção de obstáculos. É costume usar-se um sistema de dois campos: o primeiro, de detecção e aviso, e o segundo para permitir a paragem do veículo (Figura 25).

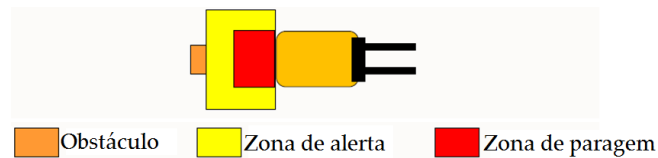


Figura 25 - Representação dos campos de segurança de um AGV [18]

Caso o obstáculo invada a zona de alerta, o AGV abranda, podendo activar sinais luminosos ou sonoros e, se por ventura entrar na zona de paragem, o AGV cessa o seu movimento assim que isso acontece.

Em última instância, em caso de acidente, o AGV pode incorporar um pára-choques (Figura 26) que amortee o impacto entre o obstáculo e o veículo, bem como um sistema de paragem imediata assim que toque em qualquer corpo.



Figura 26 - AGV outdoor com pára-choques [59]

2.9 Panorama mundial e paradigma futuro

Antecipa-se que a florescente tendência de automação industrial impulsione o mercado de AGV's (Figura 27). Factores como o crescimento do custo da mão-de-obra e o envelhecimento da população em países desenvolvidos, obrigaram empresas a depender cada vez mais de soluções de automação para manter a

produtividade e competitividade. É estimado que no ano de 2022 o mercado de veículos guiados automaticamente seja de \$3,320.41 milhões de dólares americanos.

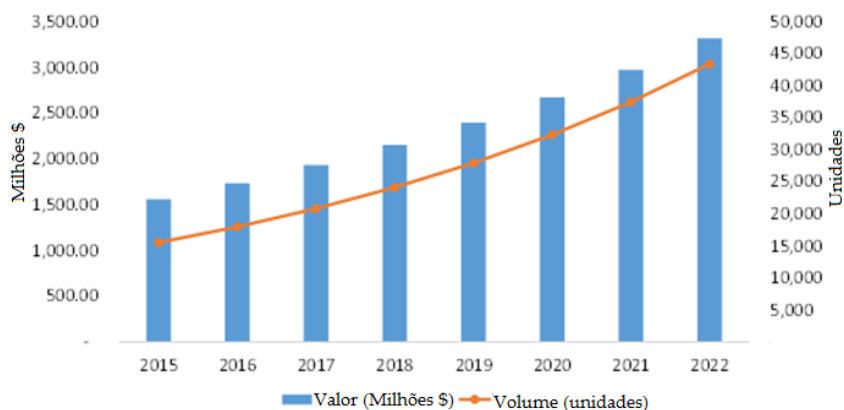


Figura 27 - Mercado global de AGV's [37]

Em 2015, o continente Europeu era o que mais verbas investia nesta tecnologia, seguido pela América do Norte e Ásia-Pacífico, com o Japão a constituir o principal impulsionador deste último [37]. Contudo prevê-se que em 2022 a base da pirâmide inverta para o topo, muito devido à explosão industrial e tecnológica da China.

Existem características interessantes nos sistemas de AGV's da América do Norte, Europa e Japão que os diferenciam. Os sistemas europeus têm o maior número de veículos por sistema e os japoneses o menor. No entanto, em valor absoluto, o Japão tem mais AGV's que o continente Europeu ainda que boa parte deles seja tecnologicamente muito simples. Só na última década, o motor tecnológico japonês começou a perder terreno na criação de novas empresas de veículos guiados automaticamente (Figura 28).

Também no tipo de trajectória e sistemas de guia existe uma diferença de caminhos escolhidos. Na Europa, em 2006, usava-se orientação a laser em 47% dos sistemas (Figura 29) (rastreamento passivo) enquanto que no Japão predominavam sistemas de filoguiados (rastreamento activo).

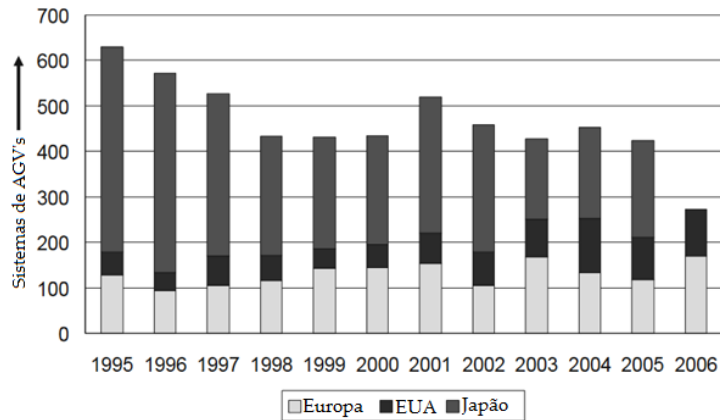


Figura 28 - Novos fabricantes de AGV's pela Europa, Estados Unidos da América e Japão [46]

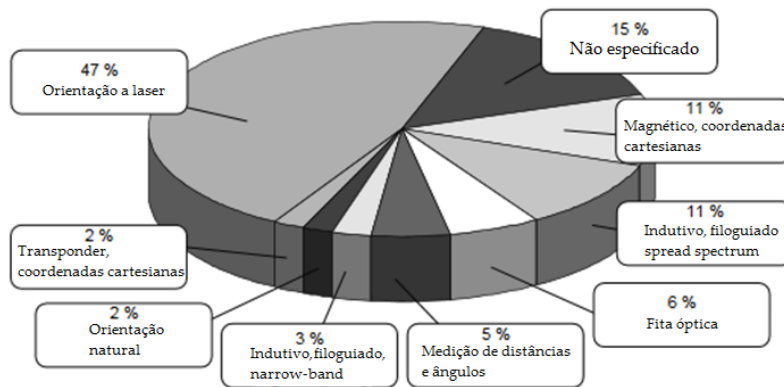


Figura 29 - Sistemas de guia adotados por fabricantes Europeus de AGV's [46]

As aplicações da automação não têm limites à vista. Desde o início deste milénio que a instalação de robôs industriais tem crescido acentuadamente, tendo-se atingido os 265,000 em 2015 (Figura 30).

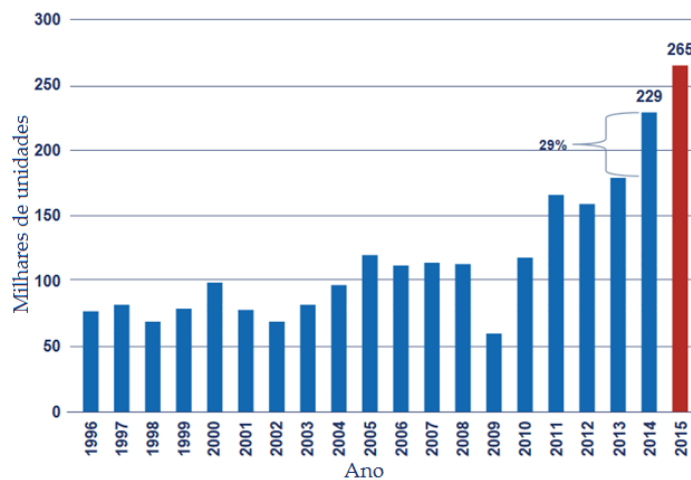


Figura 30 - Instalação anual de robôs industriais a nível global

É razoável assumir que uma vez ultrapassadas as barreiras legais e de organização laboral, a automação estender-se-á à condução de veículos. No Japão, testes realizados pela *New Energy and Technology Development Organization* (NEDO) permitiram atingir total autonomia em camiões de transporte de mercadorias, conseguindo navegar autonomamente, com tempo de reacção de travagem de apenas 20 milissegundos [38]. A organização acredita que se pode poupar até 15% do combustível, além dos salários dos condutores.

Outro potencial escondido desta tecnologia é o de aliviar o tráfego substancialmente, minimizando o tempo perdido em filas de trânsito [39].

Em Setembro de 2016, a cidade americana de Boston anunciou um novo projecto de transportes para a sua cidade, a introdução de AGV's. A parceria entre a *Boston's Autonomous Vehicle Initiative*, a *Boston Consulting Group* e o *World Economic Forum*, simulou o tráfego na baixa de Boston (Figura 31), numa área de 0.45 Km² com e sem AGV's.

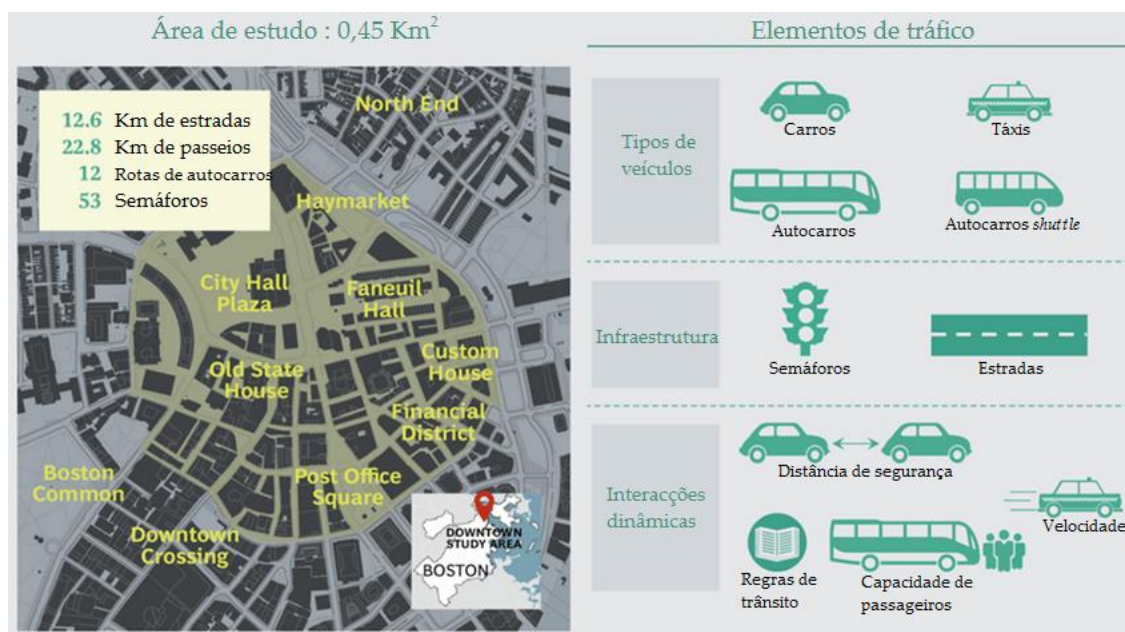


Figura 31 - Simulação do tráfego actual da baixa da cidade de Boston

Simularam-se duas abordagens distintas (Figura 32), uma contemplando a transição suave de veículos particulares para AV's ou AGV's (cenário A) e outra

implicando uma mudança revolucionária no paradigma de transporte para uma frota de veículos guiados automaticamente.

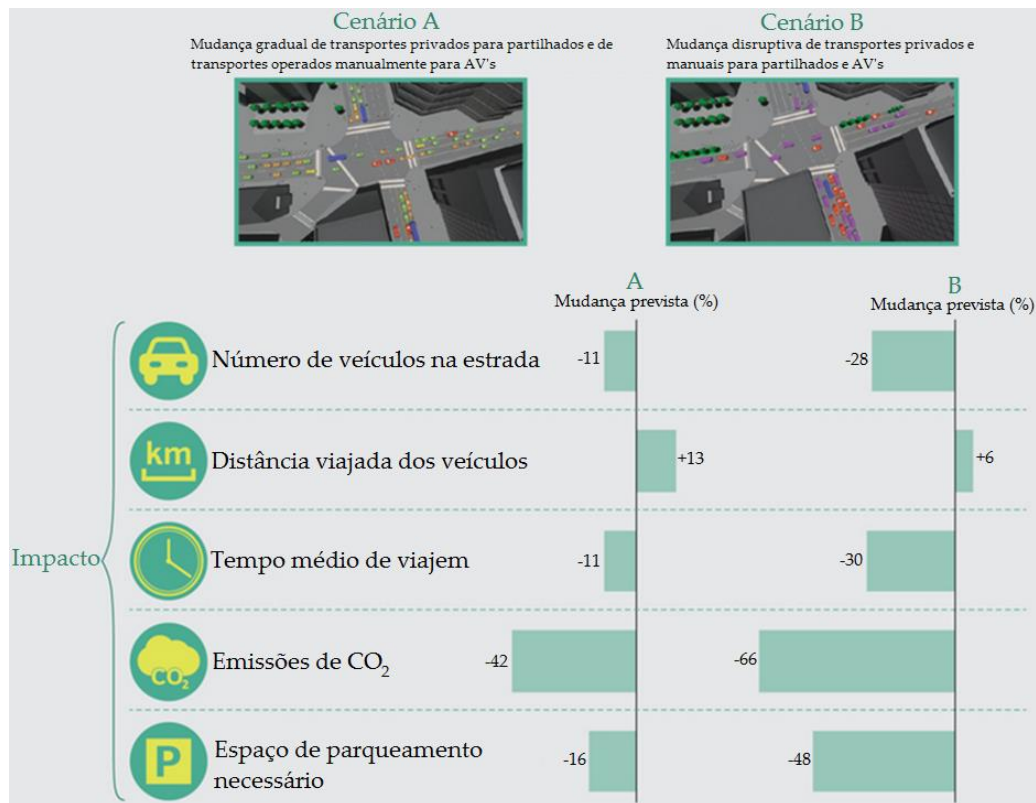


Figura 32 - Resultados das simulações para o cenário A e B

Os resultados da simulação, apesar de não serem considerados uma ciência exacta, são fabulosos quer numa estimativa quer noutra.

A diminuição do número de veículos circulantes que reduz o caos das grandes cidades, nomeadamente no tempo passado dentro dos mesmos, a atenuação na necessidade de lugares de estacionamento e, finalmente, a redução de emissões de dióxido de carbono, apontam para soluções que conduzem à melhoria da qualidade de vida.

2.10 Áreas de aplicação

Os AGV's podem ser encontrados em praticamente qualquer área de produção industrial, comércio, serviços e mesmo no ramo militar. As principais aplicações são a conexão de diferentes áreas de trabalho, abastecimento de linhas de produção, armazenagem e montagem [40]. De entre os principais campos de aplicação, o da indústria metalomecânica, sector alimentar e automatização de armazéns, o último em que foram introduzidos AGV's foi no da saúde e como tal, é merecedor do devido destaque [38,43].

Nesta área, o incumprimento de factores como a interacção eficaz com pessoas (Figura 33), a garantia de segurança, o nível de higiene (melhorado com a utilização de alumínio ou aço inoxidável na estrutura do AGV (Figura 34)) e a eficiência do percurso (Figura 35 e Figura 36) pode significar a perda de vidas.



Figura 33 - AGV num corredor do hospital Southmead em Bristol, Inglaterra [60]



Figura 34 - AGV de reboque com estrutura em aço inoxidável [61]

Para garantir a autonomia do veículo e o total cumprimento destas exigências, os AGV's para esta área são desenhados para interagir automaticamente com portas, elevadores (Figura 37 e Figura 38), rampas e carros de material a transportar [42].

9. Melhoria do ambiente de trabalho por consequência de um transporte de mercadoria silencioso;
10. Efeitos positivos na imagem da empresa;
11. Precisão na execução de tarefas;
12. Possibilidade de controlo instantâneo da posição de cada mercadoria;
13. Aumento do lucro da empresa.

As desvantagens dos AGV's manifestam-se em [3,45,46]:

1. Custos imediatos;
2. Limitações no uso ao ar-livre;
3. Dificuldade na modificação do percurso definido por guias fixas;
4. Organização e *design* específico do pavimento da fábrica;
5. Problemas no desempenho quando a guia não é estável;
6. Manutenção e suporte contínuo;
7. Impossibilidade de operar veículos de diferentes marcas, na mesma guia e com o mesmo sistema de controlo;
8. Incapacidade dos veículos funcionarem em ambientes onde $T_{amb} > 50^{\circ}\text{C}$;
9. Incompatibilidade de produtos de diferentes marcas.

2.12 AGV's no mercado

Existem dezenas de diferentes empresas que produzem AGV's, exclusivamente ou não. Para se ter uma noção das oportunidades de mercado, sugere-se a análise da Tabela 2.

Tabela 2 - Fornecedores de AGV's e seus produtos [21]

Company	Web site	Unit load	Fork truck	Tugger	Mobile robots	AGC	Custom	Guidance
Amerden	amerden.com	x	x	x			x	
JBT Corp.	jbt-agv.com	x	x	x	x		x	x
Creform Materials Handling Systems	creform.com	x		x	x	x		x
Crown	crown.com		x					
Daifuku Webb Holding Co.	daifukuwebb.com	x	x	x	x	x	x	x
Dematic	dematic.com	x	x	x	x	x	x	x
LM Efacec USA	efacecusa.com	x	x				x	
Egemin Automation	egeminautomation.com/en	x	x	x	x		x	x
Electric 80	electric80.com	x	x		x		x	x
Frog Navigation Systems	frog.nl	x	x				x	x
Kiva Systems	kivasystems.com				x			x
Kollmorgen	pick-n-go.com							x
Mitsubishi Caterpillar Forklift America	mcfa.com		x					
Murata Machinery USA	muratec-usa.com	x	x		x		x	x
The Raymond Corp.	raymondcorp.com		x					
RMT Robotics	adamrobot.com					x		
Savant Automation	agvsystems.com	x	x	x		x	x	x
Seegrid	seegrid.com	x	x		x		x	x
SICK	sick.com							x
SI Systems	sihs.com	x		x		x	x	
Toyota Material Handling USA	toyotaforklift.com		x					
Transbotics	transbotics.com	x	x	x		x	x	

2.13 Outras potencialidades

A presente dissertação é focada em AGV's do tipo *indoor* e industriais, no entanto, existe uma miríade de diferentes aplicações em variadíssimas áreas. Das aplicações terrestres destacam-se automóveis, camiões, veículos militares e comboios (Figura 39, Figura 40, Figura 41 e Figura 42).



Figura 39 - Atlascar desenvolvido pela Universidade de Aveiro [63]



Figura 40 - Camião de transporte de mercadorias da Otto [64]



Figura 41 - Veículo do exército israelita – RAMBOW [65]



Figura 42 - Comboio Siemens Inspiro: projecto para o metro de Londres [66]

Entre as aplicações marítimas destacam-se navios para fim comercial e militar (Figura 43 e Figura 44).



Figura 43 - Projecto de cargueiro eléctrico e autónomo - Yara Birkeland [67]



Figura 44 - Navio da marinha americana ACTUV - Anti-Submarine Warfare Continuous Trail Unmanned Vessel [68]

Finalmente, as aplicações aéreas ainda são maioritariamente militares com drones do estilo avião e helicóptero (Figura 45 e Figura 46).



Figura 45 - Drone da força aérea americana - MQ-9 Reaper [69]



Figura 46 - Fire Scout dos Emirados Árabes Unidos [70]

Caracterização do contexto da unidade fabril pré-AGV's

Procedeu-se à análise e caracterização de uma secção da planta de uma fábrica com vista à introdução de um sistema de 4 AGV's. Averiguaram-se as condicionantes do projecto, custos associados, modo de funcionamento actual e futuro e analisaram-se todas e quaisquer variáveis que influenciassem a mudança de funcionamento logístico.

3.1 Dados gerais

O percurso é recto e plano, sem rampas, portas ou qualquer outro tipo de barreira física, é totalmente desimpedido com a ressalva de existirem 3 passadeiras que o atravessam transversalmente. O solo encontra-se em boas condições, sem quaisquer tipos de deformações.

3.2 Peças e seu armazenamento

O local onde se pretende introduzir alterações é constituído por três linhas de produção, onde são fabricados quatro produtos diferentes:

- O *tablier* do carro MARCA A – *Instrument Panel (IP A)* (Figura 47)
- O *tablier* do carro MARCA B – *Instrument Panel (IP B)* (Figura 48)
- Porta-luvas – *Glove Box (GB)* e secção do *tablier* envolvente do compartimento de fusíveis (Figura 49) – *Cover Driver Side (CVR DS)*, ambos do modelo A.

Todas as linhas produzem as peças referidas para automóveis com condução à esquerda ou direita. Dimensionalmente elas são iguais entre si, gozando de simetria segundo um plano transversal.

As GB's podem ser divididas ainda em gama baixa e gama alta (Figura 50).



Figura 47 - IP MARCA A

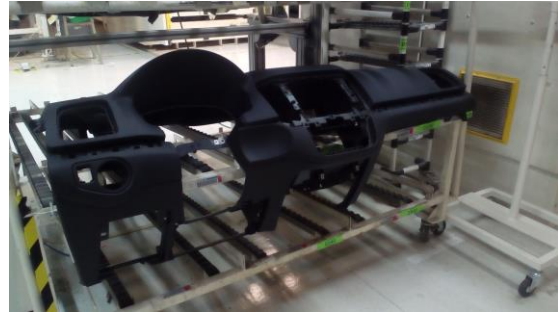


Figura 48 - IP MARCA B

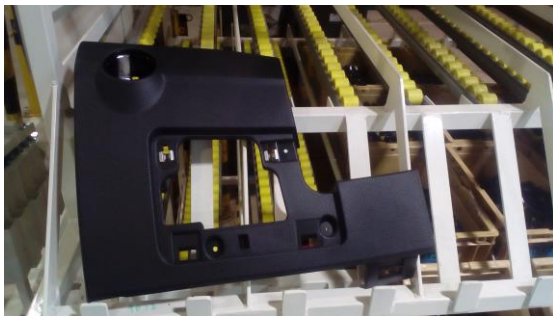


Figura 49 - CVR DS MARCA A

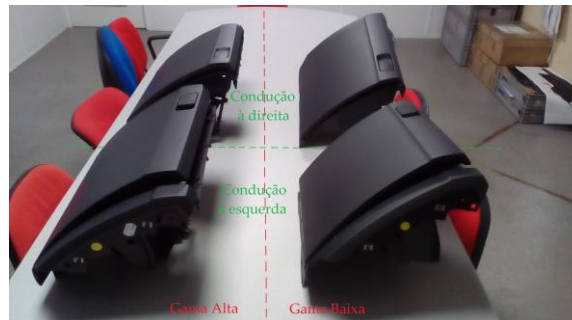


Figura 50 - GB's MARCA A para condução à esquerda e direita e gamas alta e baixa

Todas estas peças, depois de um controlo final da qualidade, são colocadas pelos operadores fabris em contentores (*racks*). Existem quatro: os dois primeiros são idênticos no seu *design* e foram idealizados para armazenar os *IP's* dos modelos A e B, os restantes são carregados, um com as *GB's* e o outro com as *CVR DS*.

A capacidade de armazenamento de cada contentor não é uniforme (Tabela 3). No que toca às *CVR DS*, não existe um contentor, mas sim uma palete que leva 8 caixas, contendo as peças.

Tabela 3 - Tipos de contentores e respectivas capacidades de transporte

Tipo de contentor (<i>rack</i>)	Capacidade (nº de produtos)
IP MARCA A	6
IP MARCA B	4
GB	12
CVR DS	8 caixas; 5 peças/caixa ⇒ 40

A posição das linhas de produção relativamente ao armazém, por ordem decrescente de proximidade é *IP A*, *IP B* e *GB + CVR DS* (Figura 51), cujas distâncias são respectivamente, 70 m, 55 m e 40 m.



Figura 51 - Linhas de produção ① IP A, ② IP B, ③ GB + ④ CVR DS e respectivas racks

A Figura 52 ilustra a secção em foco da planta da fábrica.

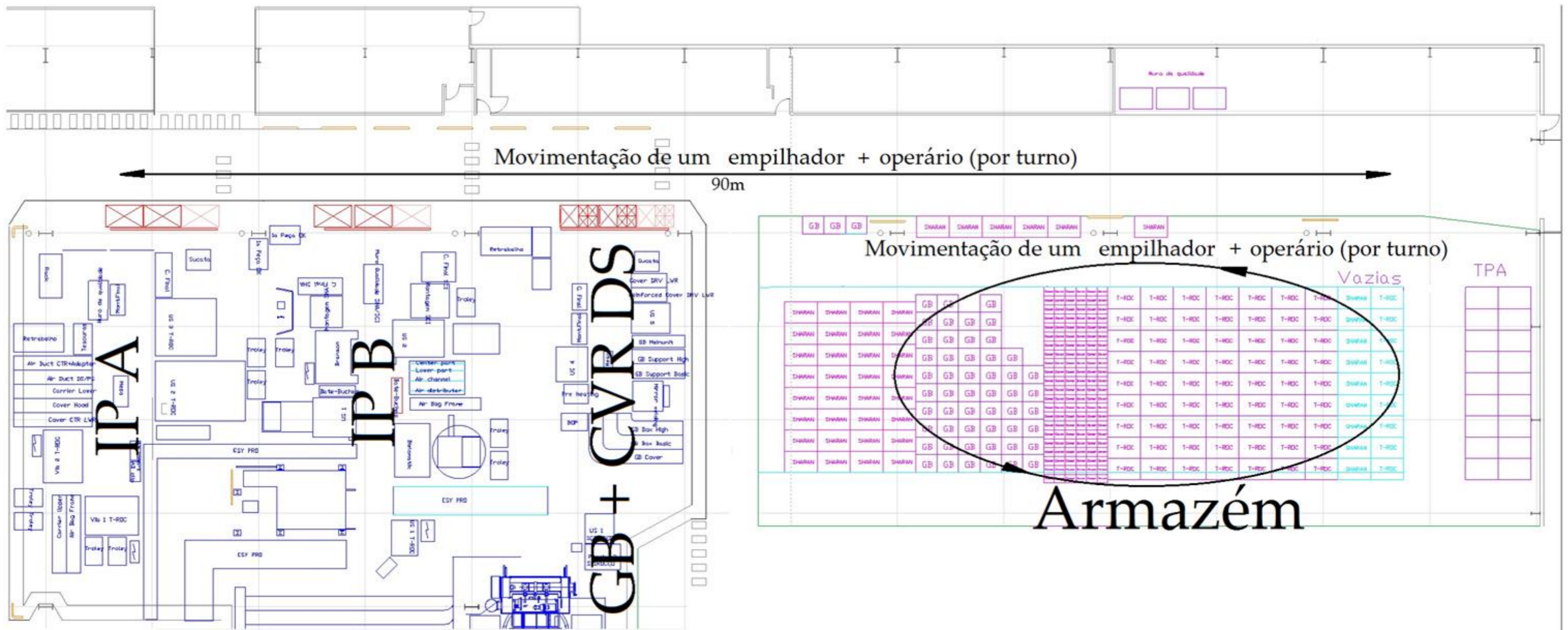


Figura 52 - Layout da secção em análise da fábrica

3.3 Modo de transporte e armazenagem

Depois de atingida a sua capacidade, os contentores são transportados um a um por um empilhador para um armazém adjacente às linhas de produção, onde aguardam o seu envio ao cliente. O *design* dos contentores permite o empilhamento em altura. O transporte da mercadoria é feito por 6 funcionários, 2 por turno, equipados com dois empilhadores eléctricos do tipo “garfo”.

3.4 Produtividade das linhas de produção

Na presente dissertação entende-se por produtividade, o número de peças produzidas por unidade de tempo.

Durante os cinco dias úteis da semana existem três turnos de trabalho que laboram as 24 h do dia, perfazendo um total 15 turnos. Ao Sábado, ocasionalmente, trabalha-se pelo menos 1 turno para compensar ineficiências ocorridas durante a semana.

No entanto, e após análise dos cálculos da produtividade que se seguem, esse turno de trabalho extra é desprezado no sentido de majorar o resultado obtido. Ou seja, pretende-se garantir a eficácia de transporte do mesmo volume de produção num tempo reduzido, imprimindo mais fiabilidade de aplicação à realidade do planeamento a desenvolver.

Por motivos de oscilação das encomendas do cliente (MARCA – Parque Industrial Auto-Europa), a produção é variável de dia para dia. Desta forma, para analisar a capacidade produtiva torna-se necessário estabelecer um valor fixo de peças a fabricar. O primeiro passo é analisar a produção actual (Tabela 4).

Desta, aplicando o conceito de média às peças IP A, GB e CVR DS (modelo A):

$$\bar{x} = \frac{840 + 768 + 1080}{3} = 896 \text{ unidades}$$

Tabela 4 - Produção dia 11/01/2018 para cliente MARCA - Parque Industrial Auto-Europa

Produto	Gama e/ou posição do volante	Quantidade (unidades)	Total
IP A	Esquerda	594	840
	Direita	246	
IP B	Esquerda	296	364
	Direita	68	
	Gama Baixa – Esquerda	132	
GB	Gama Baixa – Direita	120	768
	Gama Alta – Esquerda	228	
	Gama Alta – Direita	288	
CVR DS	Esquerda	1080	1080
	Direita	0	

Os parâmetros temporais utilizados para análise da produtividade são:

- $T_{total\ turno} = 8horas = 8horas \times \frac{60min}{1hora} \times \frac{60s}{1min} = 28800\ s$

- $T_{n\tilde{a}o\ produtivo} = T_{reuni\tilde{a}o\ in\tilde{a}cio\ turno} + T_{alongamentos} + 2T_{pausa} + T_{refei\tilde{c}\tilde{a}o} + T_{arranque\ produ\tilde{c}\tilde{a}o} \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow T_{n\tilde{a}o\ produtivo} = 5min + 5min + 2 \times 7min + 30min + 10min = 64\ min \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T_{n\tilde{a}o\ produtivo} = 64min \times \frac{60s}{1min} = 3840\ s$$

- $T_{\tilde{u}til} = T_{total} - T_{n\tilde{a}o\ produtivo} \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow T_{\tilde{u}til} = 28800 - 3840 = 24960\ s/turno$$

$$24960 \times 3 = 74880\ s/dia\ (3turnos)$$

Num dia útil de trabalho são produzidos **896 conjuntos para o modelo A e 364 para a B, perfazendo um total de 1260**. Pretende-se calcular o número de segundos em que um conjunto tem que ser fabricado para cumprir o objectivo de produção.

Tempo de fabrico médio para IP A (y_2):

$$y_2 = \frac{74880}{896} = 83,6 \text{ s/IP}_A$$

Tempo de fabrico médio para IP B (y_3):

$$y_3 = \frac{74880}{364} = 205,7 \text{ s/IP}_B$$

Tempo de fabrico médio para GB (y_4) e CVR DS (y_5):

$$(y_4 + y_5) \leq y_2 = 83,6 \text{ s/IP}_A$$

A inequação é o símbolo de que as GB e CVR DS são produzidas para o mesmo modelo que IP A e, por conseguinte, tem que se fazer um balanceamento de linhas de produção.

Por medição de tempos durante 1 hora de produção, constatou-se que:

$$y_5 = \frac{4}{7}y_4$$

$$y_4 + \frac{4}{7}y_4 = 83,6 \Leftrightarrow y_4 = 53,2 \text{ s/GB}$$

$$y_5 = \frac{4}{7}y_4 = 30,4 \text{ s/CVR DS}$$

A relação de igualdade aproximada entre as GB's, CVR DS e IP's A é justificada pela flutuação das encomendas do cliente (Tabela 4). Em cada dia poderão existir disparidades nas quantidades produzidas até cerca de 300 unidades. A última inequação relembra que as GB's e CVR DS provêm da mesma linha de produção

e, portanto, o seu tempo de fabrico somado não deverá ser superior ao do modelo IP A.

Estes resultados significam que para garantir o objectivo diário de produção, as seguintes condições terão que ser verificadas:

$$\begin{aligned}
 IP_A + IP_B &\approx 1260 \\
 GB &\approx CVR DS \approx IP_A \\
 \frac{74880}{IP_A} &\leq 83,6 \text{ s}/IP_A \\
 \frac{74880}{IP_B} &\leq 205,7 \text{ s}/IP_B \\
 \frac{\frac{4}{7} 74880}{GB} + \frac{\frac{3}{7} 74880}{CVR DS} &\leq \frac{74880}{IP_A}
 \end{aligned}$$

3.5 Ciclos de produção

Tendo em conta que a análise decorrente é a do transporte de contentores, é vantajoso pensar nestes como o produto em si e, portanto, o número de ciclos é referente ao número de contentores por hora, independentemente da quantidade de produtos transportados dentro dos mesmos (recordar Tabela 3).

$$\begin{aligned}
 T_{produção_{IP A}} \times n^{\circ}peças/contentor &= 83,6 \times 6 = 501,4 \text{ s (8 min, 2 s)} \\
 T_{produção_{IP B}} \times n^{\circ}peças/contentor &= 205,7 \times 4 = 822,8 \text{ s (13 min, 4 s)} \\
 T_{produção_{GB}} \times n^{\circ}peças/contentor &= 53,2 \times 12 = 638,16 \text{ s (10 min, 4 s)} \\
 T_{produção_{CVR DS}} \times n^{\circ}peças/contentor &= 30,4 \times 40 = 1215,6 \text{ s (20 min, 2 s)}
 \end{aligned}$$

Desta forma, o número de ciclos/hora por conjunto é:

$$IP_A = \frac{3600s}{501,4s} = 7,18 \text{ ciclos/hora}$$

$$IP_B = \frac{3600s}{822,8s} = 4,38 \text{ ciclos/hora}$$

$$GB = \frac{3600s}{638,2s} = 5,64 \text{ ciclos/hora}$$

$$CVR DS = \frac{3600s}{1215,6s} = 2,96 \text{ ciclos/hora } IP_A$$

3.6 Mão-de-obra e empilhadores utilizados

Existem actualmente 2 funcionários por turno, 6 no total, a operar dois empilhadores desempenhando as funções de transporte das peças descritas nos pontos anteriores. O custo de cada um destes funcionários é de 11,8 €/hora e estão incluídos neste valor os custos associados de férias, subsídios, seguros, segurança social e média de dias de baixa médica. Note-se que o custo da mão de obra pode variar de acordo com negociações entre funcionários e a entidade patronal.

Os dois empilhadores eléctricos considerados como ferramentas de trabalho, têm um custo mensal de 600 € cada. Os custos com avarias não são suportados pela empresa e considera-se que o custo de carregamento de baterias é desprezável para cálculos futuros.

3.7 Síntese da situação actual e proposta de solução

Com base na caracterização realizada neste capítulo, o potencial de lucro concentra-se no transporte dos produtos. Esta é uma etapa que não acrescenta valor à peça, aliás, representa custos e, como tal, devem ser alocados o mínimo de recursos possíveis à tarefa, mediante certas condições.

Existem três nuances distintas que permitem compreender a vontade de encontrar uma nova forma de transporte de produtos.

Primeiro, a necessidade constante de luta pela competitividade traduz-se em aumentos incrementais da produtividade (*Output/Input*).

Seja aumentando *output* ou diminuindo o *input*, é possível alcançar esse objectivo. No entanto, o primeiro está limitado pelo volume de produção desejado pelo cliente e assim, a decisão de fazê-lo variar não pode ser unilateral. A única alternativa é, por conseguinte, diminuir o *input*, reduzindo os recursos necessários para manter o mesmo nível de produção. A forma mais fácil de o conseguir é através da automatização, reduzindo a mão-de-obra.

Em segundo lugar, o manuseamento dos contentores por operadores, introduz na fase de transporte a possibilidade de falha inerente ao trabalho humano, traduzindo-se num acréscimo no risco de acidentes e de potenciais defeitos nas peças. À semelhança do primeiro aspecto, também este sugere uma robotização e uniformização do transporte dos produtos.

Finalmente, os produtos fabricados têm um ciclo de vida finito e como tal, a nova solução de transporte terá que ser facilmente adaptável a novas circunstâncias.

Com base nesta caracterização, a opção da empresa foi a de implementação de AGV's de reboque com atraque automático nas linhas de produção já enunciadas.

Caracterização do contexto pós-AGV's

4.1 Tipo e especificações dos AGV's

Os AGV's a implementar são quatro do tipo reboque, com sistema de atraque automático através de um pistão cilíndrico com dimensões 1681x273x600 mm (Figura 53).

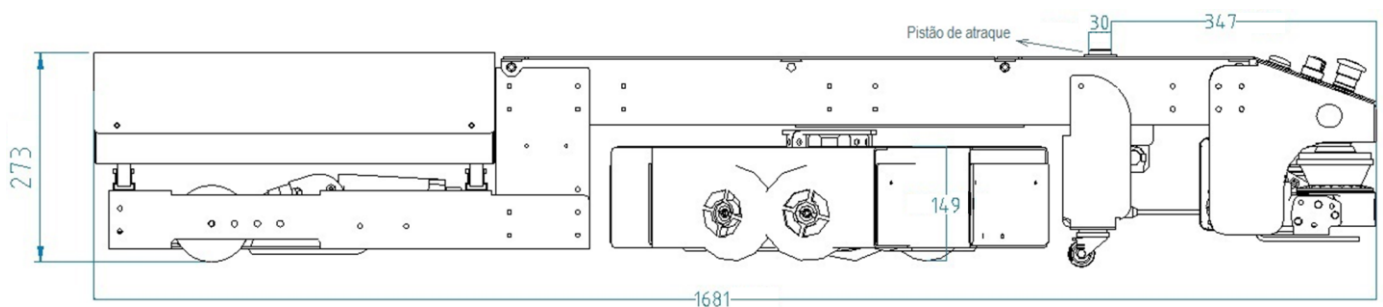


Figura 53 - Dimensões [mm] críticas do AGV ASTI - EasyBot

Características gerais:

- Tracção pura de 350 N;
- Raio de curvatura de 700 mm;
- Velocidade de 0,1 m/s a 0,83 m/s (aproximadamente 6 m/min a 50 m/min);
- Movimento unidireccional automático ou bidireccional manual;
- Sistema de controlo com arquitectura PLC.

É importante ter em consideração que quando o AGV vira, a largura efectiva da sua estrutura aumenta, como é visível na Figura 54.

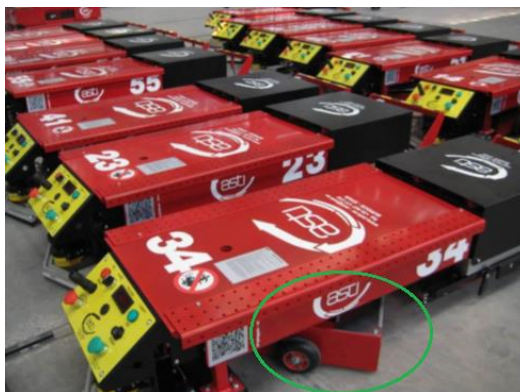


Figura 54 - AGV ASTI - EasyBot

4.2 Trajectória e sistema de guia

Os AGV's terão uma trajectória em guia fixa, regidos por um rastreamento passivo e guiados por banda magnética que definirá o circuito a percorrer. Esta tem uma largura de 50 mm e espessura de 1 mm.

Além da banda, o circuito incorpora *tags* RFID (*Radio-Frequency Identification*) espalhadas por pontos críticos com funções programáveis:

- Aumento ou redução de velocidade;
- Parar o AGV temporariamente ou indefinidamente;
- Engate e desengate automático;
- Elo de ligação para botoneiras.

4.3 Botoneiras e comunicação

Cada linha de produção bem como o armazém terão uma botoneira para ordenar o início de marcha dos AGV's.

A escolha do método de comunicação é decisiva para o tipo de circuito a implementar. Numa fase inicial colocou-se a hipótese de utilizar a tecnologia Wi-Fi pois possibilitava que os AGV's acorressem às linhas que deles necessitassem, enquanto que a comunicação por rádio significaria que cada AGV estaria

circunscrito ao seu percurso, sem chance de permutação automática. O sistema de comunicação Wi-Fi permitiria ainda uma melhor gestão entre AGV's, sendo o seu potencial revelado à medida que mais veículos fossem implementados.

Concluiu-se que, devido à cadência da linha IP A, dois dos AGV's estariam quase exclusivamente a operar nela, pelo que a vantagem de permutação dos veículos entre linhas seria diluída. Também pelo facto de, até à data, a comunicação rádio ser suficiente para gerir os 4 veículos, optou-se por instalar o sistema mais simples e barato.

A comunicação entre AGV's e linhas de produção é feita através de frequência rádio RF *Narrow-band* de 868 Mhz. Comprovou-se não existirem comunicações com esta frequência nesta secção da fábrica evitando-se, por isso, interferências na partilha de dados.

4.4 Baterias e solução de carregamento

Cada AGV possui duas baterias de chumbo-ácido gel de 90 Ampere.hora que serão carregadas através do método de carregamento de oportunidade (Figura 55) – método de carregamento indicado para circuitos com paragens definidas em cada ciclo, ideais para reabastecer baterias.



Figura 55 - Placas de cobre para carregamento de AGV's

4.5 Medidas de segurança

Os veículos possuem um botão de emergência, que por activação manual bloqueia o movimento do AGV, que de imediato acusa a paragem através da emissão de sinais luminosos.

Realce para o sensor laser dianteiro, que com 16 zonas de segurança configuráveis e uma amplitude de 180°, permite deter o AGV caso algum corpo se lhe atrevesse. Este *scanner* laser trabalha em comunhão com a arquitectura PLC (Figura 56).

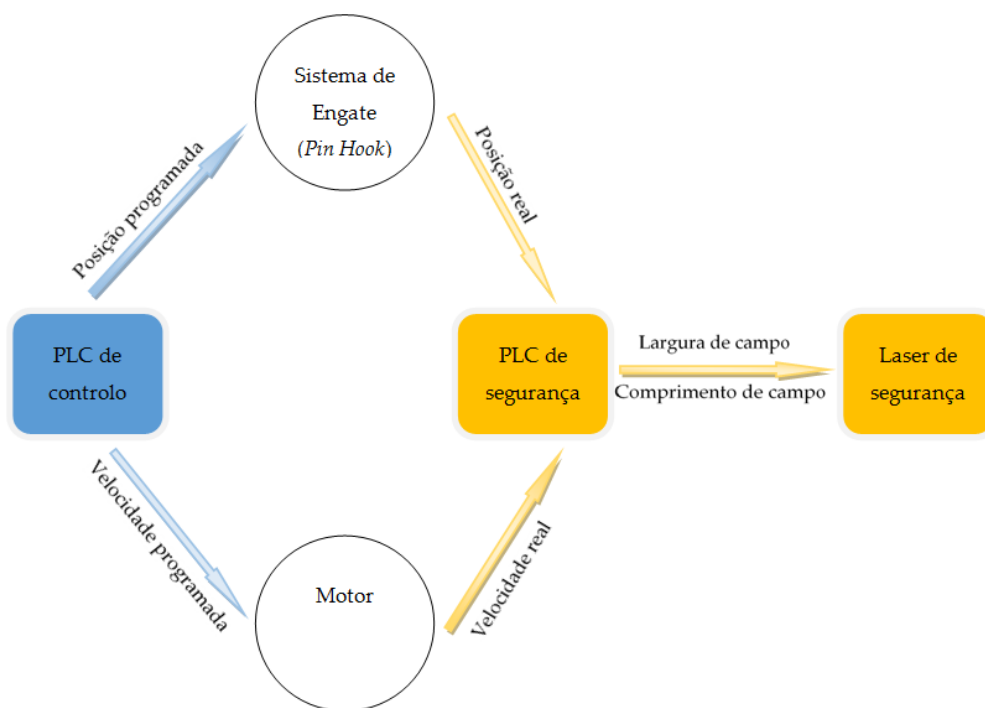


Figura 56 - Hierarquia funcional do AGV - *Safety Counting*

O PLC de segurança recebe as leituras de velocidade do motor e com base no seu valor, adapta o comprimento do campo de segurança, enquanto a largura é escolhida com base no valor de posição real do sistema de engate. A partir destes dados, o PLC de segurança selecciona um dos campos previamente definidos que mais se adequa aos dados recebidos.

4.6 Solução de transporte

4.6.1 Protótipo da plataforma

Tendo em conta o tipo de AGV's que se pretendem implementar, é importante equacionar a forma de transporte da mercadoria, adaptando-a às exigências do cliente. Uma vez que este pretende a sua entrega nestas *racks*, a única alternativa é desenvolver uma interface entre AGV's e contentores, eliminando qualquer outra hipótese.

Cada plataforma terá então que ter uma configuração passível de carregar os contentores de cada linha, isto é, abastecer os contentores da linha GB (Figura 58) e CVR DS (Figura 59), simultaneamente, da linha IP A e IP B (Figura 57).



Figura 57 - Contentor IP A ou IP B



Figura 58 - Contentor GB's



Figura 59 - Contentor CVR DS

O *design* da plataforma (Figura 60) é fruto do plano de funcionamento logístico das três linhas de produção. Os apoios assinalados por cores têm como objectivo impedir os deslocamentos segundo os eixos z e x .

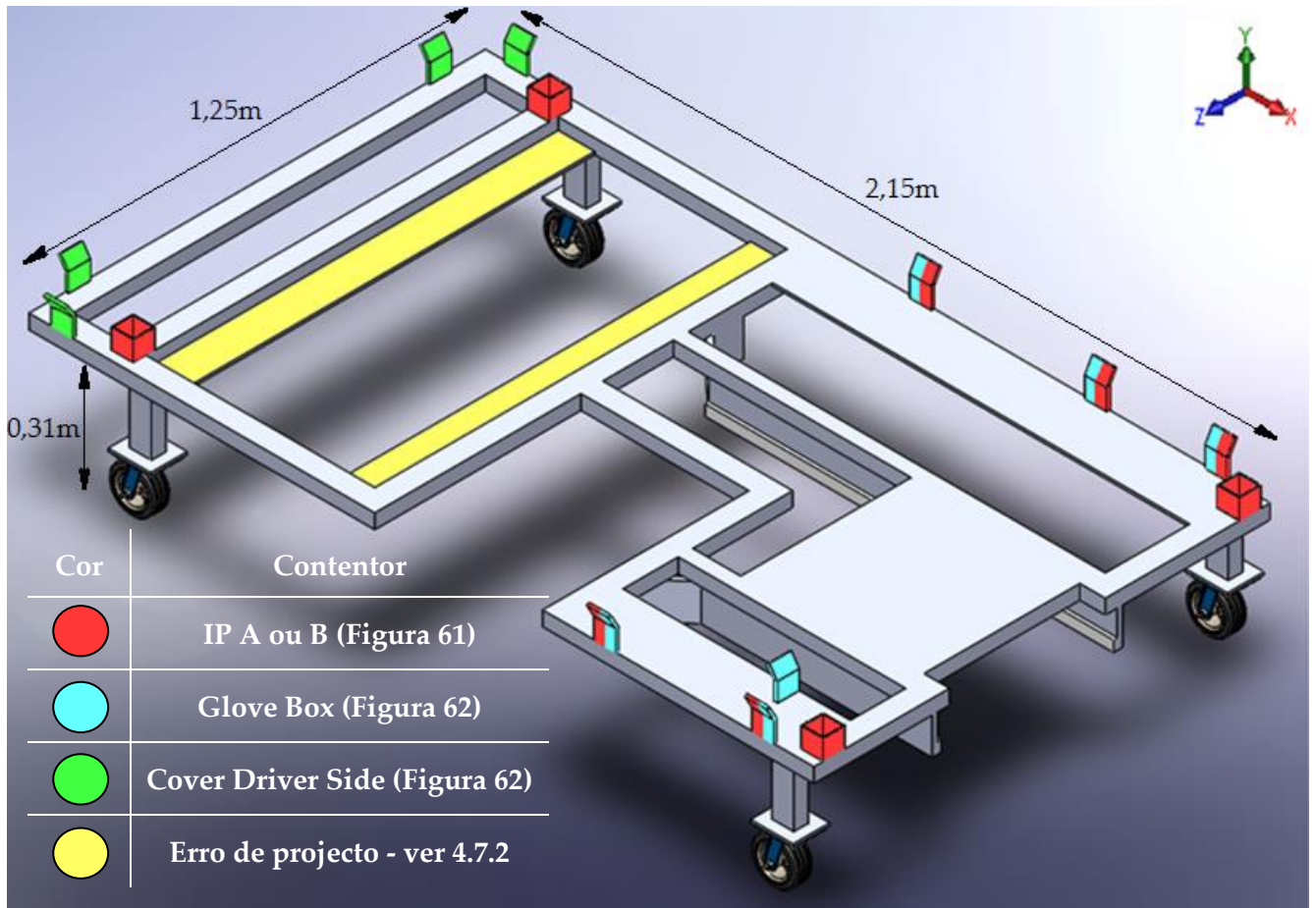


Figura 60 - Vista isométrica do protótipo da plataforma e esquema de transporte de mercadorias

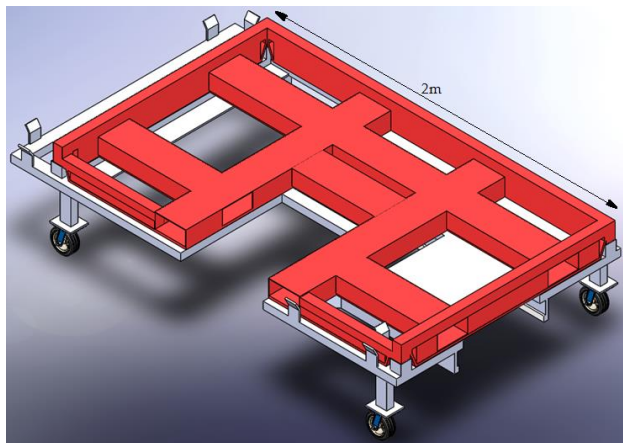


Figura 61 - Transporte dos contentores IP A ou IP B

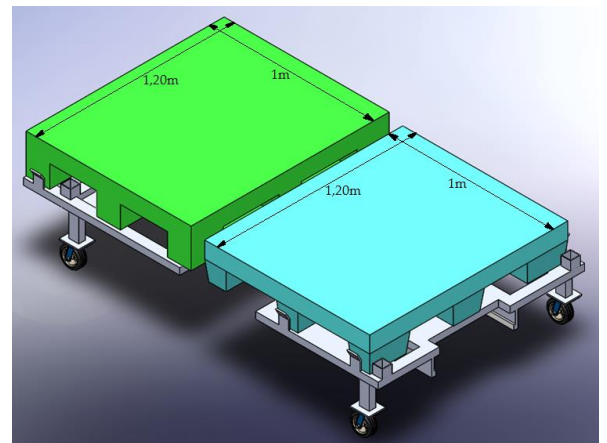


Figura 62 - Transporte dos contentores GB e CVR DS

4.6.2 Descrição e análise da interacção das características do projecto

Para além dos requisitos de transporte, o *design* da plataforma terá ainda que satisfazer outras condicionantes (Figura 63).

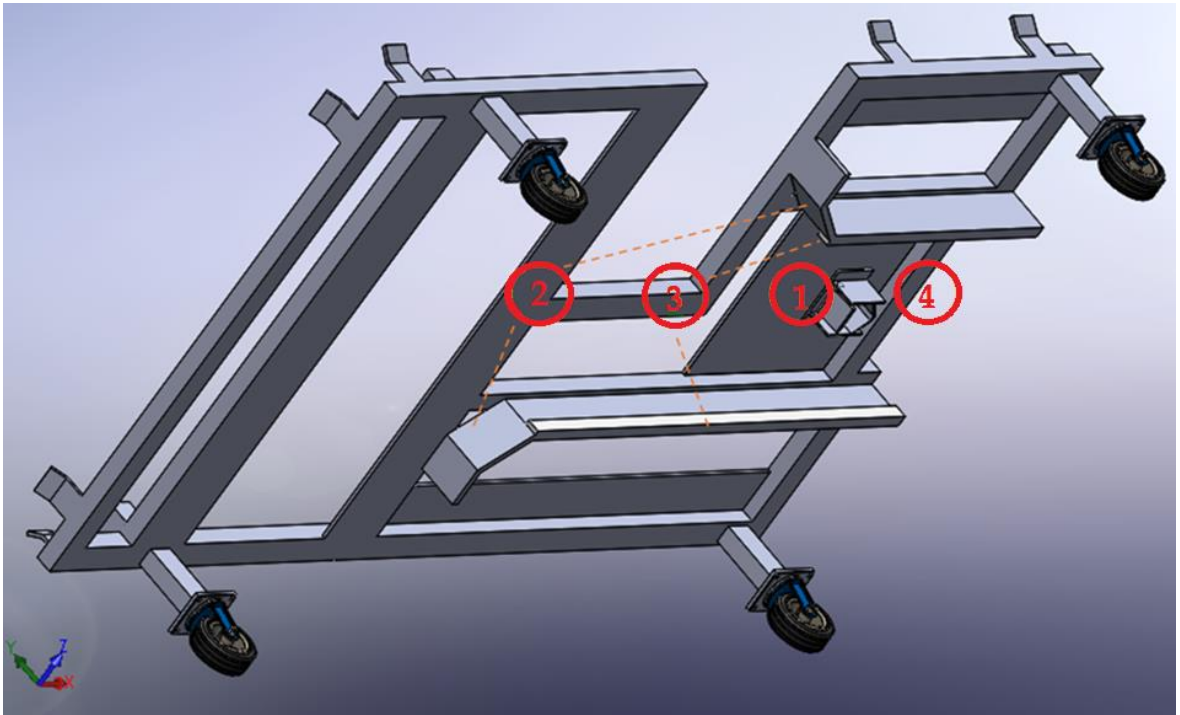


Figura 63 - Características essenciais da plataforma

O AGV desloca-se por baixo da plataforma com a direcção e sentido positivo do eixo x , posicionando-se entre as guias, sendo a largura entre elas, por conseguinte, maior que a do AGV. A altura das mesmas ao pavimento é tal que permite a viragem das rodas do AGV (relembre-se a Figura 54).

Teoricamente, não é previsível que o conjunto plataforma – AGV interaja em ②. As faces a 45° servem precisamente para corrigir eventuais erros posicionais e evitar danos maiores na estrutura do AGV.

Em ③ são visíveis bandas de teflon, cujo propósito é suavizar a interface estrutural entre a plataforma e o AGV. A razão da sua existência está intimamente ligada com o sistema de atraque em ① e será explicada na pág.57.

O ponto ④ assinala uma reentrância da aresta dianteira da plataforma para possibilitar o bom funcionamento do *scanner* laser de segurança.

O principal e mais importante ponto de interacção é em ①. A configuração do sistema de atraque tolera que o AGV: 1) avance com o pistão (*pin hook*) içado e empurre o batente que lhe permite a passagem e, em simultâneo, bloqueie a saída (Figura 64), ou 2) que o mesmo seja accionado já no interior do sistema de atraque.

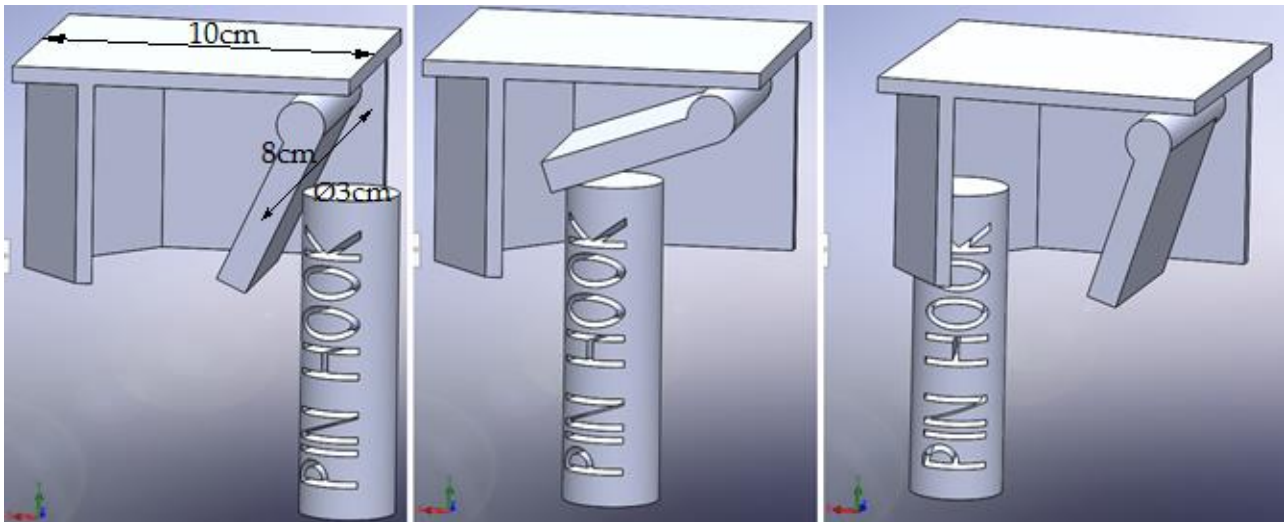


Figura 64 - Funcionamento do sistema de atraque – Vista em corte segundo o plano definido pelos eixos x e y

A diferença de 50mm entre a largura do sistema de atraque e o diâmetro do *pin hook* destina-se a contemplar possíveis variações de posição do AGV segundo o eixo z .

Importa analisar como se comporta o conjunto AGV e plataforma no seu circuito no que toca aos graus de liberdade, para se poder prever a sua reacção ao percurso planeado.

A análise dos graus de liberdade do conjunto só é relevante quando o AGV está em movimento. O pistão e o sistema de atraque, são solidários devido à força exercida pelo deslocamento do AGV no sentido positivo de x .

Quer na situação descrita, a da translacção segundo x , quer na translacção segundo y ou z e rotação sobre os eixos x e z , existem de facto variações diminutas causadas, por exemplo, por irregularidades do piso ou variações de velocidade. No entanto, para efeitos de antecipação do comportamento do sistema face às condições do circuito, todas as cinco são desprezáveis.

O circuito de AGV's tem curvas no seu percurso e a interface física entre o sistema de atraque e o pistão, permite que nas curvas se verifique um movimento não solidário dos corpos, devido ao não constrangimento na rotação segundo y (Figura 65).

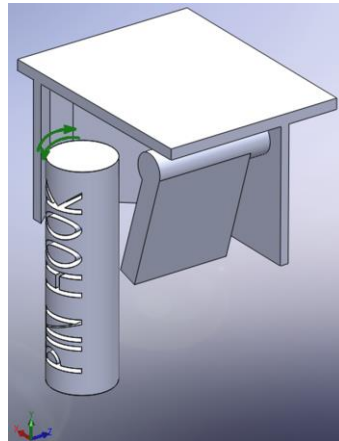


Figura 65 - Interação Pin Hook com sistema de atraque – Vista em corte segundo os eixos x e y

Recomenda-se visitar a Figura 63 e perceber a interação dos pontos ① e ③. O movimento não solidário de rotação segundo o eixo y , vai causar embates entre as abas guia da plataforma e o AGV; daí a necessidade da colocação de bandas de teflon para proteger a estrutura de ambos. A introdução das abas guia acrescenta uma nova área de interação entre o AGV e a plataforma, impedindo quase totalmente variações entre o movimento de rotação de um e de outro.

4.6.3 Raio de viragem

Para se garantir o raio mínimo de viragem de 700 mm do AGV, todos os rodízios da plataforma são giratórios. Esta característica do AGV é mais importante do que aparenta, pois tem efeitos directos no espaço ocupado pelo circuito em cada uma das linhas de produção. Além das posições para os contentores e espaçamento entre eles, cada linha de produção tem que incluir mais 1400 mm para o AGV poder sair e entrar das mesmas.

4.7 Propostas conceptuais para a implementação

São apresentadas e desenvolvidas três propostas conceptuais que correspondem a evoluções entre elas. Estas estão assentes em modelos de circuito e modelos de transporte.

4.7.1 Primeira proposta conceptual

a. Modelo de circuito – com comunicação Wi-Fi

O projecto inicial (Figura 66) visava os seguintes passos:

Note-se que para sintetizar a descrição dos passos, omitem-se da explicação as plataformas, sendo que os contentores são nelas transportados exclusivamente e, portanto, quando se lê que um AGV atraca num contentor, de facto está a atracar na plataforma, que suporta o contentor.

1. Contentor na posição 2A (em qualquer uma das três linhas) a ser cheio;
2. AGV com um contentor vazio aguarda na posição 1A enquanto carrega as baterias;
3. Contentor na posição 2A foi cheio, levando um operário a premir uma botoneira. Este comando tem dois efeitos iniciados simultaneamente:
 - 3.1.Solicita um AGV com um contentor vazio, do armazém para a linha em questão, que parará na posição 1A;
 - 3.2.AGV actualmente na posição 1A, atracado no contentor vazio, inicia a marcha até à posição 2A, empurrando o contentor já cheio para a posição 3A;
4. Por fim, o AGV desatraca do contentor vazio em 2A, desloca-se até 3A, atraca no contentor cheio e transporta-o para o armazém;
5. Repetir o ciclo.

No armazém, um AGV aguarda numa posição de espera, sem contentor algum, até que seja premida uma das botoneiras das linhas. Assim que tal acontece, o AGV desloca-se para uma de três posições de carga, a correspondente à linha que accionou a botoneira, para que seja possível identificar com que contentor deve ser carregado.

b. Modelo de transporte de carga

Como já descrito, nas linhas de produção IP A e IP B, os contentores são iguais entre si e as plataformas carregam um contentor de cada vez. No entanto, relembra-se que da linha GB + CVR DS são colocados produtos em dois contentores diferentes, sendo o da CVR DS constituído por uma palete com 8 caixas. Para esta linha pensou-se inicialmente transportar em simultâneo o contentor da GB e as caixas da CVR DS (zona amarela da Figura 60). Deste procedimento resulta que no armazém o empilhador não consegue interagir directamente com as referidas caixas e teria que ser o operário a sair do empilhador, para manualmente retirar as cheias e colocar vazias.

Relembrando o que foi abordado em 4.5 e tendo presente o circuito descrito, o facto de o AGV atracado numa plataforma empurrar a da frente, implica que qualquer corpo que se achesse à frente da segunda não será detectado pelo *scanner* laser.

Alicerçado na informação do capítulo 2.8, especificamente na Figura 23, esta situação deveria ter sido um ponto crucial de reavaliação de projecto:

- As características do circuito permitem implementar as soluções apresentadas?
- O tipo de AGV's escolhido é o mais indicado para o sistema, tanto a nível funcional como a nível financeiro?
- Serão os AGV's a tecnologia mais apropriada para implementar?

Analisando as considerações a montante e a jusante constata-se que ao nível dos modelos de circuito e de transporte, são necessárias alterações por razões de segurança, preservação dos equipamentos da fábrica, fluidez logística, exequibilidade logística e satisfação da cadência de produção.

Relativamente ao tipo de AGV's, se em vez de se implementarem do tipo reboque, se se instalassem AGV's do tipo "garfo" tornava-se o circuito mais eficiente anulando a necessidade do empilhador no armazém, o que se traduziria numa diminuição de custos (ver 4.10).

No que toca à adequação da tecnologia, quer por razões financeiras, quer por razões de adaptabilidade da solução, considera-se que os AGV's são de facto a melhor solução.

Este deveria ter sido o raciocínio neste ponto crucial de projecto. Porém, a indústria automóvel é desafiante em todos os aspectos, custos, eficiência, coordenação entre níveis de produtividade e segurança e, acima de tudo, no tempo. Este é muitas vezes diminuto para se tomarem decisões e nem sempre se envereda pela melhor e são casos como este que relembram a importância da fase de projecto.

4.7.2 Segunda proposta conceptual

Caso se optasse por alterar o tipo de AGV's, implicaria reestruturar o funcionamento do armazém, projectá-lo, encomendá-lo e montá-lo, obrigando a recomeçar o projecto com os fornecedores dos veículos guiados automaticamente. Este processo traduz-se em tempo perdido, meses que uma fábrica numa indústria competitiva, como a automóvel, simplesmente não tem.

Assim, optou-se por corrigir gradualmente os erros detectados. Como esta tecnologia é facilmente adaptável a qualquer percurso, existe a possibilidade de no futuro se colocarem estas máquinas noutra parte da fábrica e automatizar-se a primeira com a melhor solução encontrada, a dos AGV's tipo "garfo".

a. Modelo de circuito – com comunicação Wi-Fi

O circuito (Figura 67) é composto por estes passos:

1. Contentor na posição 2B (em qualquer uma das três linhas) a ser cheio;
2. AGV com um contentor vazio chega à posição 1B, desatraca e avança para a posição 2B;
3. AGV carrega as baterias na posição 2B enquanto aguarda que o contentor seja cheio;
4. Contentor na posição 2B foi cheio, levando um operário a premir uma botoneira. Este comando tem dois efeitos iniciados simultaneamente:
 - 4.1. Solicita um AGV com um contentor vazio do armazém para a linha em questão, que parará na posição 1B;
 - 4.2. AGV actualmente na posição 2B atracado no contentor cheio, inicia a marcha e transporta-o até à posição 3B;
5. Liberta aí o contentor cheio, retorna pela linha *loop* regressando a 1B;
6. Atraca no contentor vazio e transporta-o até 2B;
7. Desatraca novamente, desloca-se até 3B, atraca no contentor cheio e transporta-o para o armazém;
8. Repetir o ciclo.

O funcionamento no armazém é idêntico ao do modelo anterior.

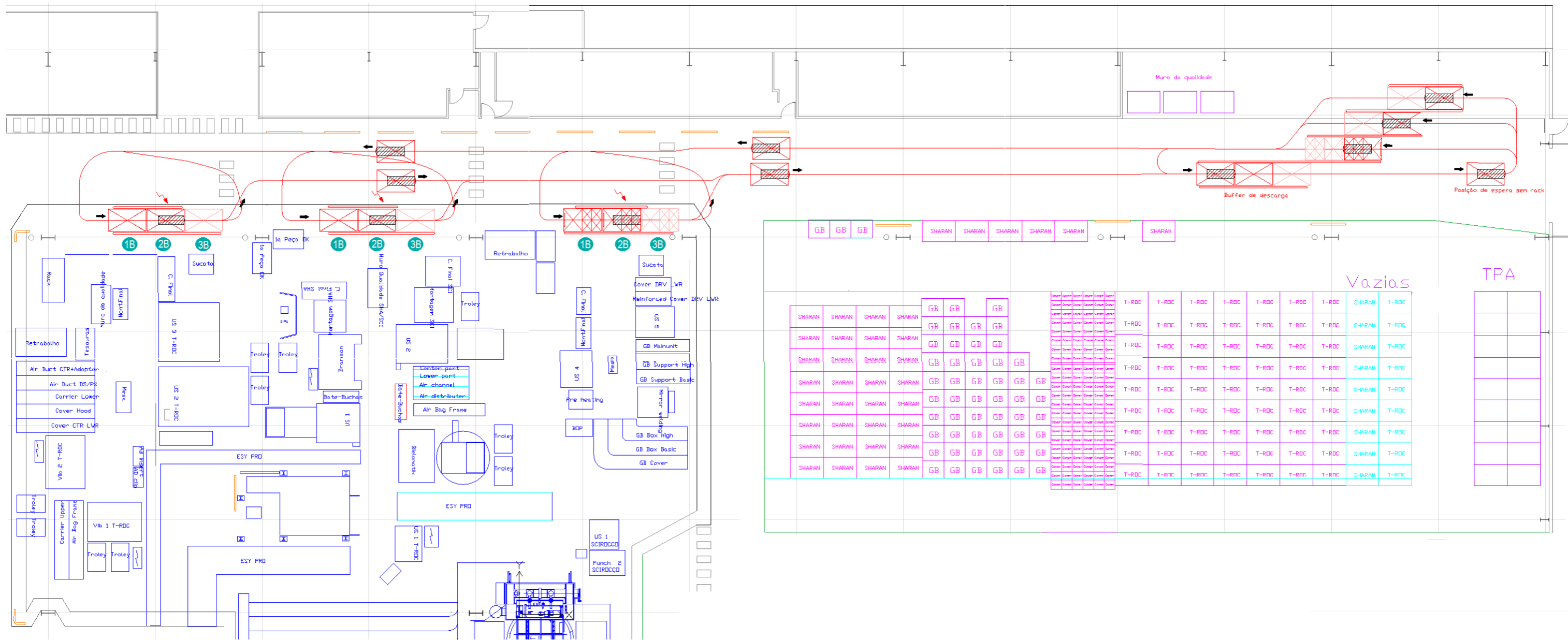


Figura 67 - Layout do segundo conceito do circuito de AGV's

b. Modelo de transporte de carga

A respeito das linhas IP A e IP B o paradigma mantém-se, cada plataforma transporta um contentor de cada vez. No que concerne à linha GB + CVR DS, o transporte dos contentores é conjunto (Figura 62). É importante perceber que para este modelo de circuito funcionar, ambos os contentores têm que ser cheios num intervalo de tempo sensivelmente igual. Verifica-se que os tempos de produção são os seguintes:

$$T_{produção_{GB}} \times n^{\circ}peças/contentor = 53,18 \times 12 = 638,2 \approx 10 \text{ min}, 4 \text{ s}$$

$$T_{produção_{CVR DS}} \times n^{\circ}peças/contentor = 30,39 \times 40 = 1215,6 \approx 20 \text{ min}, 2 \text{ s}$$

Para atingir a meta acima enunciada, as paletes das CVR DS passam a transportar 4 em vez de 8 caixas, traduzindo-se num tempo de enchimento de contentores sensivelmente igual:

$$T_{produção_{GB}} \times n^{\circ}peças/contentor = 53,18 \times 12 = 638,16 \approx 10 \text{ min}, 38 \text{ s}$$

$$T_{produção_{CVR DS}} \times n^{\circ}peças/contentor \div 2 = 30,39 \times 20 = 605,8 \approx 10 \text{ min}, 6 \text{ s}$$

4.7.3 Terceira e última proposta conceptual

Na implementação final, cuja comunicação é feita por ondas rádio, os AGV's operam em exclusividade em cada linha, não existindo qualquer permutação. Devido às cadências das linhas de produção, dois foram colocados na linha IP A, um na linha IP B e o último na linha GB+CVR DS.

Em termos do *layout* da fábrica, foi alterada a posição de uma passadeira e extinta outra para evitar demasiadas zonas de paragem dos AGV's.

Do lado oposto da linha de produção GB+CVR DS, a mais próxima do armazém, foi retirado um perfil colocado ao longo da base da parede para possibilitar que o conjunto empregado de limpeza - carrinho, possa circular pelo corredor pedonal, evitando paragens prolongadas do AGV.

a. Modelo de circuito – com comunicação rádio

Ao contrário do que se verifica nos modelos anteriores, neste, os AGV's não têm um circuito idêntico nas três linhas de produção (Figura 68). Na linha IP B e GB+CVR DS funciona da seguinte forma:

1. Contentor na posição 2C a ser cheio;
2. AGV com um contentor vazio chega à posição 1C, desatraca e avança para a posição 2C;
3. AGV carrega as baterias na posição 2C enquanto aguarda que o contentor seja cheio;
4. Contentor na posição 2C foi cheio, levando um operário a premir uma botoneira que leva o AGV atracado no contentor, a iniciar a marcha até à posição 3C;
5. Liberta aí o contentor cheio, retorna pela linha *loop* regressando a 1C;
6. Atraca no contentor vazio e transporta-o até 2C;
7. Desatraca novamente, desloca-se até 3C, atraca no contentor cheio e transporta-o para o armazém;
8. Repetir o ciclo.

Na linha IP A os dois AGV's disponíveis não só estão circunscritos à linha, como estão, cada um, fixo permanentemente à sua plataforma. O circuito é o seguinte:

1. AGV carrega as baterias, atracado num contentor na posição 2C, a ser cheio;

2. AGV com um contentor vazio chega à posição 1C e suspende a marcha por acção do laser de segurança, que detectou o conjunto AGV-plataforma-contentor diante de si;
3. Contentor na posição 2C foi cheio, levando um operário a premir uma botoneira dando início à sua marcha em direcção ao armazém;
4. O AGV que estava na posição anterior, desloca-se, por definição, para a posição 2C;
5. Repetir o ciclo.

No armazém, devido à mudança do sistema de comunicação, extinguiram-se a posição de espera sem *rack* e o *buffer* de descarga. As posições de carga e descarga foram adaptadas ao *layout*, por forma a acelerar a eficiência do processo.

b. Modelo de transporte de carga

No que toca às linhas IP A e IP B a solução mantém-se, com cada plataforma a transportar um contentor de cada vez. Já na linha GB+CVR DS, o transporte dos contentores continua a ser em conjunto. No entanto, é feito o transporte de 8 caixas ao invés das 4. O problema do tempo de fabrico distinto das peças é resolvido armazenando as caixas das GB's temporariamente ao lado do operador, fora da plataforma, até que tenha 8 completas, altura em que as devolve ao circuito.

4.8 Análise modal de falhas, seus efeitos e criticidade

A Análise Modal de Falhas, seus Efeitos e Criticidade (AMFEC), também designada por *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* é um processo sistemático que permite identificar e prevenir problemas [47]. Usualmente é realizado antes do projecto em causa, no entanto, o seu desenvolvimento à *posteriori* é também muito útil para quantificar as falhas que ocorreram ou poderão ocorrer, bem como para identificar as acções preventivas ou minimizar a sua ocorrência.

O *FMEA* classifica os modos de falha de acordo com severidade, ocorrência e detecção, atribuindo-se valores de 1 a 10 a cada uma das categorias.

As colunas da tabela são reservadas às descrições de [48]:

- Funções, o modo como o projecto, processo ou serviço funciona para ter eficiência;
- Modos de falha, o modo como esse projecto, processo ou serviço cessa de desempenhar as funções que se esperam dele;
- Efeitos, qual o impacto de cada modo de falha no sistema;
- Severidade, qual a gravidade das consequências do modo de falha;
- Ocorrência, o grau de dificuldade de detecção da falha;
- Detecção, as razões que possibilitam a ocorrência do modo de falha;
- Controlos, os tipos de controlos planeados ou que estão em vigor para garantir que todos os modos de falha sejam identificados e eliminados;
- Número de Prioridade de Risco (NPR) ou *Risk Priority Number (RPN)*, é um número adimensional obtido da multiplicação dos valores atribuídos aos factores severidade, ocorrência e detecção. Quanto maior o número, maior atenção deve ser dada a esse modo de falha;
- Recomendações/acções para melhoria, o que pode ser feito para reduzir o *RPN*.

4.8.1 Determinação da severidade

A severidade refere-se à gravidade das consequências em caso de ocorrência de uma falha, estando expressas na Tabela 5.

Tabela 5 - Hierarquização dos graus de severidade [49]

Classificação	Significado
1	Sem efeito, sem perigo.
2	Muito pouca importância – Detectado somente por observadores muito atentos.
3	Pouca importância – Apenas pequenas partes do sistema são afectadas. Um observador regular detecta a falha.
4-6	Moderada importância – Causa inconvenientes à maioria dos utilizadores.
7-8	Grande importância – Perda de funções primárias. Insatisfação dos utilizadores.
9-10	Importantíssimo – Inoperatividade do produto. Utilizadores irritados. A falha é um perigo de segurança e pode causar acidentes.

4.8.2 Determinação da ocorrência

Na determinação da ocorrência examina-se o quão frequentemente ocorrem os modos de falha, que simbolizam falta de fiabilidade do projecto (Tabela 6).

Tabela 6 - Hierarquização dos graus de ocorrência [49]

Classificação	Significado
1	Inexistência de falhas documentadas.
2-3	Pouca importância – Relativamente poucas falhas.
4-6	Moderada importância – Falhas ocasionais.
7-8	Grande importância – Falhas repetidas.
9-10	Importantíssimo – Falha é quase certa. Potencialmente perigoso. Inoperatividade do produto. Utilizadores irritados. A falha é um perigo de segurança e pode causar acidentes.

4.8.3 Determinação da detecção

A detecção constitui a capacidade de identificação de falhas antes de afectarem o utilizador (Tabela 7).

Tabela 7 - Hierarquização dos graus de detecção [49]

Classificação	Significado
1	A falha é certamente detectada em testes.
2	A falha é quase certamente detectada em testes.
3	A falha é muito provavelmente detectada em testes.
4-6	Moderada probabilidade de detecção da falha.
7-8	Baixa probabilidade de detecção da falha.
9-10	A falha é indetectável ao consumidor.

4.8.4 Número de prioridade de risco

O NPR (ou RPN) deve ser calculado para todas as funções de projecto, de forma a que os resultados revelem os detalhes mais problemáticos e que, consequentemente, se priorize correctamente o desenvolvimento de soluções preventivas.

Este número adimensional varia de acordo com o intervalo [1;1000], no entanto, é recomendada a redução imediata caso $RPN > 100$. Isto é, aconselha-se a redução dos factores severidade (S), ocorrência (O) ou detecção (D), melhorando o projecto [47]. O número é calculado, multiplicando as classificações atribuídas a estes três factores:

$$RPN = S \times O \times D$$

4.8.5 FMEA de pós-implementação de AGV's – Funcionamento pleno do circuito

A Tabela 8 constitui o FMEA de pós-implementação do circuito de AGV's.

Tabela 8 - FMEA de pós-implementação do circuito

Funções	Modos de falha	Efeitos	Severidade	Ocorrência	Deteção	Controlos	RPN	Acções recomendadas
1. Boa condição da banda magnética.	1.1. Roda do empilhador gira sobre uma secção da fita, alterando a sua configuração.	1.1.1. Ligeira destabilização na suavidade do circuito.	2	4	4	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção e/ou inspecção semanal da situação.	32	Reajuste da curvatura da banda ou substituição da secção danificada. Informar os operadores de empilhadores no sentido de prevenir esta situação.
	1.2. Roda do empilhador gira sobre uma secção da fita repetidamente, arrancando um pedaço superior a 200 mm.	1.2.1. Desencaminhamento de pelo menos 1 AGV.	8	3	3	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção e/ou inspecção semanal da situação.	72	Voltar a colar a mesma secção de fita ou substituí-la por uma nova caso esteja inutilizável. Informar os operadores de empilhadores no sentido de prevenir esta situação.
2. Presença de todas as tags em estado operacional.	2.1. Na hipótese de um empilhador arrancar um troço de banda magnética, pode suceder que venha também uma <i>tag</i> colada à fita. Pode também verificar-se que a <i>tag</i> ficou inoperacional pela força que se lhe colocou em cima.	2.1.1. O efeito pode traduzir-se numa falha imperceptível como na falta de ajuste ligeiro de velocidade.	3	3	3	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção e/ou inspecção semanal da situação.	27	Devido à possível severidade em caso de falha, é recomendável adoptar medidas definitivas de resolução. Fazer o negativo das <i>tags</i> no chão, de forma a que fiquem "à superfície" e colocar a banda magnética por cima das mesmas. Constitui uma boa solução diminuindo drasticamente a ocorrência.
		2.1.2. Pode consituir uma falha crítica se a <i>tag</i> em falta ou destruída for responsável pela comunicação entre os AGV's, ou responsável pela paragem no ponto de carga e descarga, por exemplo.	9	3	3	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção e/ou inspecção semanal da situação.	81	Devido à possível severidade em caso de falha, é recomendável adoptar medidas definitivas de resolução. Fazer o negativo das <i>tags</i> no chão, de forma a que fiquem "à superfície" e colocar a banda magnética por cima das mesmas. Constitui uma boa solução diminuindo drasticamente a ocorrência.
3. Bateria do AGV com carga suficiente.	3.1. Baterias não estão a ser carregadas.	3.1.1. Corrente inicial para começar o carregamento não é detectada (avaria no AGV).	8	1	3	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção e/ou inspecção semanal da situação.	24	Em caso de avaria, o valor de RPN não faz justiça à gravidade da situação. No caso de necessidade de substituição de algum componente do AGV e uma vez que o seu fornecedor é espanhol, o tempo que demoraria até chegarem as peças e tudo estar operacional novamente, é o principal factor de preocupação. Como tal, é altamente recomendável que se tenha em armazém peças de substituição para que o tempo de manutenção seja o mais curto possível.
		3.1.2. Corrente inicial não chega às placas de carregamento (avaria no carregador).	7	2	3	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção e/ou inspecção semanal da situação.	42	Em caso de avaria, o valor de RPN não faz justiça à gravidade da situação. No caso de necessidade de substituição de algum componente do AGV e uma vez que o seu fornecedor é espanhol, o tempo que demoraria até chegarem as peças e tudo estar operacional novamente, é o principal factor de preocupação. Como tal, é altamente recomendável que se tenha em armazém peças de substituição para que o tempo de manutenção seja o mais curto possível.
	3.2. AGV não está a carregar tempo suficiente.	3.2.1. AGV satisfaz a cadência da linha de produção no limite.	6	1	7	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção e/ou inspecção semanal da situação.	42	Devem ser implementadas medidas que permitam reduzir o tempo de ciclo do circuito. Caso não seja suficiente, a aquisição de um AGV adicional é a única solução. Pela demora no fornecimento de um AGV extra e pela difícil detecção desta condicionante, é recomendável, contraintuitivamente, que o circuito implementado não utilize todos os trunfos de melhorias de tempo de ciclo e, caso se opte pela encomenda de um novo AGV, no período de espera, haja alguma margem de manobra para acções de melhoria.
4. Estado de relativa limpeza do solo.	4.1. Peças metálicas ou líquidos podem bloquear ou dificultar o movimento das rodas da plataforma ou do AGV.	4.1.1. Sobrecarregamento de uma das rodas motoras que pode levar à queima de fusíveis.	5	5	3	Obter <i>feedback</i> dos operadores das linhas de produção, empregados de limpeza e/ou inspecção semanal da situação.	75	Requisitar a reparação do telhado da fábrica nos pontos em que a água o atravessa. Adicionar vassouras imediatamente à frente das rodas da plataforma, de maneira a que a presença de sujidade, pequenas peças e mesmo líquidos não tenham consequências tão graves.
5. Accionamento singular das botoneiras.	5.1. As botoneiras têm memória. Como tal, se um AGV estiver à espera do seu sinal e se se carregar duas vezes na botoneira, pode suceder que o mesmo aceite a primeira ordem, mas a segunda não, o que poderá originar que o AGV seguinte siga sem parar, por exemplo.	5.1.1. Ligeira perturbação somente nesse ciclo do circuito.	3	2	5	Sensibilizar os operadores para a correcta utilização da tecnologia e para as consequências de não o fazer.	30	É um caso de falha que se normaliza automaticamente. Consequentemente, os operadores devem ser informados, mas o maior contributo para que a ocorrência diminua é exactamente a incorrência no erro. Psicologicamente falando, o incómodo causado pela incorrecta utilização da botoneira, contribui também para que o operador não o faça, para seu próprio ganho.

A inexistência de valores de $RPN > 100$ augura um nível aceitável de satisfação do cliente. Não obstante, para tornar o circuito mais sólido e fidedigno, as ações recomendadas dos pontos 1.2.1, 2.1.2 e 4.1.1 devem ser tomadas o mais célere possível.

4.9 Programação dos AGV's

Os circuitos das 3 linhas de produção foram programados no *software* SIGAT¹, propriedade da empresa ASTI². Os comandos são transmitidos ao AGV programando diferentes *tags* e posicionando-as em diferentes pontos estratégicos, sob a banda magnética que define a rota.

Para ilustrar no que consiste a programação, serão esclarecidos alguns pontos de interesse relativos ao circuito da linha de produção IP A (Figura 69).

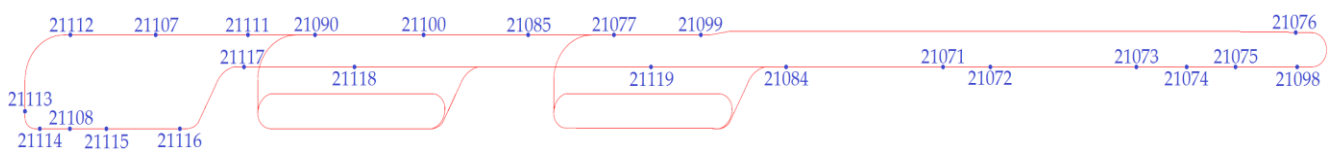


Figura 69 - Tags do circuito IP A

É necessário aclarar que o programa de qualquer um dos AGV's tem que incluir todas as *tags* que estejam no seu percurso, mesmo que o propósito da existência de algumas delas não seja para o circuito em questão. No entanto, é possível

¹ url: <https://www.industic.es/prod/software-gestion-almacenes-asti-1677>

² url: <https://asti.es/es/>

atribuir-se outra programação à mesma *tag*, daí o aparente despropósito de algumas *tags* que se encontram numa sucessão em linha recta.

Genericamente, a programação ilustrada na Figura 70 funciona de acordo com a Tabela 9:

The screenshot displays the 'SIGAT - Management Console' interface for configuring tag 21115. The main window is titled 'Change the route segments' and contains several panels:

- Routing (A):** Shows 'Tag' 21115, 'Route' 1, 'Point' 65, 'Next' 70, and 'Group' 0. It also has checkboxes for 'End point' and 'Anomaly point'.
- Movement configuration (B):** Includes 'Select guideline' (Forward), 'Perimetral security' (0), 'Speed (mm/sec)' (150), 'Angle' (0), 'Angular speed (%/sec)' (0), 'Sequence translation' (0), and 'Junction by distance' (unchecked). It also features 'Guide control parameter 1' and '2' (unchecked), 'Deactivate acoustic warning while moving' (unchecked), 'Acoustic warning deactivated when starting' (unchecked), 'Acoustic warning deactivated if safety laser' (unchecked), 'Angular variable' (unchecked), 'Slow advance up to the end' (unchecked), 'Slow advance time' (0), 'Signal slow advance' (0), and 'Slow forward speed' (0).
- Conditions for movement:** Includes 'Interchange' (unchecked, 0), 'Movement if signal 1 and 2' (unchecked, 0), 'Recover time' (unchecked, 0), and 'Temps maximum' (0).
- Monitoring in SIGMon:** Includes 'X-Position' (0), 'Y-Position' (0), and 'Angle' (0).
- Further information (D):** Shows 'Block 1 AND Block 2', 'Block 1 AND Block 2 SIMULTANEOUSLY', 'Block 1 OR Block 2', and 'Block 1 THEN Block 2'.
- Block 1 (C):** Includes 'Any / all marked' (checked), 'Simultaneously' (unchecked), 'Waiting signal 1' (checked, 205), 'Waiting signal 2' (checked, 122), 'Waiting signal 3' (unchecked, 0), 'Waiting signal 4' (unchecked, 0), 'Waiting signal edge 1' (unchecked, 0), 'Waiting signal edge 2' (unchecked, 0), 'Signal/ Signal edge' (unchecked), 'Waiting time' (0), 'Wait for synchronisation' (unchecked), 'Up' (unchecked), 'Down' (unchecked), 'Point / route changing' (unchecked, 0), and 'Temps maximum' (0).
- Block 2 (E):** Includes 'Any / all marked' (unchecked), 'Simultaneously' (unchecked), 'Waiting signal 1' (unchecked, 0), 'Waiting signal 2' (unchecked, 0), 'Waiting signal 3' (unchecked, 0), 'Waiting signal 4' (unchecked, 0), 'Waiting signal edge 1' (unchecked, 0), 'Waiting signal edge 2' (unchecked, 0), 'Signal/ Signal edge' (unchecked), 'Waiting time' (checked, 3), 'Wait for synchronisation' (unchecked), 'Up' (unchecked), 'Down' (unchecked), 'Point / route changing' (checked, 70), and 'Temps maximum' (0).
- Operations (F):** Includes 'Rearm after stop' (unchecked) and three columns of 'Output' settings (1-16) for different conditions.
- Traffic control conditions (WIP):** Includes 'Access A regulation' (Zone A: 0, Zone A entrance: 0, No stop: unchecked, Release when starting: unchecked) and 'Access B regulation' (Zone B: 0, Zone B entrance: 0, No stop: unchecked, Release when starting: unchecked, Temps maximum: 0).

Buttons for 'Accept' and 'Cancel' are located at the bottom right of the window.

Figura 70 - Programação da *tag* 21115

Tabela 9 - Informação genérica da programação de AGV's no software SIGAT

Secção de programação	Descrição
A	Número que está escrito na <i>tag</i> , número da rota e pontos genéricos atribuídos às <i>tags</i> que permitem ao AGV seguir a rota correcta.
B	Posição transversal da banda magnética em relação à qual o AGV deve estar centrado, útil numa bifurcação, o índice do laser de segurança (“8” – frontal de curto alcance, “1” – esquerda de longo alcance, “2” – direita de longo alcance, “0” – frontal de longo alcance e opção de programar um perímetro específico) e a velocidade do AGV.
C	Bloco 1 de <i>inputs</i> a cumprir para que o AGV inicie a sua marcha.
D	Gere a lógica entre blocos 1 e 2.
E	Bloco 2 de <i>inputs</i> a cumprir para que o AGV inicie a sua marcha.
F	Registo dos <i>outputs</i> do AGV

Concretamente, a *tag* 21115 situada na posição de abastecimento do contentor da linha IP A tem o propósito explícito na Tabela 10.

Tabela 10 - Funcionamento da programação da *tag* 21115

Secção de programação	Parâmetros	Descrição
B	<i>Speed</i>	AGV convive de perto com operários, pelo que a velocidade é muito baixa.
C	<i>Input</i> 122	Inicia a marcha do AGV se se aperta o botão <i>start</i> do próprio veículo.
	<i>Input</i> 205	Inicia a marcha quando a botoneira é premida.
D		Garante que o tempo de espera (em E) é cumprido depois de ser premida a botoneira, para assegurar a recolha dos terminais de carregamento de baterias.
E		Define um tempo de espera de 3 segundos.
F	<i>Output</i> 3	Inicia o carregamento de baterias.
	<i>Output</i> 5	Extingue a ordem de marcha da botoneira após a partida do AGV de forma a evitar que o próximo AGV receba esse sinal quando não lhe é destinado.

A Figura 71 representa a programação da *tag* que comanda a paragem e arranque do AGV para carga e descarga de contentores, no armazém.

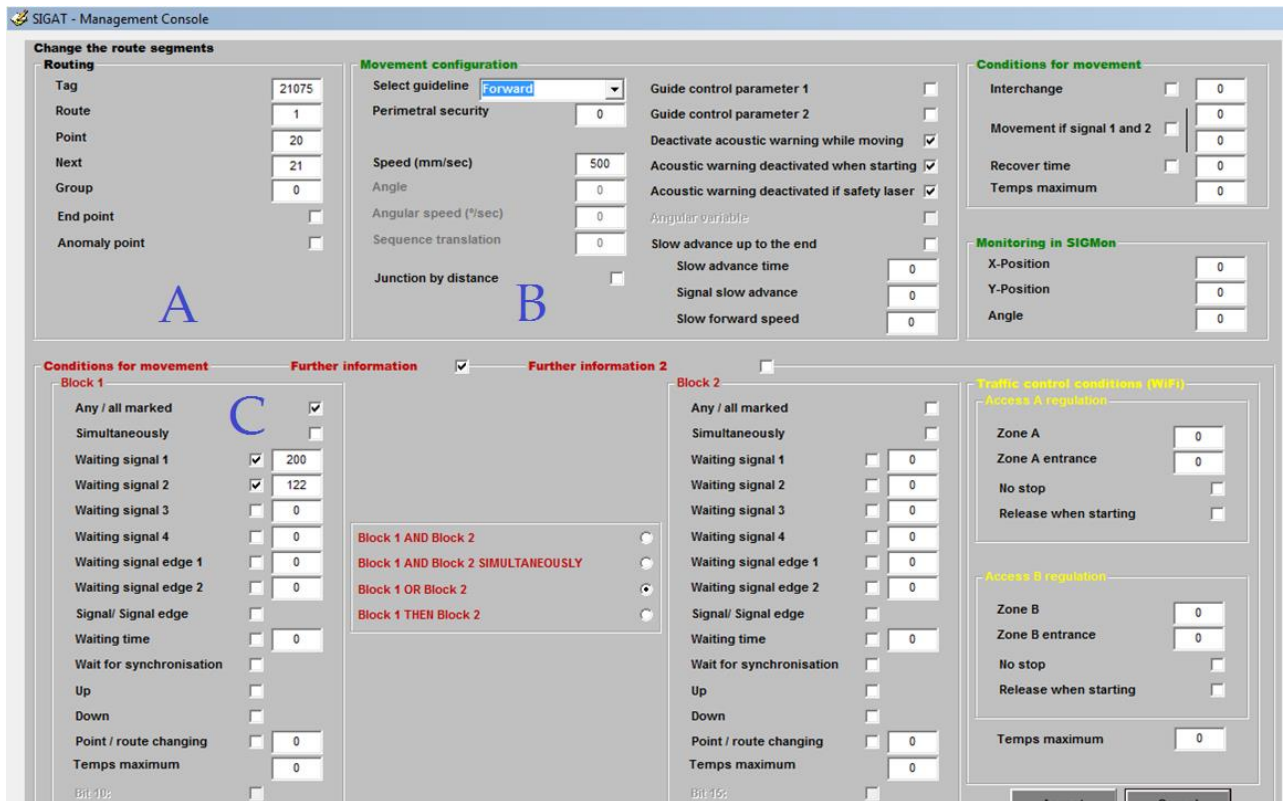


Figura 71 - Programação da *tag* 21075

O destaque desta programação está nos pontos B e C, explicados na Tabela 11.

Tabela 11 - Funcionamento da programação da *tag* 21075

Secção de programação	Parâmetros	Descrição
B	<i>Speed</i>	AGV não convive de perto com operários, pelo que a velocidade pode ser alta
C	<i>Input 122</i>	Inicia a marcha do AGV se se aperta o botão <i>start</i> do próprio veículo.
	<i>Input 200</i>	Inicia a marcha quando premido um botão alimentado por meio do efeito piezoeléctrico. O botão não tem memória, pelo que não é necessário um <i>output</i> para a reiniciar.

A programação da *tag* 21077 do circuito IP A é visível na (Figura 72).

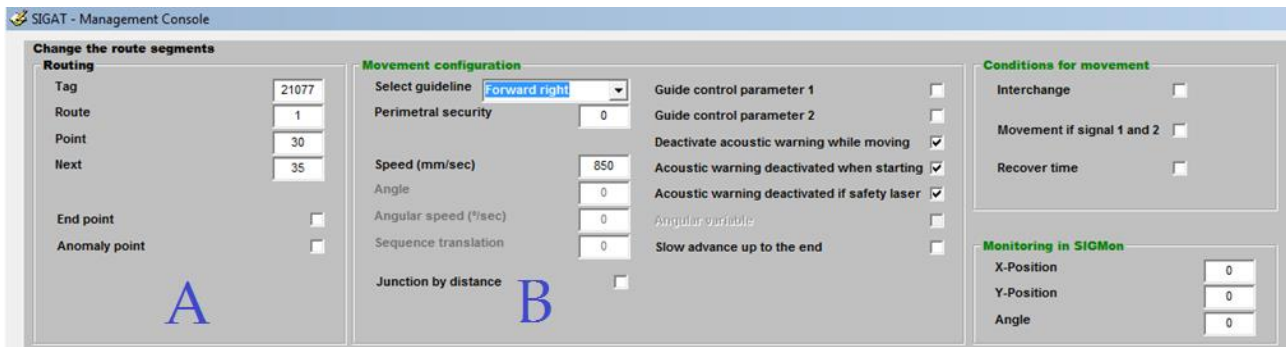


Figura 72 - Programação da tag 21077

A relevância desta programação é expressa na Tabela 12.

Tabela 12 - Funcionamento da programação da tag 21077

Secção de programação	Parâmetros	Descrição
B	<i>Select guideline</i>	Tag situada imediatamente antes da “entrada” para a linha GB+CVR DS. Por conseguinte, como cada AGV segue por bifurcações distintas, escolheu-se a opção <i>Forward right</i> . Na programação do AGV destinado à linha GB+CVR DS escolher-se-ia <i>Forward left</i> .

Por último, na Figura 73 é apresentada a programação da tag 21098, que se encontra imediatamente antes de uma curva à esquerda.

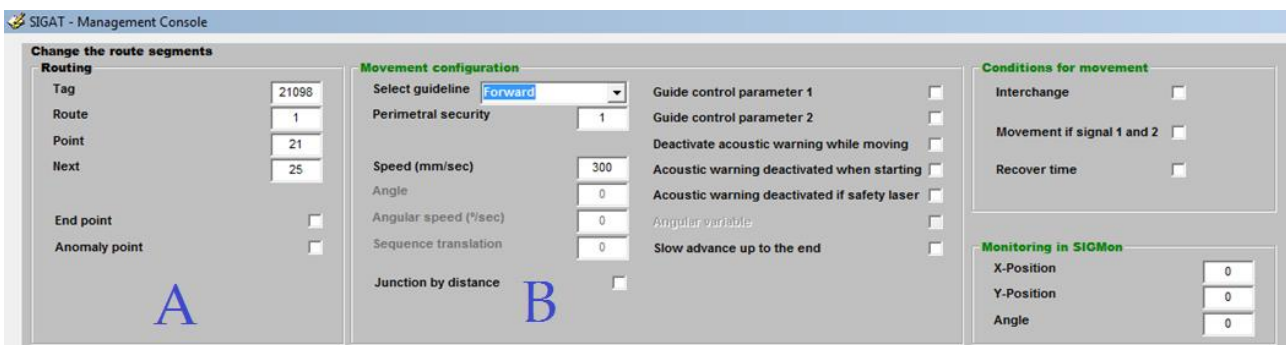


Figura 73 - Programação da tag 21098

Os pontos de interesse desta tag são expostas na Tabela 13.

Tabela 13 - Funcionamento da programação da tag 21098

Secção de programação	Parâmetros	Descrição
B	<i>Perimetral security</i>	Algarismo “1” parametriza a zona de segurança do laser à esquerda e a longo alcance, prevendo a curva à esquerda.
	<i>Speed</i>	Baixa velocidade para evitar derrapagens ou estouro de fusíveis.

4.10 Cálculo de custos

4.10.1 Custos com o sistema de empilhadores e operários (situação de partida)

Como esclarecido em 3.6, um operador de empilhador tem um custo de 11,8 €/hora e os empilhadores de 600 €/mês. É relevante ter ainda em consideração a possibilidade de greves de trabalhadores que acarretam também um custo, mas que nos cálculos será desprezada. Desta forma, um operário e um empilhador têm o seguinte custo associado:

$$11,8\text{€} \times 8\text{horas} \times 3\text{turnos} \times 251\text{ dias úteis no ano} + 600 \times 12 = \\ = 78283,2 \text{ €/ano} = 6523,6 \text{ €/mês}$$

Esta vertente de funcionamento de circuito engloba, no entanto, dois operários e dois empilhadores, resultando no dobro do custo anteriormente calculado:

$$6523,6\text{€/mês} \times 2 = 13047,2 \text{ €/mês}$$

4.10.2 Custos com o sistema de AGV's de reboque (situação implementada)

Quer os AGV's, quer os empilhadores são eléctricos, pelo que o custo associado ao seu consumo energético e o seu impacto ambiental serão desprezados (poucas centenas de euros).

O sistema eleito pela empresa mantém um dos operários e um dos empilhadores e adiciona 4 AGV's com um custo unitário de 273 €/mês durante 60 meses. Durante este período o fornecedor dos AGV's garante a reparação e manutenção dos mesmos.

A unidade de controlo PLC, o sistema de comunicação rádio RF, o sistema de atracção automático, *tags* e leitor de *tags* RFID, banda magnética, *scanner* laser de segurança, baterias, quatro estações de carregamento, botoneiras, *software* SIGAT e cabo SIGAT têm um custo de 24.674 €. Foram necessárias construir 10 plataformas (6 em funcionamento e 4 de reserva) para que o circuito funcionasse, cada uma no valor de 825 €. Outros ajustes na planta da fábrica envolveram:

- Por motivos descritos anteriormente (ver 4.7.3), foi retirado um perfil ao longo da parede da fábrica possibilitando a passagem do carro da limpeza pelo corredor pedonal – custo de 290 €;
- Introduzir 2 portas para peões, 2 barreiras e 3 pilares – custo de 905 €;
- Alterar passadeiras e marcações de sinalização STOP – custo de 852 €.

Investimento fixo:

$$24674 \text{ €} + 825 \text{ €} \times 10 + 290 + 905 + 852 = 34.971\text{€}$$

Custo mensal dos AGV's:

$$273 \text{ €/mês} \times 4\text{AGV's} \times 12\text{meses} = 13.104 \text{ €/ano} = 1092 \text{ €/mês}$$

Custo total mensal será:

$$1092 \text{ €/mês} + 6523,6 \text{ €/mês} = 7615,6 \text{ €/mês}$$

4.10.3 Custos com o sistema de AGV's "garfo" (alternativa)

Alicerçado na proposta metodológica de implementação de AGV's, conclui-se que a decisão mais lógica era a da escolha de AGV's do tipo "garfo" e não do tipo reboque. Desta forma, assumindo que:

- AGV's também adquiridos em regime *leasing* num período de 60 meses;
- Custo unitário e mensal 2,5 vezes superior;
- Aquisição do dobro de AGV's, oito, portanto;
- Investimento fixo de 100.000 € para introduzir prateleiras metálicas destinadas à armazenagem dos contentores.

Custo mensal dos AGV's:

$$700 \text{ €/mês} \times 8\text{AGV's} \times 12\text{meses} = 67.200 \text{ €/ano} = 5600 \text{ €/mês}$$

Custo total mensal será: 5600 €/mês

Enveredar pela implementação de AGV's deste tipo, possibilitaria a automatização total do processo, daí a inexistência de salários no custo total mensal.

4.10.4 Comparação de custos entre as três vertentes

É de relembrar que o *leasing* dos AGV's tem um período de 60 meses, a partir do qual, para efeitos de simulação de custo de manutenção, manteve-se uma despesa de 50% do seu custo mensal (Gráfico 1).

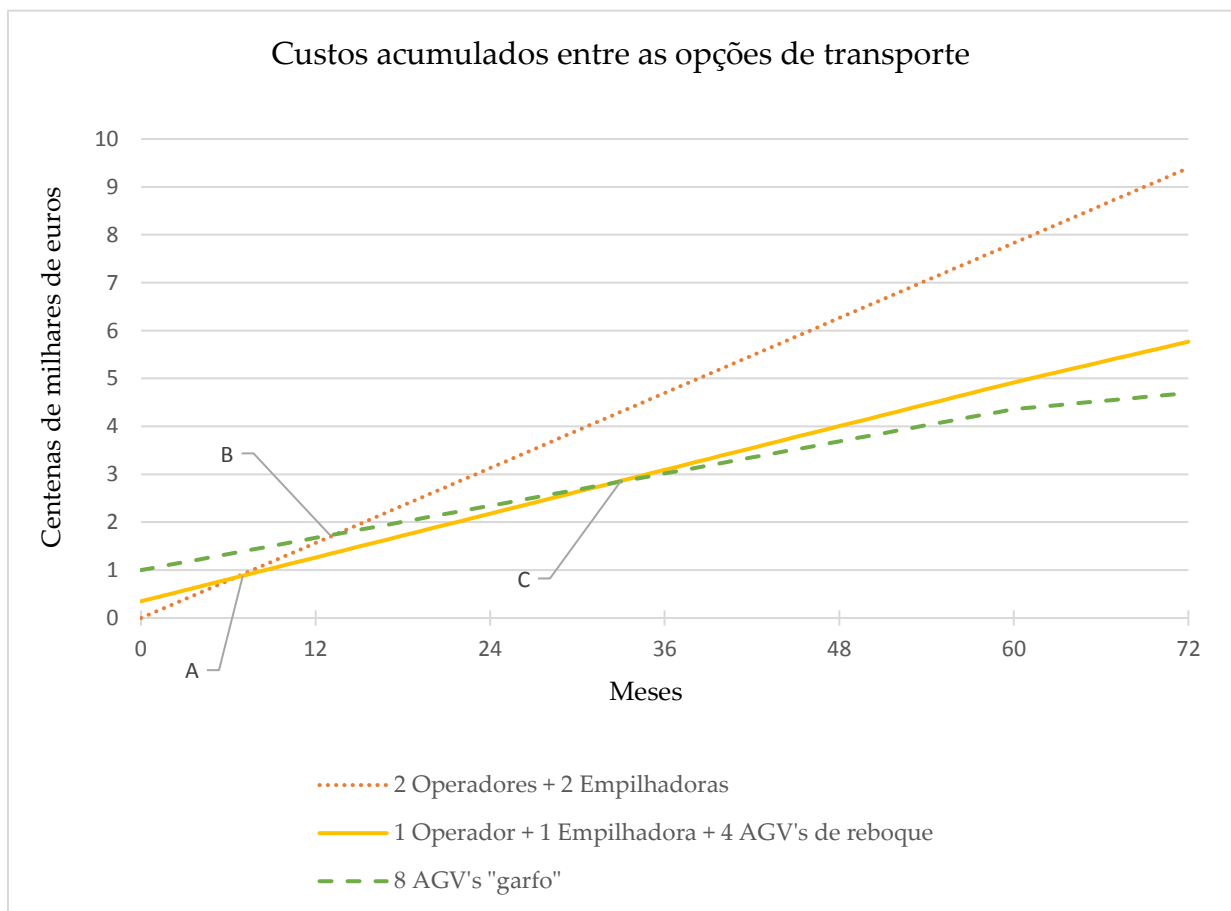


Gráfico 1 - Custos acumulados das três vertentes de transporte num período de 6 anos

Do Gráfico 1 tiraram-se pontos importantes para análise:

- Ponto A (6,44 ; 84004) 6,44 meses = 6 meses, 14 dias

A implementação da opção 1 Operador + 1 Empilhador + 4 AGV's de reboque começará a gerar lucro, comparativamente à opção não automatizada, a partir do 14º dia do 6º mês.

- Ponto B (13,43 ; 175196) 13,43 meses = 13 meses, 13 dias

A implementação da opção 8 AGV's "garfo" começará a gerar lucro, comparativamente à opção não automatizada, a partir do 13º dia do 13º mês.

- Ponto C (32,26 ; 280672) 32,26 meses = 32 meses, 8 dias

A implementação da opção 8 AGV's "garfo" começará a gerar lucro, comparativamente à opção 1 Operador + 1 Empilhador + 4 AGV's de reboque, a partir do 8º dia do 32º mês.

Supondo que a fábrica mantém os AGV's em operação um ano além do término do contrato de *leasing*, a poupança da opção menos rentável é de 365.386,2 € e a da mais atractiva, de 469.798,4 € (Gráfico 2).

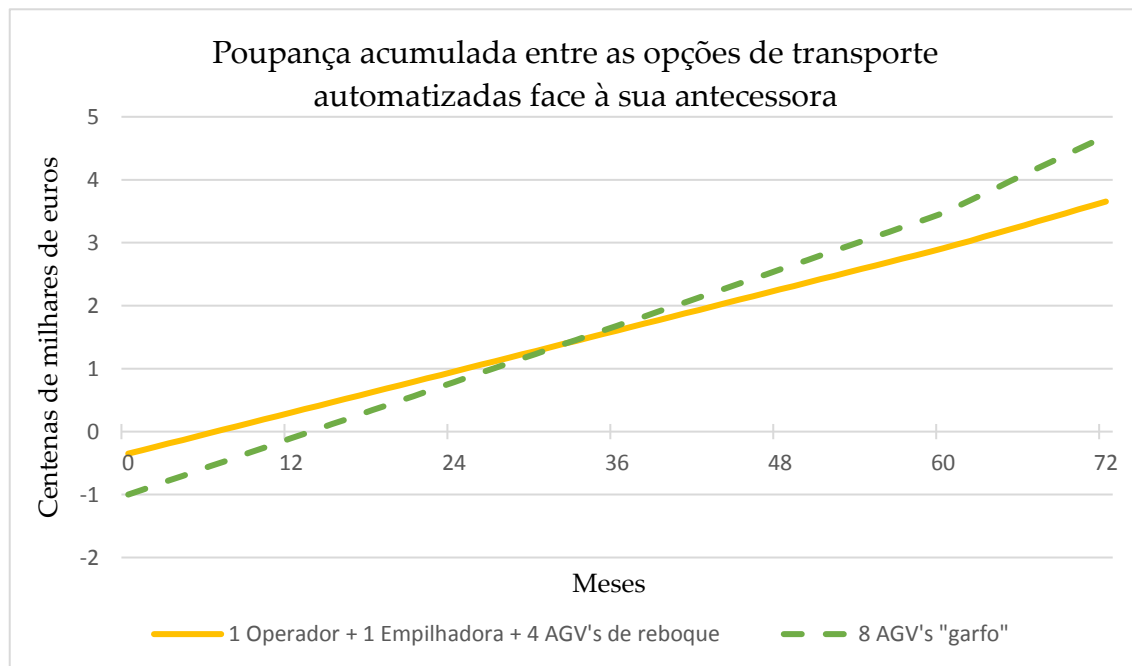


Gráfico 2 - Poupança acumulada por implementação de uma das duas opções de automatização

5

Proposta metodológica de implementação de AGV's em contexto industrial *indoor*

5.1 Introdução

Tendo por base a pesquisa desenvolvida, necessária para a realização da presente dissertação e, sobretudo, o conhecimento adquirido ao longo de todo o trabalho desenvolvido para a implementação do circuito de AGV's, propõe-se uma metodologia para implementação de AGV's em contexto industrial *indoor*.

5.2 Questões para apoio à decisão na implementação de AGV's

A proposta metodológica assenta num conjunto de decisões que devem ser respondidas sequencialmente (ver Tabela 14). A sequência das questões está estruturada no fluxograma de decisão que se apresenta em 5.3. Para qualquer outro caso é possível utilizar este modelo, porém deverá ser verificada a adequação das questões.

5.3 Fluxograma de apoio à implementação de AGV's

Esta proposta metodológica expressa em fluxograma, é passível de melhorias e potencialmente expansível em todos os momentos de decisão, sendo estes susceptíveis de serem largamente aprofundados. Numa implementação de AGV's têm que ser tidas em conta inúmeras condicionantes de projecto, pelo que

detalhá-las todas exaustivamente, de forma a tornar a metodologia infalível, constituiria uma tarefa megalómana, senão utópica.

No fluxograma, o percurso assinalado a vermelho simboliza as escolhas tomadas durante a implementação e os segmentos indicados a verde, expressam as escolhas que teriam sido as mais indicadas.

No Fluxograma 1 – B) salienta-se que as soluções desenvolvidas como redundância foram muito conservadoras e deveria ter sido adquirido um AGV de reserva para satisfazer picos de cadência. É ainda sublinhada a convicção de que a implementação de AGV's do tipo “garfo” seria mais pertinente para o propósito do circuito.

No Fluxograma 1 a rejeição da unidireccionalidade dos AGV's pode ou não ser ligada com as correcções sugeridas no Fluxograma 1 – B). Isto é, considera-se que implementando AGV's do tipo “garfo”, a bidireccionalidade ou omnidireccionalidade era uma condição necessária a satisfazer, mas a concretização da instalação dos AGV's eleitos, os de reboque, teria sido mais bem sucedida caso tivesse sido contemplado esta mudança. Neste último caso, a bidireccionalidade, por exemplo, dos AGV's eliminaria a necessidade dos *loops*, poupando quase 2 minutos de ciclo nos AGV's das linhas IP B e GB+CVR DS.

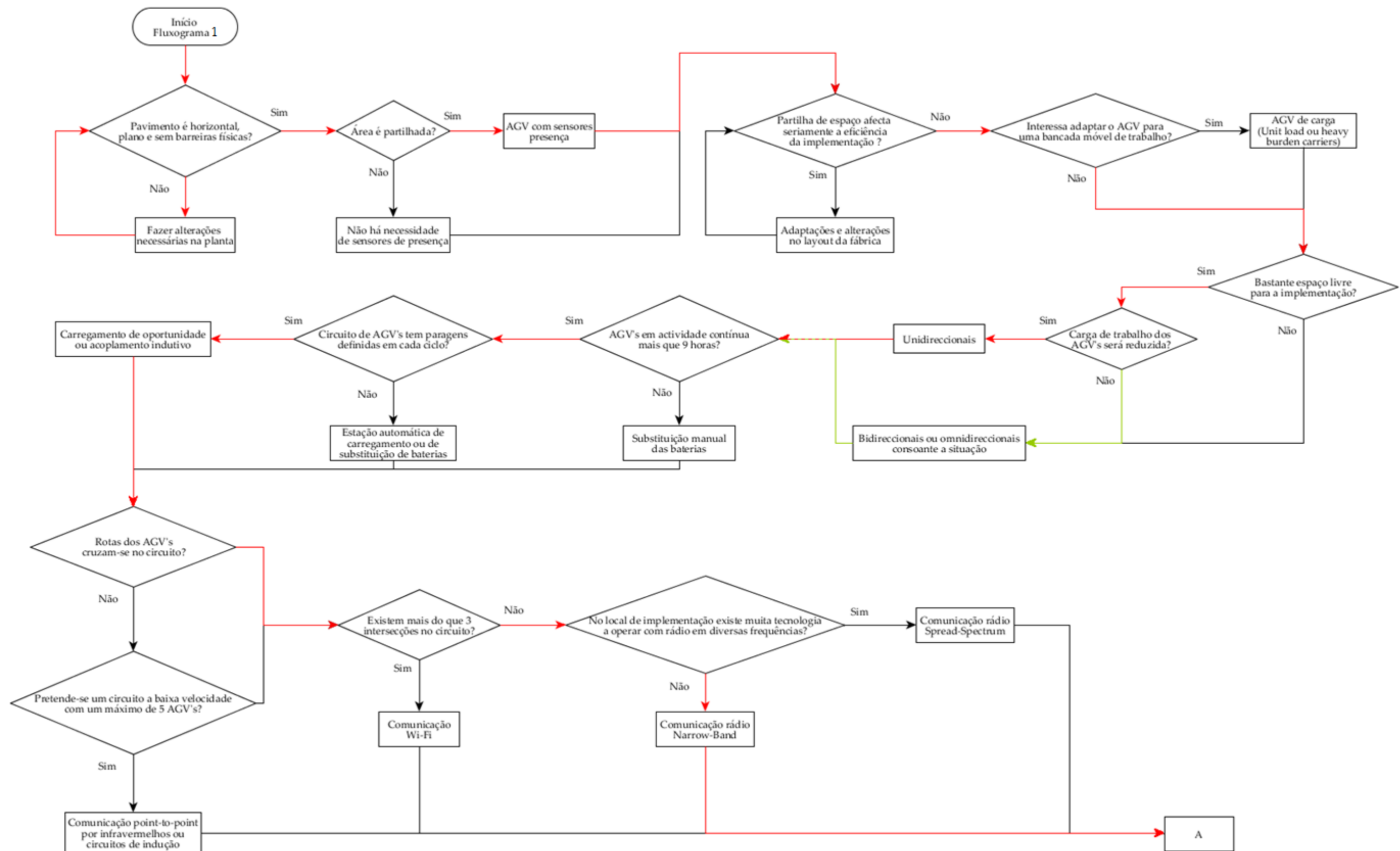
Tabela 14 - Conjunto de questões de apoio à tomada de decisão na implementação deAGV's

Para sequência de base	Para ramificação 1	Para ramificação 2
1. Pavimento é horizontal, plano e sem barreiras físicas?		
2. Área é partilhada?		
3. Partilha de espaço afecta seriamente a eficiência da implementação?		
4. Interessa adaptar o AGV para uma bancada móvel de trabalho?		
5. Bastante espaço livre para a implementação?		
6. Carga de trabalho dos AGV's será reduzida?		
7. AGV's em actividade contínua mais que 9 horas?		
8. Circuito de AGV's tem paragens definidas em cada ciclo?		
9. Rotas dos AGV's cruzam-se no circuito?	10.2 Pretende-se um circuito a baixa velocidade com um máximo de 5 AGV's?	
10.1 Existem mais do que 3 intersecções no circuito?		
11. No local de implementação existe muita tecnologia a operar com rádio em diversas frequências?		
12. Flexibilidade dentro do sistema e adaptabilidade a um novo circuito são factores completamente desprezáveis?		
13. Cenário de implementação dos AGV's está sujeito a mudanças frequentes e introdução de objectos no circuito por longos períodos de tempo?	14.2 Área exclusiva a AGV's?	14.2.2 Zona é passível de acumular sujidade de tal forma que possa cobrir uma fita colocada no solo?

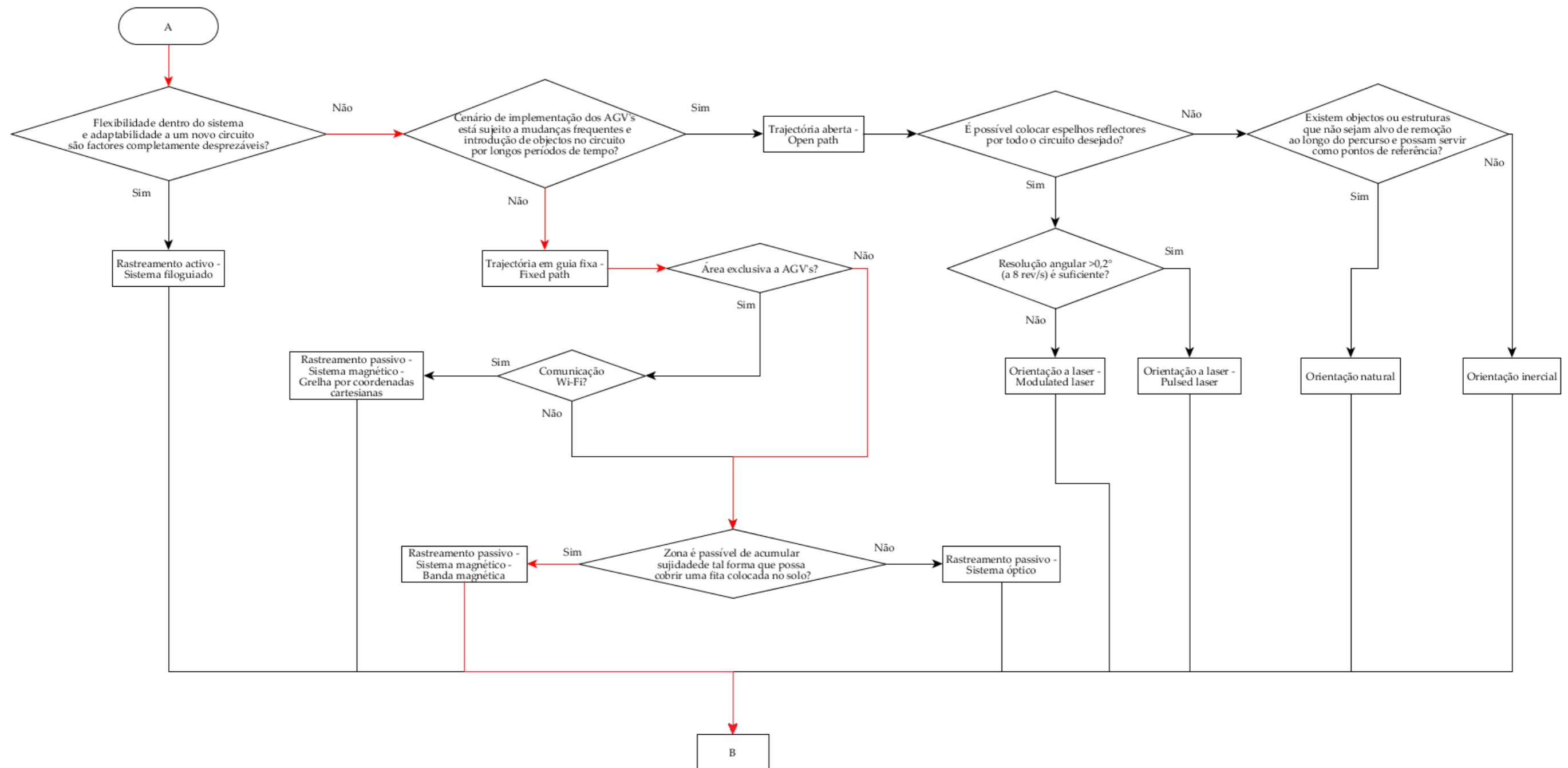
(continua)

Tabela 14 (continuação) Conjunto de questões de apoio à tomada de decisão na implementação deAGV's

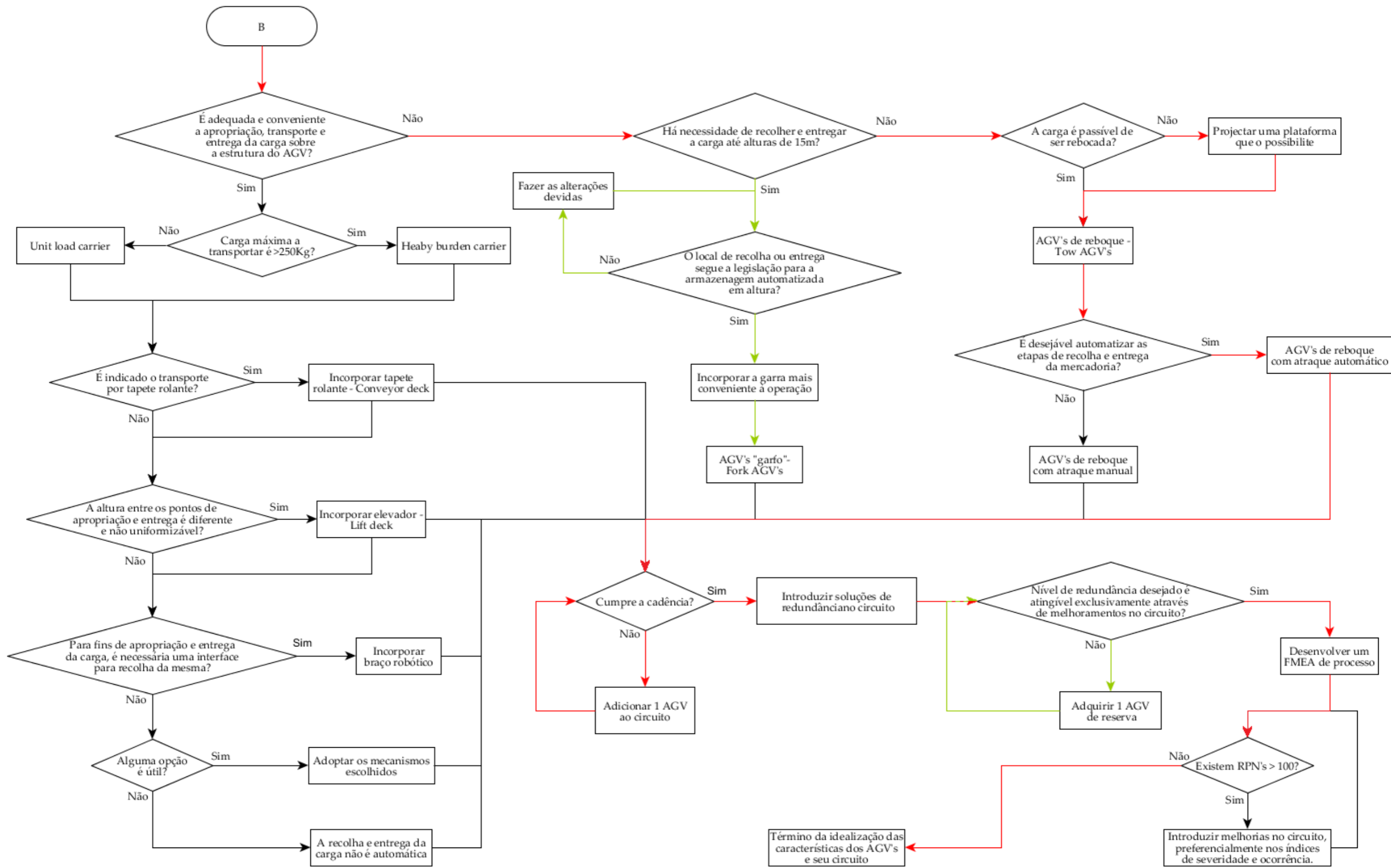
14.1 É possível colocar espelhos reflectores por todo o circuito desejado?	14.2.1 Comunicação Wi-Fi?	
15.1 Resolução angular $> 0,2^\circ$ (a 8 rev/s) é suficiente?	15.2 Existem objectos ou estruturas que não sejam alvo de remoção ao longo do percurso e possam servir como pontos de referência?	
16. É adequada e conveniente a apropriação, transporte e entrega da carga sobre a estrutura do AGV?	16.2 Há necessidade de recolher e entregar a carga até alturas de 15m?	
16.1 Carga máxima a transportar é >250 Kg?	16.2.1 O local de recolha ou entrega segue a legislação para a armazenagem automatizada em altura?	16.2.2 A carga é passível de ser rebocada?
17. É indicado o transporte por tapete rolante?		16.2.2.1 É desejável automatizar as etapas de recolha e entrega da mercadoria?
18. A altura entre os pontos de apropriação e entrega é diferente e não uniformizável?		
19. Para fins de apropriação e entrega da carga, é necessária uma interface para recolha da mesma?		
20. Alguma opção é útil?		
21. Cumpre a cadência?		
22. Nível de redundância desejado é atingível exclusivamente através de melhoramentos no circuito?		
23. Existem $RPN's > 100$?		



Fluxograma 1 - Condições do espaço e sua partilha, carga de trabalho e implicações, carregamento de baterias e métodos de comunicação



Fluxograma 1 - A) Trajectória e sistemas de guia



Fluxograma 1 – B) Tipos de AGV's, cadência, redundância de processo e FMEA

6

Conclusão

Do ponto de vista da Faurecia, empresa onde se realizou o estágio que possibilitou a presente dissertação, o contacto entre o estagiário e a entidade de acolhimento permitiu, ao primeiro, um envolvimento directo nas áreas descritas ao longo desta dissertação, tendo-se concluído com sucesso uma implementação de veículos guiados automaticamente. Sendo ou não a solução ideal, a opção de 4 AGV's de reboque com atraque automático cumpriu os principais objectivos da implementação, constituindo tanto um substituto satisfatório do seu antecessor, como um gerador de poupança apreciável. Concretamente, depois de abatido o investimento inicial, num prazo de seis meses e meio, significará uma poupança de 5430 € mensais.

No futuro, ficará ao critério da empresa adaptar estes AGV's a outra secção da fábrica e optar por instalar uma solução superior, em substituição desta.

Nos bastidores ficaram a negociação de orçamentos, esforços de coesão entre áreas distintas da fábrica, implementação de outro circuito com um AGV de reboque, com atraque manual e o desenvolvimento de um sistema *LGS – Light Guide System* para fins de controlo de qualidade de peças.

Numa perspectiva académica, a abordagem a um caso concreto permitiu fazer um levantamento de soluções técnicas e tecnologicamente possíveis e propiciou estabelecer critérios adequados à realidade. Esta experiência facilitou a realização de uma proposta metodológica de implementação de AGV's, numa tentativa não

definitiva de generalização de abordagens nesta área de engenharia, para a qual, nenhuma referência foi encontrada na pesquisa bibliográfica realizada.

Convém lembrar que a presente dissertação se foca somente na implementação de AGV's em contexto industrial *indoor* e que o seu mundo é muito mais vasto que aquele contido nestas páginas. Tecnicamente, vislumbra-se mais uma conquista da engenharia que, de forma cada vez mais abrangente, açambarcará os trabalhos monótonos e repetitivos actualmente feitos pelo homem e em simultâneo permite a redução de custos às empresas e lhes oferece, assim, novas soluções de competitividade.

Por fim, com base nos capítulos 4.10 e 5, conclui-se que a opção proposta pelo autor é a mais indicada quer no âmbito tecnológico, quer financeiro.

Bibliografia

- [1] Creighton J 2014 The Kardashev Scale - Type I, II, III, IV & V Civilization ; url: <https://futurism.com/the-kardashev-scale-type-i-ii-iii-iv-v-civilization/> ; data de acesso: 02/11/2017
- [2] Ventriglio R 2004 AGV – VEÍCULO AUTO GUIADO Curso de Engenharia da Computação (Universidade de São Francisco) ; url: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/100.pdf> ; data de acesso: 02/11/2017
- [3] Alamkhan P G 2015 *A seminar on: Use Automated Guided Vehicles in Industries* (Government College of Engineering and Research, Awasari Khurd) ; url: <https://pt.slideshare.net/alamkhan111/automated-guided-vehicle-71159283> ; data de acesso: 31/10/2017
- [4] Aidah J J 2012 Automated Guided Vehicle (AGV) ; url: <http://eprints.utm.edu.my/9988/> ; data de acesso: 31/10/2017
- [5] Egemin History of AGVs | Dematic Egemin ; url: <http://egeminusa.com/automated-guided-vehicles/agv-education/history/> ; data de acesso: 31/10/2017
- [6] Automation S History of AGVS | Savant Automation ; url: <http://www.agvsystems.com/history-agvs/> ; data de acesso: 31/10/2017
- [7] Anon History of AGVS - 1pdf.net ; url: https://1pdf.net/history-of-agvs-materialovotechnologicka-_5874137ce12e895b6d9a8835 ; data de acesso: 31/10/2017
- [8] AGVE Automated Guided Vehicles - AGVE Group ; url: http://www.agvegroup.com/services_item/automated-guided-vehicles/ ; data de acesso: 02/11/2017

- [9] Egemin AGV Series – E'gv[®], automated guided vehicles series by Egemin ; url: http://www.egemin-automation.com/en/automation/material-handling-automation_ha-solutions_agv-systems/agv-series ; data de acesso: 02/11/2017
- [10] Automation S Tow Vehicles | Savant Automation ; url: <http://www.agvsystems.com/tow-vehicles/> ; data de acesso: 02/11/2017
- [11] JBT Towing AGVs | JBT ; url: <http://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/products/towing-agvs> ; data de acesso: 02/11/2017
- [12] Automation S Heavy Burden Carriers | Savant Automation ; url: <http://www.agvsystems.com/heavy-burden-carriers/> ; data de acesso: 02/11/2017
- [13] Automation S Unit Load Carriers | Savant Automation ; url: <http://www.agvsystems.com/unit-load-carriers/> ; data de acesso: 02/11/2017
- [14] Transbotics AGV and AGC automated guided vehicles and robotic heavy load manufacturer ; url: <https://www.transbotics.com/learning-center/agvs-agcs> ; data de acesso: 02/11/2017
- [15] Automation S AGVs | Savant Automation ; url: <http://www.agvsystems.com/agvs/> ; data de acesso: 02/11/2017
- [16] METRIS3D Automated Guided Vehicle | METRIS3D ; url: http://www.metris3d.hu/files/METRIS_3D_Automated_guided_vehicle_AGV.pdf ; data de acesso: 09/11/2017

- [17] W. Ferguson K *AGV Guidance and Routing*, Panjab University, Goodyear Tire & Rubber Co. (Lahore, Paquistão) ; url: https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0ahUKEwiUioeuzrHXAhUFJFAKHRQkARgQFghGMAc&url=http%3A%2F%2Fwww.okstate.edu%2Fceat%2Fie%2Fjnazeme%2FWebsite%2520-%2520Example%2520Student%2520Papers%2FFerguson_Term_Paper_IEM5303.doc&usg=AOv ; data de acesso: 09/11/2017
- [18] MHI 2012 How do the vehicles work in an AGV system? ; url: <http://www.mhi.org/downloads/industrygroups/agvs/elessons/vehicles-work-agv.pdf> ; data de acesso: 09/11/2017
- [19] Guidance Limited 2008 Psi Navigator-World Leading AGV Navigation ; url:http://www.photosensor.co.kr/~ftp_photosensor/eng_board/shop/file_download.php?path=shop_image&file=PSI_Navigator_Brochure_Online_Version.pdf& ; data de acesso: 10/11/2017
- [20] Borenstein J, Everett H and Feng L 1996 Acquire sensory information “Where am I?” *Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning* ed J Borenstein (Michigan) pp 173–83 ;url: <http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/78322/pos96ch7.pdf> ; data de acesso: 10/11/2017
- [21] Rogers L K 2011 Automatic Guided Vehicles - Built with a number of variable components, automatic guided vehicles are flexible, versatile unmanned solutions that can safely and efficiently move product around your facility *MODERN Equipment 101: AGVs - A primer for warehouse/DC managers* ; url: http://www.mmh.com/images/site/MMH1109_EquipReport_AGVs.pdf ; data de acesso: 10/11/2017
- [22] Götting KG 2000 *Positioning System with DGPS* (Lehrte) ; url: http://www.goetting-agv.com/dateien/downloads/S_G57650_TD_EI_A_R01.pdf ; data de acesso: 10/11/2017

- [23] Joerger M and Pervan B 2006 *Autonomous Ground Vehicle Navigation Using Integrated GPS and Laser-scanner Measurements* (Chicago) ; url: http://www.navlab.iit.edu/uploads/5/9/7/3/59735535/mathieu_plans_06.pdf ; data de acesso: 10/11/2017
- [24] Rouse M 2006 What is Spread Spectrum? - TechTarget ; url: <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/spread-spectrum> ; data de acesso: 13/11/2017
- [25] Abodunrin A and Pitts R 2015 Improving Obstacle Detection of Automated Guided Vehicles via Analysis of Sonar and Infrared Sensors Output *Proceedings of the 2015 International Conference on Operations Excellence and Service Engineering* (Orlando, Florida) ; url: http://ieomsociety.org/IEOM_Orlando_2015/papers/183.pdf ; data de acesso: 13/11/2017
- [26] Ke J 2016 Critical connectivity elements for wireless AS/RS and AGV systems *Industrial Wireless* ; url: <http://www.instrumentation.co.za/8763a> ; data de acesso: 08/05/2018
- [27] Egemin Manual Battery Swap - Dematic Egemin ; url: <http://egeminusa.com/automated-guided-vehicles/battery-charging-solutions/manual-swap/> ; data de acesso: 14/11/2017
- [28] Egemin AGV Battery Charging Solutions ; url: <http://egeminusa.com/automated-guided-vehicles/battery-charging-solutions/> ; data de acesso: 14/11/2017
- [29] McHaney R 1995 Modelling battery constraints in discrete event automated guided vehicle simulations *International Journal of Production Research* **33** ; url: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207549508904859> ; data de acesso: 15/11/2017
- [30] Kutkut N Fast Charging Facts - Enhancing use of electric lift trucks, AGVs, and other motive electric vehicles (Madison, Wisconsin: Power Designers) ; url: <http://www.mhi.org/media/members/17127/130197613453828886.pdf> ; data de acesso: 15/11/2017

- [31] Martins G D 2017 *Automação do Controlo da Frequência de Ressonância de um Sistema de Transmissão de Energia sem Fios* (Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa)
- [32] Conductix 2015 Using Wireless Battery-free AGVs in Manufacturing ; url: <http://www.conductix.us/en/news/2015-10-20/using-wireless-battery-free-agvs-manufacturing> ; data de acesso: 16/11/2017
- [33] Reichert S 2013 Cables No Longer Needed – High Efficiency Inductive Charger Developed for Electric Vehicles *Press Release - Fraunhofer ISE* ; url: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2013/cables-no-longer-needed.html> ; data de acesso: 16/11/2017
- [34] Jones R 2012 Logistics: What It Is and Why It's Important to Your Company ; url: <https://logisticsdegree.net/2012/logistics-what-it-is-and-why-its-important-to-your-company/> ; data de acesso: 16/11/2017
- [35] De Souza J e Royer R 2013 Implantação de um sistema AGV - Veículo Guiado Automaticamente um estudo de caso *A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos* (Salvador, Brasil) ; url: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_177_010_22461.pdf ; data de acesso: 30/11/2017
- [36] Ullrich G 2015 *Automated Guided Vehicle Systems - A Primer with Practical Applications* vol 5 (Voerde: Springer-Verlag Berlin Heidelberg)
- [37] BIS Research 2017 Global Automated Guided Vehicle Market *Global Automated Guided Vehicle Market: -Analysis & Forecast, 2016-2022 (Focus on Major Vehicle Types, Guidance Technologies, Applications & Industries)* (São Francisco) ; url: <https://bisresearch.com/industry-report/global-agv-technology-market-forecast.html> ; data de acesso: 24/11/2017

- [38] John Manners-Bell by, Lyon K e Partners V 2014 The impact of robotics and automation on logistics - An insight into how the logistics sector could be impacted by advances in manufacturing technology *Transport Intelligence* ; url: <http://www.johnmannersbell.com/wp-content/uploads/2014/02/The-impact-of-robotics-and-automation-on-logistics.pdf> ; data de acesso: 25/11/2017
- [39] Lang N, Rüßmann M, Chua J e Doubara X 2017 Making Autonomous Vehicles a Reality: Lessons from Boston and Beyond *The Boston Consulting Group* ; url: <https://www.bcg.com/publications/2017/automotive-making-autonomous-vehicles-a-reality.aspx> ; data de acesso: 25/11/2017
- [40] Schulze L, Behling S e Buhrs S 2008 Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008 Vol II IMECS 2008 *Automated Guided Vehicle Systems: a Driver for Increased Business Performance* (Hong Kong) ; url: http://www.iaeng.org/publication/IMECS2008/IMECS2008_pp1275-1280.pdf ; data de acesso: 07/11/2017
- [41] JBT Industries | JBT ; url: <http://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/industries> ; data de acesso: 07/11/2017
- [42] Automation S Hospital Cart Transporters | Savant Automation ; url: <http://www.agvsystems.com/hospital-carts/> ; data de acesso: 02/11/2017
- [43] Zhan Y, Liu H, Liu Z e Luo Y 1999 *The Goods-flowing System AGV Technology of YUXI Cigarette Factory and the Developmental Research of AGV Nationalization Technology* (Kunming, China) ; url: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=830721 ; data de acesso: 09/11/2017
- [44] Wu S, Wu Y e Chi C 2017 *Development and Application Analysis of AGVs in Modern Logistics* vol 32 (Jinan, China) ; url: <http://revistadelaacademiadeingenieria.com/index.php/ingenieria/article/view/1714> ; data de acesso: 10/11/2017

- [45] Faieza A, Johari R, Anuar A, Rahman M e Johar A 2016 Review on Issues Related to Material Handling using Automated Guided Vehicle *Advances in Robotics & Automation* 5 ; url: <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9695.1000140> ; data de acesso: 09/11/2017
- [46] Schulze L e Wullner A 2006 The Approach of Automated Guided Vehicle Systems 2006 *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics* 522–7 ; url: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4125635/> ; data de acesso: 24/11/2017
- [47] Moura C P Resumo - FMEA (Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu) ; url: <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/amario/UnidadesCurriculares/Inovação/Textos apoio/FMEA Resumo.pdf> ; data de acesso: 15/05/2018
- [48] Costa C A B 2012 *Demonstração da viabilidade do uso da técnica de análise dos modos de falha e efeitos na redução de riscos na actividade de armazenista de produtos fitofarmacêuticos* (Instituto Superior de Educação e Ciências) ; url: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/8984/1/Demonstração da via bilidade do uso da técnica de análise_.pdf ; data de acesso: 15/05/2018
- [49] Siemens PLM Software 2016 *How to conduct a failure modes and effect analysis (FMEA)* ; url: https://polarion.plm.automation.siemens.com/hubfs/Docs/Guides_and_Manuals/Siemens-PLM-Polarion-How-to-conduct-a-failure-modes-and-effects-analysis-FMEA-wp-60071-A3.pdf ; data de acesso: 15/05/2018
- [50] JBT Conveyor Deck | JBT ; url: <http://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/products/unit-load-agvs/conveyor-deck> ; data de acesso: 02/11/2017
- [51] JBT Lift Deck | JBT ; url: <http://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/products/unit-load-agvs/lift-deck> ; data de acesso: 02/11/2017

- [52] KUKA EXPO 21XX - KUKA youBot; url: http://www.expo21xx.com/automation21xx/20317_st3_mobile-robots/default.htm ; data de acesso: 02/11/2017
- [53] JBT Narrow Aisle | JBT ; url: <http://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/products/forked-agvs/narrow-aisle> ; data de acesso: 02/11/2017
- [54] JBT Paper Clamp; Tissue | JBT ; url: <http://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/industries/paper-and-tissue> ; data de acesso: 07/11/2017
- [55] Harris T How Red-Light Cameras Work ; url: <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/red-light-camera1.htm> ; data de acesso: 13/11/2017
- [56] Hesse M e Rodrigue J-P 2004 The transport geography of logistics and freight distribution *Journal of Transport Geography* ; url: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.2967&rep=rep1&type=pdf> ; data de acesso: 30/11/2017
- [57] José Freire Mourão A 1999 *Introdução à Engenharia Simultânea e ao Projecto para Fabrico e Montagem* (Monte de Caparica)
- [58] Porttechnology 2012 Terminal Catalunya's new Barcelona container terminal gets royal seal of approval ; url: https://www.porttechnology.org/news/terminal_catalunya_inaugurates_barcelonas_new_container_terminal ; data de acesso: 22/11/2017
- [59] Götting KG AGV with mechanical bumper - RITA ; url: http://www.goetting-agv.com/dateien/downloads/S_G57650_TD_EI_A_R01.pdf ; data de acesso: 10/11/2017
- [60] Chandel S 2014 Automatic Guided Vehicles serve food to patients at the Southmead Hospital *DailyMail* ; url: <http://www.damngeeky.com/2014/09/03/24689/automatic-guided-vehicles-serve-food-patients-southmead-hospital.html> ; data de acesso: 07/11/2017

- [61] Savant Automation Cart Transporter AGVs | Savant Automation ; url: <http://www.agvsystems.com/cart-transporter-agvs/#!/prettyPhoto> ; data de acesso: 07/11/2017
- [62] JBT Healthcare | JBT ; url: <http://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/industries/healthcare> ; data de acesso: 07/11/2017
- [63] DinheiroVivo 2011 ATLASCAR - Universidade de Aveiro cria carro que anda sozinho ; url: <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/universidade-de-aveiro-cria-carro-que-anda-sozinho/> ; data de acesso: 22/11/2017
- [64] Freedman D 2017 Self-Driving Trucks: 10 Breakthrough Technologies 2017 - MIT Technology Review ; url: <https://www.technologyreview.com/s/603493/10-breakthrough-technologies-2017-self-driving-trucks/> ; data de acesso: 22/11/2017
- [65] Ahronheim A 2017 Meet RAMBOW: Israel's latest unmanned ground vehicle - Israel News *The Jerusalem Post* ; url: <http://www.jpost.com/Israel-News/Meet-RAMBOW-the-latest-unmanned-ground-vehicle-505409> ; data de acesso: 22/11/2017
- [66] Railway Gazette 2013 Siemens unveils proposal for future London Underground train ; url: <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/siemens-unveils-proposal-for-future-london-underground-train.html> ; data de acesso: 22/11/2017
- [67] Ong T 2017 The world's first crewless cargo ship will launch next year *The Verge* ; url: <https://www.theverge.com/2017/7/24/16018652/first-autonomous-ship-launch-2018> ; data de acesso: 22/11/2017
- [68] Vincent J 2016 The US Navy's new autonomous warship is called the Sea Hunter *The Verge* ; url: <https://www.theverge.com/2016/4/8/11391840/us-navy-autonomous-ship-sea-hunter-christened> ; data de acesso: 22/11/2017
- [69] Boyd R MQ-9 Reaper *Military* ; url: <http://www.military.com/equipment/mq-9-reaper> ; data de acesso: 22/11/2017
- [70] Gale I 2010 Trial over for unmanned chopper *TheNational* ; url: <https://www.thenational.ae/business/trial-over-for-unmanned-chopper-1.523595> ; data de acesso: 23/11/2017