

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Elaboração/Implementação de Algoritmo de Gestão do Armazém de Rolos Calandrados

Nelson José Pereira Figueiredo

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador FEUP: Prof. José Rui Ferreira
Co-orientador FEUP: Prof. Cândido Duarte
Orientador *Continental Mabor*: Eng.º César Leite

Janeiro de 2017

Resumo

No mundo empresarial a competição e a necessidade contínua de melhorar são fatores que estão sempre presentes e indispensáveis para que o sucesso seja alcançado, onde o principal foco está subjacente à ideia de aumentar a produtividade, e com isso as vendas, aliado ao mínimo valor de produção associado.

A economia industrial sempre presenteou grandes batalhas, no entanto a batalha contra o tempo é um confronto desleal onde a procura de contornar o facto de que o tempo apenas avança leva a investir num sistema de gestão de qualidade.

Assim sendo, a presente dissertação tem como principal propósito a análise e desenvolvimento de um algoritmo de gestão do armazém de rolos calandrados, aspirando minimizar tempos associados aos processos de entradas e saídas do armazém.

Deste modo, a dissertação inicia-se pelo enquadramento ao caso em estudo e pela análise de todos os elementos integrantes no sistema para que posteriormente seja possível constatar quais os pontos a melhorar, para que, então, seja iniciada a elaboração do algoritmo a implementar.

Numa fase subsequente é apresentada a demonstração do algoritmo utilizado, assim como as melhorias que este acarreta para a gestão do armazenamento do produto inacabado.

Este benefício encontrado pode representar maior fluidez no processo assim como apresentar-se como uma mais-valia económica dado que possibilita uma poupança energética, reduzindo assim os custos e aumentando a competitividade.

Abstract

In the business world, competition and the continuous need for improvement are key factors to achieve success, where the main focus lies in the idea of increasing productivity together with continuous search for reducing the production costs.

The industrial economy has always presented great battles, but the battle against time is an unfair one, where the quest to work around the fact that time only advances leads to invest in a quality management system.

Therefore, the main purpose of this dissertation is the analysis and development of an algorithm for the management of the warehouse of calendered rolls, aiming to minimize the time associated with the warehouse entry and exit processes.

In this way, the dissertation begins by framing the case under study and by analysing all the elements that are part of the system so that it is possible to later determine which points to improve, to start the elaboration of the algorithm to be implemented.

In a subsequent phase, the demonstration of the algorithm used, as well as the improvements that this implies for the storage management of the unfinished product, is presented.

This benefit can represent greater fluidity in the process as well as present itself as an economic value added that allows energy saving, thus reducing costs and increasing competitiveness.

Agradecimentos

Agradeço desde já a toda a comunidade FEUP, que desde o primeiro dia facilitou a minha integração no mundo universitário iniciando o meu progresso como futuro engenheiro.

Reconheço o exemplo dos meus orientadores, Professor José Rui Ferreira e Professor Cândido Duarte, que demonstraram total interesse e disponibilidade no debate e aperfeiçoamento de novas perspetivas e projetos, permitindo uma visão mais abrangente no desenvolvimento desta dissertação.

Nada disto seria possível sem o apoio da equipa da Continental Mabor que foi muito prestável, principalmente ao meu orientador Eng. César Leite que se revelou como um pilar para a continuidade do projeto, e não esquecendo o Eng. Joaquim Ascensão que manteve uma postura de acessibilidade constante solidificando as minhas convicções.

Não menos importante foi o apoio e resiliência por parte dos meus pais, que tornaram possível alcançar o sucesso académico correspondendo às minhas expectativas.

Quero agradecer especialmente à minha namorada pelo companheirismo, motivação e perseverança revelada em todos os momentos.

Finalizo, agradecendo a todos os meus colegas de faculdade por todas as amizades verdadeiras construídas ao longo destes anos, realçando o meu caro amigo Paulo Rebelo.

Bem hajam a todos!

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xii
Abreviaturas e Símbolos	xiii
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Grupo Continental	1
1.1.1 - Continental AG.....	1
1.1.2 - Continental Mabor.....	2
1.2 - Motivação e objetivos.....	2
1.3 - Organização Estrutural.....	3
Capítulo 2	5
Enquadramento	5
2.1 - Etapas do Processo de Produção	5
2.2 - Responsabilidades na Etapa de Preparação.....	6
2.3 - Armazém de Rolos Calandrados	7
2.4 - Movimentações no <i>PaterNoster</i>	10
2.5 - Primordialidades do <i>PaterNoster</i>	11
Capítulo 3	13
Elaboração do Algoritmo	13
3.1 - Levantamento de dados	13
3.2 - Algoritmo de Entrada de RCs no <i>PaterNoster</i>	14
3.2.1 - Entrada de RCs pelo <i>buffer</i> E1	14
3.2.1.1 - Caso 1	16
3.2.1.2 - Caso 2	18
3.2.2 - Entrada de RCs pelo <i>buffer</i> E2.....	19
3.2.2.1 - Processo de Decisão de Linha e Posição a Armazenar RCs	20
3.3 - Algoritmo de Saída de RCs do <i>PaterNoster</i>	21
Capítulo 4.....	23
Validação do Algoritmo	23
4.1 - Levantamento de dados	23
4.2 - Comparação de dados.....	24
Capítulo 5.....	27
Conclusão	27

5.1 - Trabalhos Futuros.....	28
Referências	29
Anexos	31

Lista de figuras

Figura 2.1- Esquema do <i>PaterNoster</i>	8
Figura 2.2- Movimentações no armazém de rolos calandrados	10
Figura 3.1- Representação do algoritmo de entrada de rolos provenientes da calandra 1	15
Figura 3.2- Caso 1: Esquema representativo da seleção da fila e posição a armazenar o RC..	17
Figura 3.3- Caso 2: Esquema representativo da seleção da fila e posição a armazenar	19
Figura 3.4- Representação do algoritmo de entrada de RCs provenientes da mesa de entrada.....	20
Figura 3.5- Esquema representativo da seleção da fila e posição a armazenar o RC.....	21
Figura 4.1- Gráfico relativo ao tempo de entrada dos rolos calandrados no <i>PN</i>	25
Figura 4.2 -Gráfico relativo ao número médio de rotações na entrada e saída de RCs	25

Lista de tabelas

Tabela 1.1 - Organização estrutural por capítulos.....	3
Tabela 2.1- Legenda do <i>PaterNoster</i>	9
Tabela 4.1- Dados do algoritmo teste.....	24
Tabela 4.2- Comparação de resultados.....	24
Tabela 3 - Anexo I: Histórico do algoritmo teste	31
Tabela 4 - Anexo II: Exemplo de uma das matrizes criadas para a elaboração do algoritmo teste	36
Tabela 5 - Anexo III: Exemplo de matriz dos tempos associados ao carro 1	36

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

CAL	Calandra
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
<i>FIFO</i>	<i>First In First Out</i>
MIEEC	Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
<i>MTC</i>	<i>Machine Tolerance Check</i>
<i>PN</i>	<i>PaterNoster</i>
RC	Rolo Calandrado
<i>TPM</i>	<i>Total Productive Maintenance</i>

Palavras-Chave

Algoritmo, Armazém, Rolos Calandrados

Capítulo 1

Introdução

A presente dissertação denominada “Elaboração/Implementação de Algoritmo de Gestão do Armazém de Rolos Calandrados” advém do plano da unidade curricular de Dissertação inserida no curso de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (MIEEC) na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Este projeto foi proposto pela empresa Continental Mabor - Indústria de pneus, S.A., situada em Lousado - V. N. Famalicão, estabelecendo assim uma parceria empresa-faculdade.

O desenvolvimento das atividades associadas ao projeto ocorrera nas instalações da empresa, mais concretamente no departamento II - Preparação, num período temporal de três meses, onde numa fase inicial foram essencialmente retirados dados e apontamentos de todos os processos e movimentações do armazém de rolos calandrados (RCs), intitulado internamente de *PaterNoster (PN)*¹, assim como os tempos dos mesmos para posteriormente estruturar o algoritmo de gestão pretendido.

No presente capítulo é realizado um breve resumo da empresa em questão, bem como do grupo Continental, fazendo a ponte para as motivações e objetivos inerentes à dissertação. Posteriormente é apresentada a organização estrutural adotada para a realização do projeto.

1.1 - Grupo Continental

1.1.1 - Continental AG

A empresa Continental AG, assim designada atualmente, foi fundada a 8 de Outubro de 1871 em Hannover, Alemanha, iniciando os seus trabalhos na produção de artefactos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas.

Em 1898, deu início à produção de pneus lisos para automóveis, sendo que desde então, acompanha a evolução operada na indústria automóvel com o estudo e aplicação de técnicas, produtos e equipamento para a melhoria de pneumáticos. Os pneus Continental passaram a equipar carros das diversas competições automóveis.

¹ *PaterNoster (PN)* - Designação atribuída ao armazém de rolos calandrados.

Já no início do século XXI, a Continental adquiriu a especialista em eletrônica internacional *Temic*. Sendo que em 2007, a Continental adquire também a *Siemens VDO Automotive AG* e avança para os cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel e desenvolve a sua posição na Europa, América do Norte e Ásia.[3]

No presente, o Grupo Continental é especialista na produção de sistemas de travagem, controlos dinâmicos para viaturas, tecnologias de transmissão de potência, sistemas eletrónicos e sensores.

Conta com uma estrutura humana de aproximadamente 150 000 colaboradores, inseridos em diferentes divisões: chassis e segurança, *powertrain*, interior, pneus para viaturas de passageiros e comerciais ligeiras, pneus pesados e *ContiTech*², espalhados por 36 países e em cerca de 200 locais distintos.

1.1.2 - Continental Mabor

A Continental Mabor nasceu em dezembro de 1989, como empresa ligada à indústria de pneus. O seu nome provém da união de duas empresas de renome na manufatura da borracha, a Mabor, a nível nacional, e a Continental AG., de dimensão mundial.

O programa de reestruturação que transformou as antigas instalações da Mabor na moderna unidade da Continental iniciou-se em 1990. Com esta remodelação os níveis de produção cresceram exponencialmente, conseguindo hoje em dia ser uma das fábricas da Continental com melhores índices de produtividade, apresentando uma produção média de cerca de 55 000 pneus/dia, produzindo muita variedade de pneus, quer em marcas, contrariamente ao que sucedia inicialmente (produzia apenas pneus da marca Mabor), quer em tipos ou medidas.[4]

Mais de 95% da produção destina-se à exportação, onde o denominado “mercado de substituição” (M.S.) absorve mais de metade da produção anual da Continental Mabor. A parte restante é distribuída pelas linhas de montagem, dos mais prestigiados construtores da indústria automóvel.

A Continental Mabor conta, atualmente, com uma área de 255 000 m² e aproximadamente mil e oitocentos colaboradores.

1.2 - Motivação e objetivos

Nos dias de hoje, o acréscimo da competição empresarial é gritante, seja entre empresas quer seja dentro da própria empresa incentivadas não só pela procura da sobrevivência no mercado em que estão inseridas, assim como pela necessidade de aumentarem os padrões qualitativos aliados à eficiência da produção.

Todas as entidades têm implementado cada vez mais ideais e metas a alcançar, como meio motivacional e como política a seguir, a Continental Mabor não foge à regra e como tal aposta em estudos de melhoria contínua, daí surge este projeto associado à maximização da disponibilidade dos recursos existentes para produção, otimizando a sua utilização.

Este projeto tem como principais objetivos o melhoramento dos tempos de resposta de entrega e armazenamento de rolos calandrados, otimizando a capacidade do armazém e a

² *ContiTech* - Principal fornecedor de produtos técnicos de borracha e especialista em tecnologia de plásticos.

flexibilidade das operações, do mesmo modo que a utilização dos recursos existentes é minimizada e são reduzidos os tempos associados às movimentações de ciclo do armazém não colocando em causa a qualidade dos materiais armazenados que em seguida continuarão o processo de produção.

1.3 - Organização Estrutural

O presente subcapítulo pretende apresentar o esqueleto utilizado no decorrer da dissertação, com a finalidade de melhor compreensão do procedimento empregue ao longo de todo o desenvolvimento realizado.

A dissertação contém cinco capítulos sendo que cada um abrange vários subcapítulos de acordo com os temas especificados, Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Organização estrutural por capítulos

Capítulo	Tema
1	Introdução
2	Enquadramento
3	Elaboração do Algoritmo
4	Validação do Algoritmo
5	Conclusão

1. O capítulo 1 apresenta uma breve introdução ao tema a desenvolver, uma contextualização da empresa inserida no projeto, motivações e objetivos abraçados e a estrutura inerente à dissertação;
2. No capítulo 2 é demonstrado o ambiente envolvente ao armazém, a exposição e identificação do mesmo, a importância que este tem no processo fabril e os processos que o constituem;
3. No terceiro capítulo é demonstrado todo o desenvolvimento do algoritmo a implementar;
4. O capítulo 4 valida o algoritmo anteriormente desenvolvido, comprovando as melhorias alcançadas;
5. O capítulo terminal 5 apresenta as conclusões e refere alguns futuros trabalhos a realizar.

Capítulo 2

Enquadramento

A metodologia de manufatura da Continental Mabor está distribuída em cinco fases primordiais, que constituem notáveis etapas para a consumação do pneu.

O armazém em estudo, encontra-se na fase denominada de preparação, recolhendo assim o produto proveniente das calandras (CAL)³, rolos calandrados, e fornecendo subsequentemente, conforme pedido, os rolos às máquinas de corte para o processo de fabrico continuar normalmente, sem atrasos.

Para melhor compreensão irão ser explicadas quais as etapas do processo de produção.

2.1 - Etapas do Processo de Produção

- I. Misturação - É o início do processo produtivo, onde, tal como a sua designação indica, todos os compostos são misturados para que a borracha possa avançar para a fase seguinte;
- II. Preparação - Nesta fase são feitos os talões⁴, pisos⁵ e as paredes⁶ do pneu. A preparação destes materiais é auxiliada por extrusoras, calandras e máquinas de corte.

³ Calandras (CAL) - Máquina usada para calandrar as matérias-primas após estas sofrerem o processo de misturação, resultando na produção de rolos calandrados.

⁴ Talões - Constituintes da parte lateral do pneu que tem como objetivo suportar/reforçar a parede do pneu.

⁵ Pisos - Parte do pneu que está em contacto com o solo, oferece aderência à superfície em contacto e estabilidade direcional.

⁶ Paredes - Constituída por borracha natural e tem como função proteger o involucrio de danos externos e condições climatéricas.

- III. Construção - A fase de construção é responsável por montar todos os produtos fabricados anteriormente. Desta fase sai o “pneu em cru”, ou seja, é construída a carcaça do pneu e são incorporados os *breakers*⁷, cintas têxteis e o piso.
- IV. Vulcanização - Esta etapa é já o culminar do processo de fabrico do pneu, onde o mesmo é submetido a elevadas temperaturas nas prensas e os moldes atribuem o aspeto final do pneu.
- V. Inspeção Final - Esta última etapa, e não menos importante, é onde ocorrem todas as verificações dos requisitos de qualidade a garantir, encaminhando o pneu, em caso afirmativo, para o armazém de produtos acabados.

2.2 - Responsabilidades na Etapa de Preparação

- Elaborar, coordenar e desenvolver procedimentos e planos de manutenção preventiva e corretiva;
- Maximizar a disponibilidade das máquinas para produção;
- Implementar o programa de *Machine Tolerance Check (MTC)*⁸;
- Apoiar a implementação das ações corretivas, nos equipamentos e instalações, decorrentes dos planos de ação desenvolvidos pelos grupos de auditorias internas;
- Apoiar a formação dos elementos da produção nas operações de equipamentos novos;
- Introduzir melhorias nos equipamentos, de forma a otimizar a sua capacidade;
- Executar todos os projetos de desenvolvimento e instalação de novas máquinas, assim como quaisquer alterações às instalações fabris;
- Participar na implementação do *Total Productive Maintenance (TPM)*⁹;
- Manter em bom estado de conservação todas as instalações fabris;
- Assegurar a disponibilidade dos recursos energéticos necessários, otimizando a sua utilização

⁷ *Breakers* - Contém na sua constituição cordas de aço resistentes com o objetivo de preservar a forma do pneu e garantir maior estabilidade direcional.

⁸ *Machine Tolerance Check (MTC)* - Processo que visa garantir a manutenção das tolerâncias dos sistemas.

⁹ *Total Productive Maintenance (TPM)* - Conjunto de tarefas com vista à melhoria do processo produtivo.

2.3 - Armazém de Rolos Calandrados

Depois de terminada a etapa da misturação, as matérias-primas passam por um processo de produção onde as calandras ficam encarregues de acoplar os materiais, formando assim os rolos calandrados, que são rolos impregnados com a borracha, podendo estes rolos serem de tecido metálico ou tecido têxtil.

Todos estes RCs produzidos são armazenados no *PaterNoster (PN)*, armazém de rolos calandrados, até que sejam necessários para produção, sendo que existe uma grande variedade de RCs consoante os materiais utilizados para o fabrico dos mesmos, metal, poliéster, *rayon*, *nylon* ou aramida.

Todo o armazenamento no *PaterNoster* é auxiliado por um sistema de informação que serve para o operador de serviço registar e identificar, através de um *buffer*¹⁰, cada rolo que dá entrada em sistema. O mesmo processo sucede em termos de saídas, ou seja, o operador através do *buffer* realiza o pedido do tipo de rolo que necessita para o encaminhar para as máquinas de corte.

Para melhor compreensão, a Figura 2.1 e a Tabela 2.1 pretendem representar o *PaterNoster*.

¹⁰ *Buffer* - Região de memória física usada para armazenar dados temporariamente.

8 Enquadramento

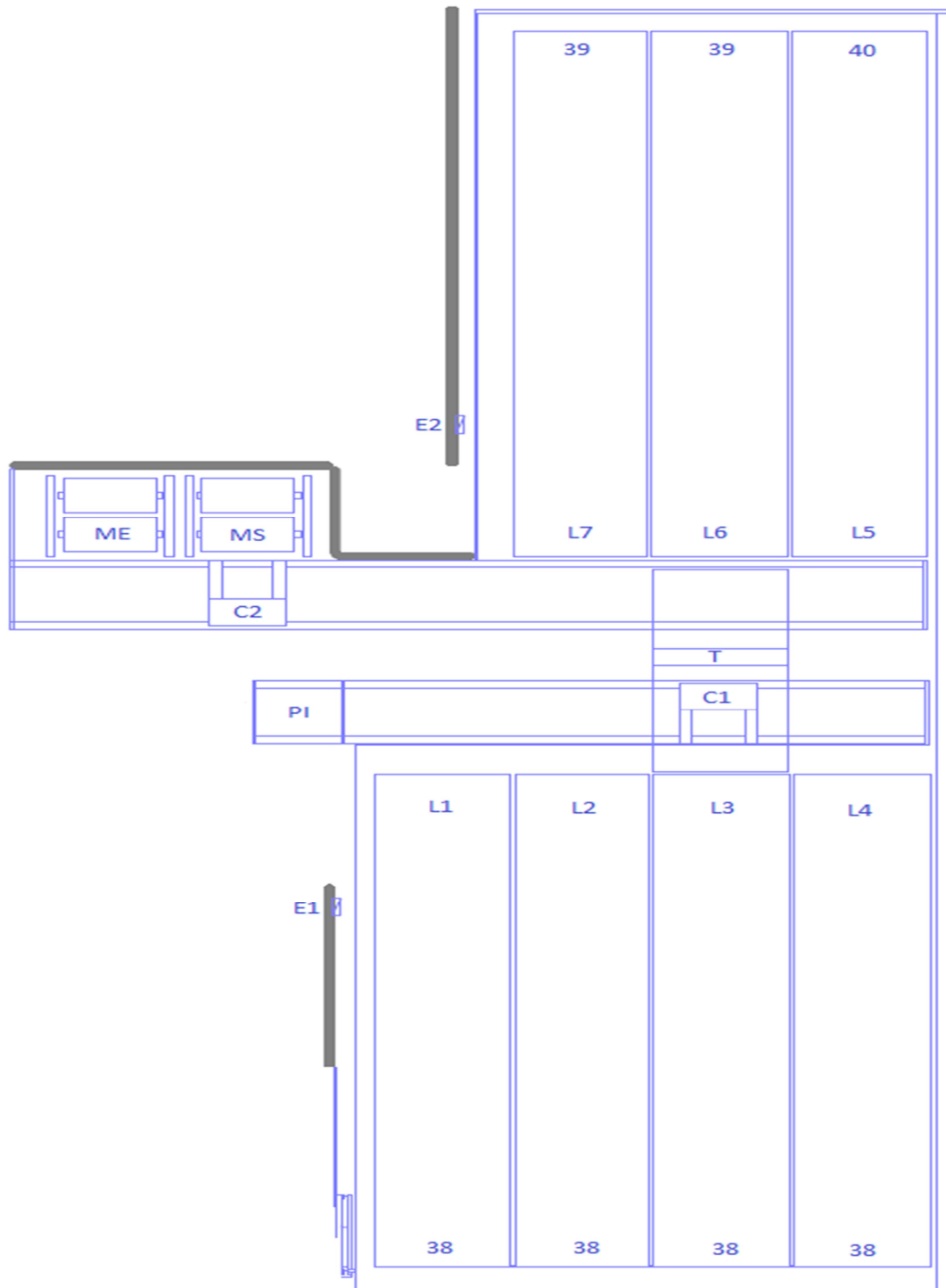


Figura 2.1- Esquema do *PaterNoster*

Tabela 2.1- Legenda do *PaterNoster*

Legenda	
L1	Linha 1 - capacidade máx. 38
L2	Linha 2 - capacidade máx. 38
L3	Linha 3 - capacidade máx. 38
L4	Linha 4 - capacidade máx. 38
L5	Linha 5 - capacidade máx. 40
L6	Linha 6 - capacidade máx. 39
L7	Linha 7 - capacidade máx. 39
E1	<i>Buffer</i> entrada 1
E2	<i>Buffer</i> entrada 2
C1	Carro 1
C2	Carro 2
T	Transferidor
ME	Mesa de Entrada
MS	Mesa de Saída
PI	Posição Inicial da entrada 1

Tal como se observa na Figura 2.1, o *PaterNoster* é um armazém de produtos inacabados, rolos calandrados, composto por sete linhas de armazenamento, onde as linhas 1, 2, 3 e 4 têm capacidade máxima de 38 rolos, a linha 5 tem capacidade máxima de 40 rolos e as linhas 6 e 7 são compostas por 39 lugares disponíveis, atribuindo assim capacidade máxima de duzentos e setenta lugares disponíveis para armazenamento de rolos calandrados.

A rotação dos lugares em cada linha ocorre com recurso a rodas dentadas e correntes movimentadas pela força dos motores instalados individualmente em cada linha, sendo que esta rotação realiza-se em ambos os sentidos permitindo assim que um processo de armazenamento ou de retirada de rolo comporte um valor máximo de dezanove ou vinte rotações, dependendo da linha em questão, ou seja, um valor de metade da capacidade da linha.

O *PN* possui dois *buffers*, em que o *buffer* E1 tem a funcionalidade de registar apenas entradas, normalmente todos os rolos provenientes da calandra 1, já o *buffer* E2 apresenta dupla funcionalidade, ou seja, além de registar a entrada de rolos no sistema também serve para realizar todos os pedidos de saída de rolos do *PN*, daí a existência de uma mesa de entrada e uma mesa de saída do lado do *buffer* E2.

Para as movimentações realizadas no *PN* são utilizados dois carros firmes em carris que se deslocam apenas segundo um eixo horizontal. O carro 1 tem acesso total às linhas 1, 2, 3 e 4 e o carro 2 tem possibilidade de acesso às linhas 5, 6 e 7.

As linhas com menor capacidade de armazenamento (1, 2, 3 e 4) situam-se junto ao *buffer* E1, as restantes linhas ficam do lado oposto, como tal para a passagem de um rolo de um lado para o outro é possível devido à existência de um transferidor, que está encarregue de fazer a ponte entre a linha 3 e a linha 6, permitindo assim que um rolo consiga dar entrada num lado do armazém e ser armazenado do lado contrário, o mesmo acontece em termos de saída de rolos, claro que neste caso apenas num sentido. Este transferidor permite movimentação quer

no eixo vertical, para agarrar ou largar o rolo, quer no eixo horizontal para fazer a conexão entre os dois lados do *PN*.

2.4 - Movimentações no *PaterNoster*

Devido à complexidade de movimentações possíveis no armazém, foi criada a Figura 2.2, que pretende retratar a realidade de processos existentes e como podem ocorrer estes processos de entrada e saída de rolos calandrados.

Os processos de entrada e saída podem ocorrer em simultâneo desde que os recursos a utilizar por estes processos não se sobreponham.

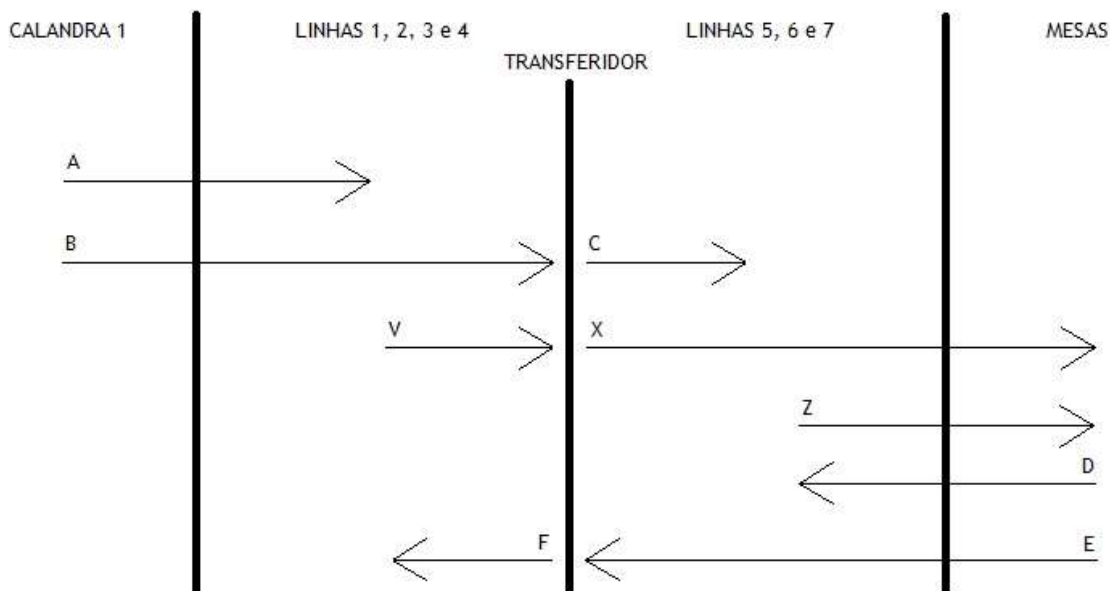


Figura 2.2- Movimentações no armazém de rolos calandrados

Todos os processos possíveis de executar no *PN* estão exibidos na Figura 2.2, sendo denominado cada processo com uma determinada letra associada.

As entradas provenientes pela calandra 1 têm dois trajetos possíveis, ou os rolos são armazenados nas linhas 1, 2, 3 e 4 (processo A) ou o armazenamento dá-se nas linhas 5, 6 e 7, para isso é necessário o transferidor fazer a ponte entre os lados do *PN*, daí o processo de entrada ser separado entre B e C, onde B representa o movimento do rolo desde a posição inicial até ao transferidor e C representa o percurso do transferidor até a uma das linhas do lado oposto ao de entrada. Estes processos poderão não ser realizados seguidamente caso o carro 2 se encontre a realizar outro trabalho em paralelo, realizando o armazenamento assim que se encontre disponível, nesse caso o transferidor encontra-se em carga até ser possível a passagem do rolo.

Para o processo de entrada oriundo da mesa de entrada, o processo é semelhante aquando da entrada de rolos no lado oposto, ou seja, se o rolo realizar o trajeto da mesa de entrada para uma das filas 5, 6 ou 7 designa-se processo D, quando é necessário o auxílio do transferidor para proceder ao armazenamento do material, denomina-se processo E ao movimento da mesa de entrada ao transferidor e processo F à trajetória do transferidor às linhas 1, 2, 3 ou 4.

Em termos de saídas do *PN*, o processo demonstra-se mais elementar, visto que as saídas apenas ocorrem pela mesa. Daí existirem três processos distintos, V, X e Z. O processo V e X são complementares um do outro e surgem sempre que o rolo a sair se encontra armazenado numa das linhas 1, 2, 3 e 4 e conseqüentemente seja imprescindível a utilização do transferidor, ou seja, V descreve o trajeto duma das linhas já referidas ao transferidor e X o processo desde o transferidor até à mesa de saída. A movimentação Z ocorre sempre que o *buffer* determina que o rolo a seguir para as máquinas de corte está armazenado numa das linhas 5, 6 ou 7.

Todas estas movimentações ocorrem de forma automatizada, autónoma e de forma sequencial, percorrendo o algoritmo implementado pela Continental Mabor no seu sistema de gestão do produto a armazenar.

2.5 - Primordialidades do *PaterNoster*

Após uma análise de todas as possíveis funcionalidades inerentes ao *PN*, verificou-se que ao nível da gestão de informação a empresa já possuía um sistema de informação bem estruturado, minucioso e de fácil acesso, permitindo que fossem verificados dados como quais os RC armazenados, qual a localização de cada RC, que posição ocupa determinado rolo, data de fabrico e de validade associadas a cada RC, assim como o histórico de entradas e saídas do armazém, entre outras.

Sendo assim, em termos de monitorização e acompanhamento do processo de armazenamento a metodologia estava definida.

Desta forma, a base de estudo e o foco de intervenção foi convergindo para o algoritmo de gestão de *stock*, ou seja, compreender onde e como armazenar para que o tempo de resposta do processo de armazenamento/remoção apresente melhorias sendo mais rápido, eficiente e flexível.

No que diz respeito às saídas dos RCs do sistema não foi elaborado qualquer estudo uma vez que a política da empresa exige que todos os materiais em processo de produção respeitem o algoritmo *FIFO*, isto é, o primeiro a entrar é o primeiro a sair, neste caso concreto significa que quando é pedido um determinado tipo de rolo, independentemente do sítio onde este esteja armazenado, é o rolo que foi produzido primeiramente, ou seja, que está armazenado no *PN* há mais tempo, que vai iniciar o processo de remoção e passará à próxima fase de produção, saindo assim do armazém disponibilizando o seu lugar para uma futura entrada.

Quanto às entradas de RCs no *PN*, foi elaborado um algoritmo que visa melhorar a eficiência a todos os níveis de armazenamento tendo sempre em conta que o algoritmo de saída é do tipo *FIFO* e entrando com esse princípio como um dos fatores restritivos para a elaboração do algoritmo de entrada.

Capítulo 3

Elaboração do Algoritmo

A elaboração do algoritmo de gestão do armazém de rolos calandrados inicia-se com a observação, análise e a ponderação de todos os processos e movimentos ocorridos aquando a entrada e saída de um rolo em sistema.

A abordagem a realizar passa muito pela racionalização dos recursos e processos existentes de maneira a tornar o sistema de armazenamento/remoção cada vez mais eficiente.

3.1 - Levantamento de dados

Todo o método para a construção do algoritmo arranca com o levantamento de dados envolventes ao projeto, para além de um vasto período de tempo de observação do sistema permitindo assim uma familiarização com o plano de intervenção a desenvolver.

Recorrendo ao *Microsoft Office Excel* foram registados dados como:

- Capacidade total do sistema;
- Número de linhas disponíveis;
- Capacidade de cada uma das linhas;
- Processos a ter em conta para armazenar/remover para cada linha individualmente;
- Movimentações possíveis dos carros tendo em conta a posição atual dos mesmos;
- Tempo de deslocamento de cada carro, considerando todos os movimentos possíveis incluindo o processo de alocar nas linhas e/ou retirar das mesmas;
- Tempo que o transferidor leva a fazer a passagem do rolo de um lado para o outro do *PN*;
- Tempos associados às mesas para introduzir ou retirar um *RC*;

- Tempos de rotação de cada linha, quando é necessário que a linha rode até encontrar uma posição livre para armazenamento ou apenas para retirar um RC existente nessa linha, destacando a importância destes tempos como primordiais para o sucesso do algoritmo a implementar.

De salientar que todos os processos foram monitorizados individualmente para que a análise aos mesmos seja de mais fácil compreensão, apesar da possibilidade real de acontecer mais do que uma entrada e/ou saída em sistema simultaneamente.

Tornou-se então imprescindível elaborar diversas matrizes de todos estes tempos associados a movimentações no *PN*. Matrizes que espelham o rigor associado a cada movimento viável a acontecerem por cada carro individualmente, assim como pelo transferidor.

Posteriormente, surgiu a necessidade de criar trinta e duas matrizes (Anexo II - Tempos dos Movimentos no Processo de Entrada) distintas que retratam, dependendo da posição atual de cada carro, o tempo associado à possibilidade de rotações em cada uma das linhas aquando da entrada/retirada de qualquer RC no armazém.

3.2 - Algoritmo de Entrada de RCs no *PaterNoster*

Após a pesquisa e verificação de todos os dados retirados iniciou-se a criação do algoritmo de entrada e saída de rolos.

Este algoritmo foi elaborado segundo heurísticas ao longo de todo o desenvolvimento para que o algoritmo fosse adequado ao problema em questão e para que este respeita-se premissas previamente estabelecidas, fomentando assim a procura de uma solução estratégica com o objetivo de melhorar um ambiente problemático real, não foi usado um método matemático específico já que estes não se demonstravam completamente viáveis tendo em conta a impossibilidade de prever qual a produção que irá ser realizada, assim como a não existência de padrões de produção.

A elaboração do algoritmo de entrada subdividiu-se em duas partes distintas correspondendo, respetivamente, à entrada de RCs pelo *buffer* E1 e à entrada de RCs pelo *buffer* E2, isto é, pela mesa de entrada.

3.2.1 - Entrada de RCs pelo *buffer* E1

No que diz respeito à entrada pelo *buffer* E1, ou seja, rolos provenientes da CAL1 foram considerados dois casos diferentes: caso 1 e caso 2, dependendo da saturação de pedidos do *buffer*. A Figura 3.1 pretende representar a parte comum a ambos os casos, através de um diagrama de blocos com a finalidade de explicar o raciocínio usado na elaboração deste algoritmo.

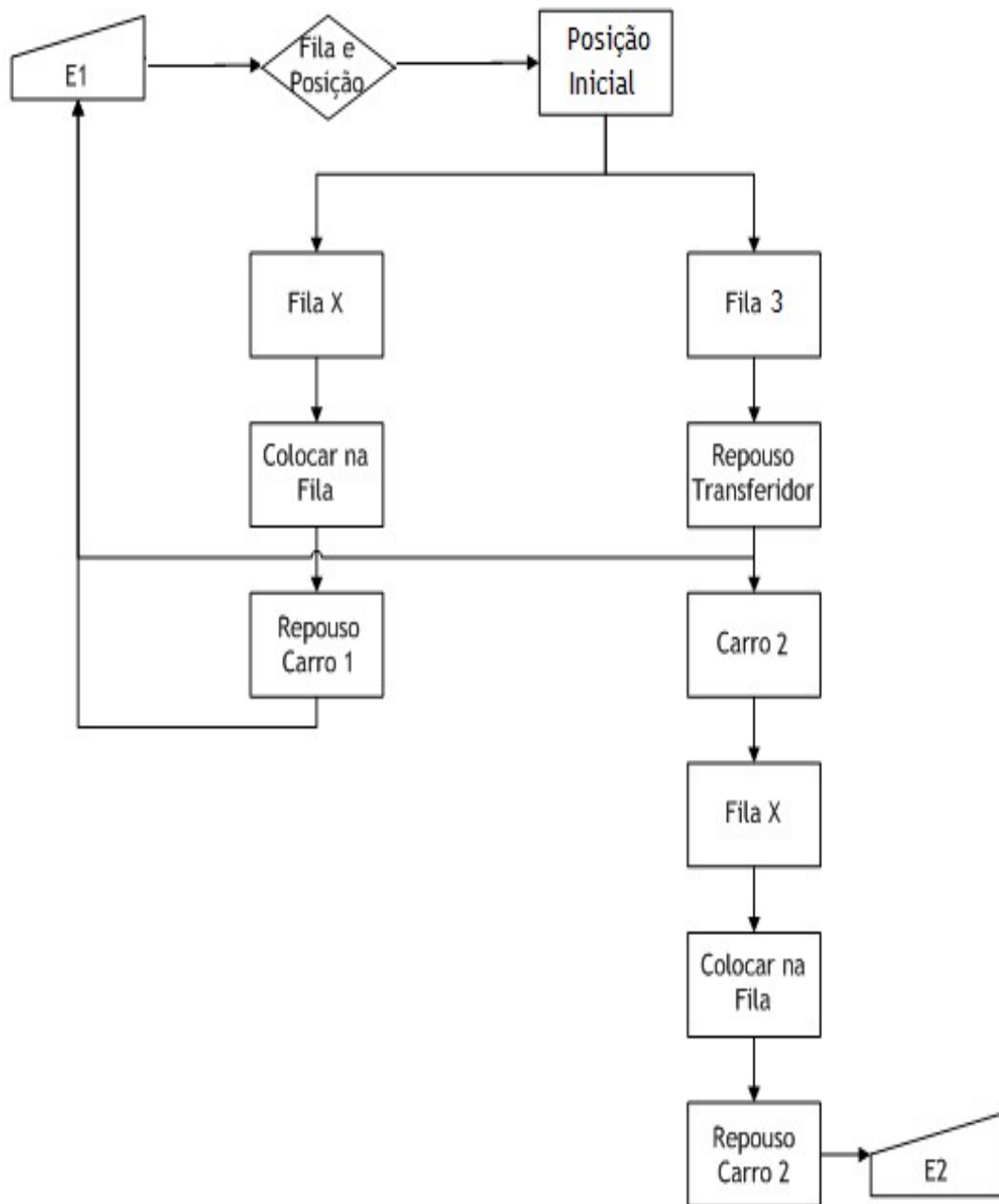


Figura 3.1- Representação do algoritmo de entrada de rolos provenientes da calandra 1

O algoritmo inicia-se sempre que o operador insere no *buffer* E1 uma nova entrada, chamando assim o carro 1 para a posição inicial para que o rolo calandrado seja colocado em cima do carro 1 com o propósito de dar seguimento ao armazenamento. Sendo que é tomada uma decisão de qual a melhor posição a alocar o RC (esta tomada de decisão é explicada posteriormente já que é distinta do caso 1 para o caso 2), após essa decisão e estando já o rolo na posição inicial, e o sistema já contendo a informação de qual a linha e a posição a armazenar o rolo, inicia-se então as movimentações de armazenamento.

Se o RC for alocado numa das linhas 1, 2, 3 ou 4, o rolo segue para o estado denominado de fila X pela Figura 3.1, e conseqüentemente é colocado numa dessas linhas ficando celeremente todo o sistema pronto a realizar novo trabalho.

Enquanto se o rolo for alocado numa das linhas 5, 6 ou 7, ou seja, linhas do lado oposto ao lado de entrada, o rolo segue no carro 1 até à linha 3, que funciona também como uma linha de transição de lado, onde o rolo é amarrado pelo transferidor e transferido para o carro 2, quando disponível, a fim de este colocar na linha previamente selecionada que se encontra no seu raio de ação e assim ficar hábil a realizar uma nova tarefa, caso seja necessário.

Após a alocação do produto, o sistema de informação fica automaticamente com todos os dados do rolo inserido na posição e linha associada ao mesmo, ficando assim mais uma posição do *PN* como ocupada.

Em termos do estado designado por “fila e posição”, este é onde ocorre as decisões de onde alocar o RC, diferenciando dois casos permitindo assim que o sistema possa usufruir de duas abordagens distintas ao armazenar, como tal, procedeu-se à explicação de cada caso separadamente.

3.2.1.1 - Caso 1

Este primeiro caso sucede sempre que o *buffer* E2 tenha no máximo dois pedidos pendentes, o que implica que o sistema está num processo produtivo controlado, ou seja, a fase de produção seguinte não está com grande afoego de RCs, podendo então ser escolhida uma posição para armazenamento mais favorável em termos de saída, isto é, dar prioridade a linhas mais próximas da mesa de saída, mesmo que esta demore mais tempo a armazenar em detrimento de outra opção mais próxima da posição inicial, é possível visualizar o esquema do algoritmo utilizado na Figura 3.2.

Neste caso, a escolha da linha e posição a armazenar começa assim que o *buffer* E1 é acionado, começando pela leitura das posições ocupadas pelo carro 1 (PC1) e pelo carro 2 (PC2) permitindo assim a seleção da matriz de tempos correspondente à posição de ambos os carros, ou seja, é selecionada uma das trinta e duas matrizes criadas. Esta matriz contém todos os tempos associados a cada uma das sete linhas dependendo do número de rotações que cada linha tem de realizar até encontrar a posição livre mais próxima.

Após a seleção da matriz é calculado então o número de rotações que cada linha tem de realizar até encontrar a posição livre mais próxima da posição em que a linha se encontra naquele momento de entrada do rolo.

Atendendo à maior proximidade da linha 7 à mesa de saída, esta define-se como a linha mais favorável para armazenar, sucedendo-se pela mesma ordem de ideia a linha 6, 5, 3, 2, 4 e 1, sequencialmente. No entanto, o número de rotações que cada uma das linhas tem de efetuar faz com que a sequência das linhas por vezes se altere, por exemplo, se a linha 7 necessitar de rodar quinze posições para armazenar o RC e a linha 6 apenas necessitar de realizar uma única rotação então passa a linha 6 a ser a linha mais favorável em vez da linha 7 inicialmente prevista como favorita.

Assim sendo, e tendo em conta os tempos contidos na matriz eleita, sempre que a linha 7 apresentar um número de rotações inferior a 7 é escolhida esta linha como a linha a armazenar e é impressa a posição, pertencente a esta linha, que o RC vai ser armazenado.

Se a linha 7 necessitar de 7 ou mais rotações para armazenar então inicia-se uma espécie de ciclo onde se compara com as linhas mais pertinentes:

- Se $R6 < R7$ e $R6 \leq R5 \rightarrow$ Aloca na linha 6 e imprime a posição a ocupar;
- Se $R6 \geq R7$ ou $R6 > R5$:
 - Se $R5 < R7 \rightarrow$ Aloca na linha 5 e comunica a posição final;
 - Se $R5 \geq R7$:
 - Se $R3 < R7$ e $R3 \leq 5 \rightarrow$ Aloca na linha 3 e imprime a posição;
 - Se $R3 \geq R7$ ou $R3 > 5$:
 - É seleccionado e comunicado ao sistema a posição final a ocupar, correspondendo ao percurso mais rápido para armazenar independentemente da linha que se encontrar, ou seja, o mínimo valor da matriz.

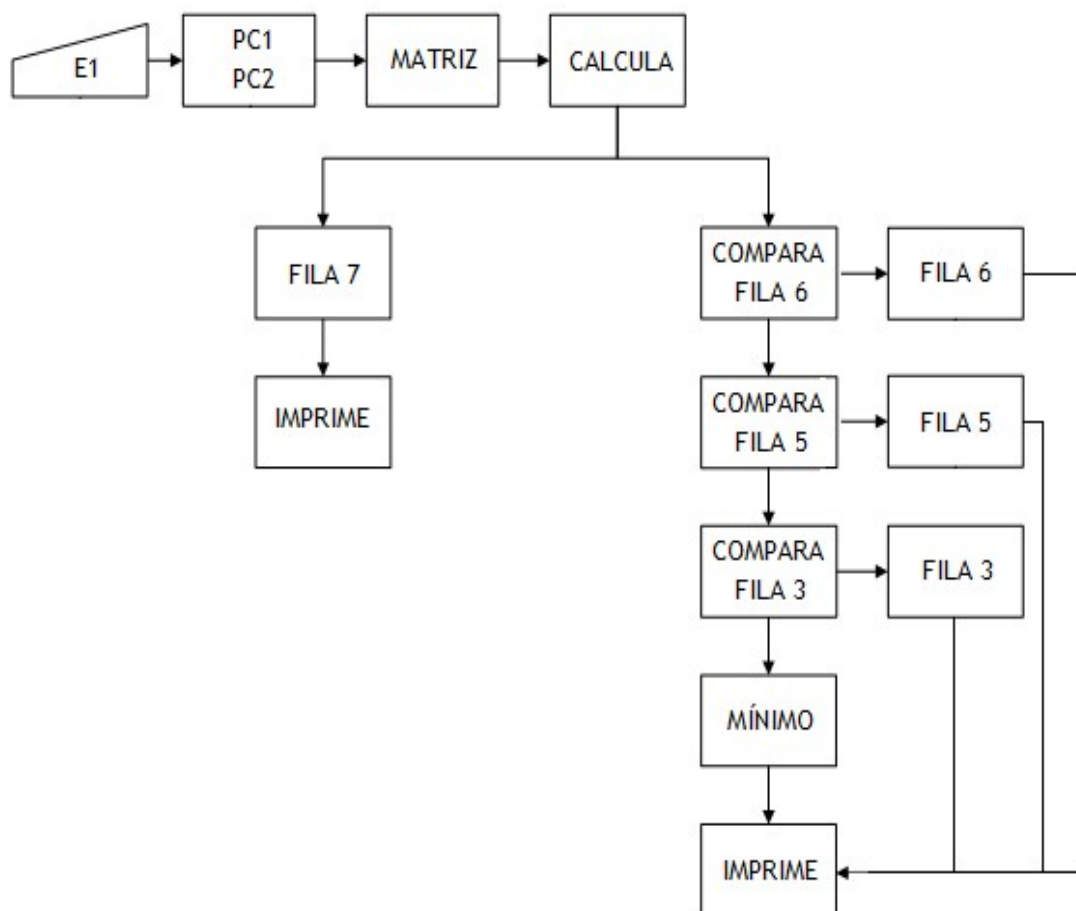


Figura 3.2- Caso 1: Esquema representativo da seleção da fila e posição a armazenar o RC

3.2.1.2 - Caso 2

Este segundo caso foi pensado com o intuito de o sistema estar o mais rapidamente possível disponível para colaborar com os pedidos de saídas do armazém, tentando dessa forma dar resposta a situações de picos de produção que possam existir, onde a necessidade de obter os produtos armazenados é de extrema importância.

Por conseguinte, este caso verifica-se quando é acionado o *buffer* E1 e o *buffer* E2 possui um número de três ou mais pedidos pendentes, sendo então escolhida uma posição para armazenamento vantajosa ao nível de entrada, isto é, dar prioridade a linhas com maior proximidade à posição inicial de entrada.

Através da Figura 3.3, podemos verificar que o processo de escolha da linha e da posição a armazenar principia quando o *buffer* E1 é requerido, procede-se à leitura das posições do carro 1 (PC1) e do carro 2 (PC2), seleciona-se a matriz de tempos proporcional à posição dos carros e é calculado o número de rotações a realizar por cada linha até a posição livre mais próxima da posição atual ser encontrada.

Considerando a disposição das linhas relativamente à posição inicial, foi definida a linha 1 como uma linha de elevado grau de preferência de armazenamento, seguida da linha 2, 3, 4, 6, 7 e finalizando com a linha 5 como a linha mais desfavorável para armazenamento nesta situação. Não esquecer que o número de rotações a realizar por cada linha poderá impor-se relativamente à preferência das linhas.

Quando o cálculo do número de rotações a realizar por cada linha é encontrado e vinculado ao seu respetivo tempo de armazenamento presente na matriz dos tempos, é apurado o valor mínimo entre os executáveis é impresso então a linha final e a referente posição a armazenar o RC.

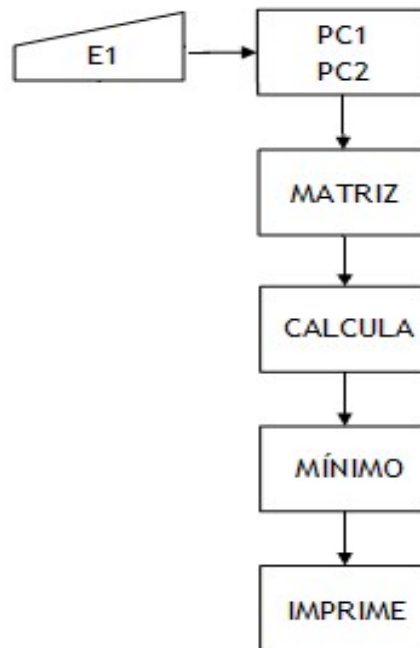


Figura 3.3- Caso 2: Esquema representativo da seleção da fila e posição a armazenar

3.2.2 - Entrada de RCs pelo *buffer* E2

No que diz respeito à entrada pelo *buffer* E2 criou-se um diagrama de blocos ilustrativo do algoritmo encontrado (Figura 3.4), contudo o processo começa quando se encontra um RC para entrar no *PN* através da mesa de entrada, essa indicação é dada pelo operador por intermédio do *buffer* E2.

Através do estado de decisão da fila e posição, que será posteriormente explicado pormenorizadamente com auxílio da Figura 3.5, é comunicado qual a linha e posição que o RC produzido irá ocupar no armazém e conseqüentemente o carro 2 movimenta-se até à mesa de entrada para seguidamente continuar o processo de armazenamento.

Dependendo da linha a depositar o RC o sistema elabora processos distintos, ou seja, se o rolo for colocado numa das linhas do mesmo lado da mesa de entrada, isto é, linhas 5, 6 ou 7 então o rolo calandrado dirige-se para o estado denominado de “fila X”, estado representativo das três linhas em questão, e portanto é instalado numa dessas linhas tornando o sistema apto para nova chamada.

Por sua vez, se o rolo for introduzido numa das linhas do lado oposto à entrada então o RC realizará o processo de mudança de ala, seguindo no carro 2 até à linha de transição (linha 6), onde é realizada a permutação de lado através do transferidor, passando a ser o carro 1 a completar o processo de armazenamento, levando o RC à linha e posição previamente selecionadas, sendo que esta passa por uma das linhas 1, 2, 3 ou 4, após este processo o sistema fica em repouso até ser acionado novamente algum dos *buffers* existentes, E1 ou E2.

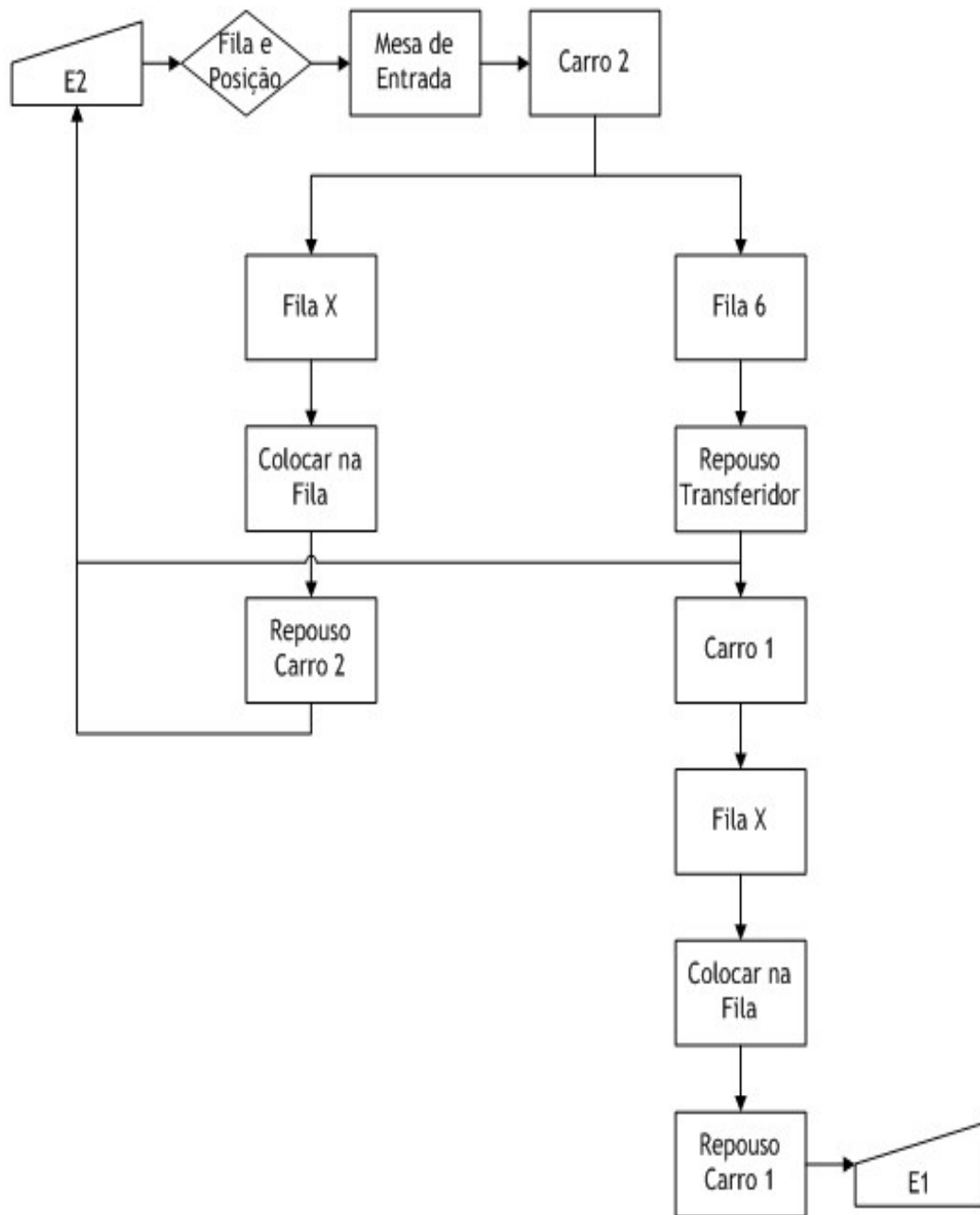


Figura 3.4- Representação do algoritmo de entrada de RCs provenientes da mesa de entrada

3.2.2.1 - Processo de Decisão de Linha e Posição a Armazenar RCs

Este estado de decisão visa seleccionar o lugar mais benéfico quer ao nível da entrada como também ao nível da saída do *PN*, já que existem interesses comuns, ou seja, como neste caso o local de entrada e o local de saída são próximos um do outro então em termos de preferência de linhas de armazenamento/remoção estão em consentimento, procurando sempre o processo mais rápido.

Este procedimento de decisão de linha e posição inicia-se assim que o *buffer* E2 é acionado implicando a escolha da matriz correspondente à leitura da posição de ambos os carros do *PN* (PC1 e PC2), como é possível visualizar através da Figura 3.5. É então calculado o número de rotações em cada linha até à posição livre mais próxima e selecionado, entre os valores correspondentes às rotações em cada linha, o valor mínimo. Posto isto, é comunicado qual a linha final e a respetiva posição para prosseguir o processo.

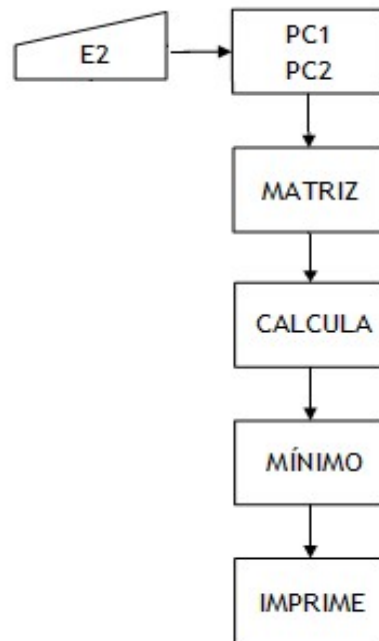


Figura 3.5- Esquema representativo da seleção da fila e posição a armazenar o RC

3.3 - Algoritmo de Saída de RCs do *PaterNoster*

O algoritmo de saída de rolos calandrados do *PaterNoster* é visto como um processo inviolável atendendo aos padrões de qualidade existentes na empresa.

Este algoritmo apresenta-se como uma restrição do sistema, sendo que independentemente do algoritmo de entrada, a saída de rolos tem obrigatoriamente que obedecer ao *FIFO* (*First In First Out*), ou seja, quando é solicitado a saída de um tipo de rolo calandrado previamente armazenado, o RC que irá proceder à saída tem de corresponder ao primeiro rolo desse tipo que deu entrada no *PN*, esteja este armazenado no local mais próximo e rápido da mesa de saída ou esteja armazenado num local longínquo e demorado.

Assim sendo, quando o *buffer* E2 comunica o pedido, é selecionado o rolo mais antigo em sistema correspondendo ao tipo de rolo pedido, e dependendo da linha que este se encontra os carros procedem à retirada do mesmo. Caso o RC se encontre depositado numa das linhas 5, 6 ou 7, o carro 2 vai diretamente a uma dessas linhas e encaminha o mesmo para a mesa de saída. Se o RC se encontrar numa das linhas 1, 2, 3 ou 4 então terá primeiramente que o carro 1 se deslocar a uma dessas linhas e através das linhas de transição (linha 3 e 6) e do transferidor,

passar o rolo para o carro 2 para que este conduza o RC até à mesa de saída, adquirindo o *PN* mais um lugar para um possível armazenamento.

Capítulo 4

Validação do Algoritmo

O presente capítulo tem a funcionalidade de validar o algoritmo elaborado e demonstrado no capítulo anterior.

Para tal, procedeu-se ao teste do mesmo num período de 24 horas, onde através do histórico do sistema foi possível, com auxílio do *Excel*, simular virtualmente a gestão da entrada e saída dos mesmos RCs mas obedecendo estes ao algoritmo teste e não ao algoritmo atual implementado na empresa.

Para a simulação do algoritmo foi eleito um dia pouco produtivo com a finalidade de atribuir maior credibilidade ao algoritmo produzido, uma vez que caso o dia escolhido correspondesse a um pico produtivo iria constatar-se certamente que os resultados obtidos eram sublimes em termos de entradas já que o sistema iria procurar sempre o lugar mais rápido para armazenar, não sendo apenas isso que se pretende pois é solicitado que o lugar a armazenar tenha também em consideração a posição da saída.

Em termos de monitorização dos processos de entrada e/ou saídas foi tomada a decisão de controlar cada processo a ocorrer individualmente ignorando o facto de estes processos conseguirem, por vezes, realizarem-se em simultâneo, dado que não tem relevância para a validação do algoritmo e torna-se mais perceptível o acompanhamento do processo.

4.1 - Levantamento de dados

Após a simulação do sistema com o algoritmo teste, foram retirados e analisados dados importantes referentes ao processo de entrada e saída de rolos, sendo que todos os dados apresentados na Tabela 4.1 encontram-se arredondados à unidade.

Tabela 4.1- Dados do algoritmo teste

Dados	
Número de Entradas	103 Rolos Calandrados
Número de Saídas	102 Rolos Calandrados
Tempo Médio de Entrada	141 Segundos
Tempo Médio de Saída	241 Segundos
Tempo Médio Processo	191 Segundos
Número Médio de Rotações	5 Rotações

4.2 - Comparação de dados

Para que realmente se perceba se o algoritmo encontrado é profícuo, procedeu-se ao confronto de informações relativas ao algoritmo efetivo com os dados obtidos virtualmente através do algoritmo teste.

Na Tabela 4.2, é possível verificar a demonstração dos resultados obtidos quando comparados os dois algoritmos em questão, tendo em conta que os dados expostos sofreram arredondamentos de uma casa decimal.

Tabela 4.2- Comparação de resultados

	Algoritmo existente	Algoritmo Teste	Porcentagem
Tempo Médio de Entrada	177,0 Segundos	140,9 Segundos	-20,4 %
Tempo Médio de Saída	231,9 Segundos	241,0 Segundos	+3,9 %
Tempo Médio Processo	204,3 Segundos	190,9 Segundos	-6,6 %
Número Médio de Rotações	7,9 Rotações	5,4 Rotações	-31,6 %

Com base na análise da tabela acima representada, sobressai o facto de os principais ganhos assentarem no tempo médio de entrada dos rolos calandrados, assim como no número de rotações que o sistema executa em ambos os processos de entrada e saída de RCs.

Como tal, de seguida será apresentada a Figura 4.1 que espelha as melhorias em termos de tempo de entrada de rolos calandrados no *PN*.

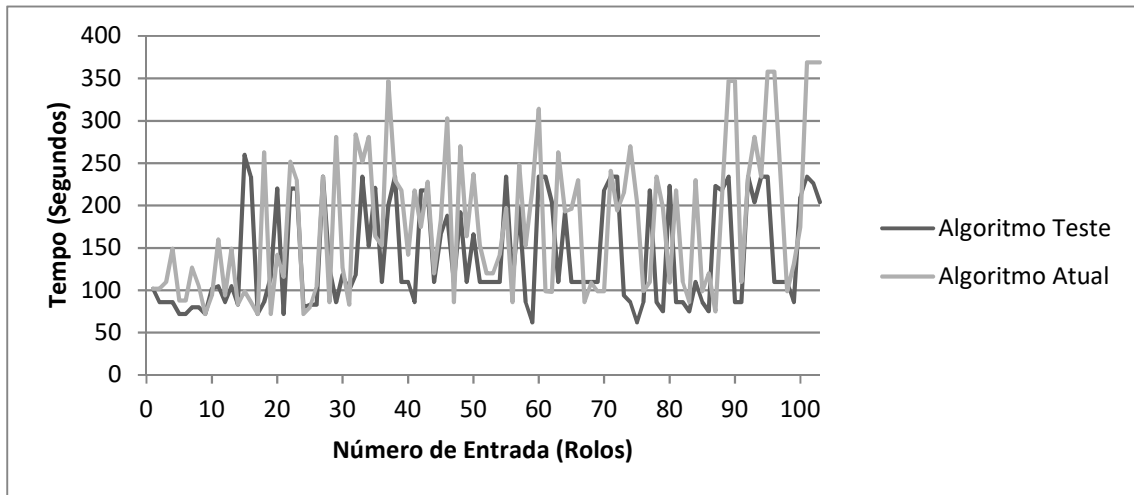


Figura 4.1- Gráfico relativo ao tempo de entrada dos rolos calandrados no PN

É notório na Figura 4.1 que o algoritmo a validar apresenta tendencialmente valores inferiores aos valores apresentados pelo algoritmo atual, que por sua vez exibe picos de tempo em algumas entradas de rolos calandrados.

Após análise dos dados retirados é viável afirmar que o algoritmo teste consegue uma redução de cerca de 20% em termos de tempo de entrada, correspondendo em média a uma diminuição de aproximadamente 36 segundos representando assim uma melhoria muito significativa e vantajosa.

Além do tempo, os recursos utilizados também foram considerados como objeto de estudo para a validação do algoritmo em diagnóstico. Por conseguinte a Figura 4.2 testemunha a minimização de recursos utilizados pelo algoritmo teste.

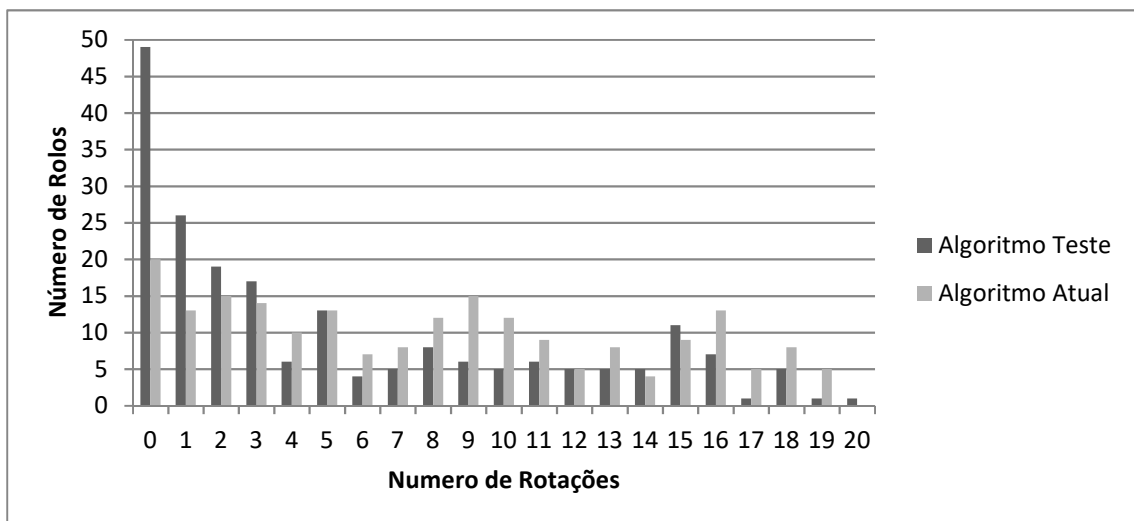


Figura 4.2 -Gráfico relativo ao número médio de rotações na entrada e saída de RCs

A Figura 4.2 salienta o facto de o valor nulo apresentar-se como o número mais recorrente no que diz respeito ao número de repetições que cada linha executa no algoritmo teste, , isto é explicado pelo aproveitamento do algoritmo de entrada quando sucede à saída de um RC, ou

seja, o algoritmo de entrada foi elaborado de forma a aproveitar os recursos que a saída explora aquando da saída de um produto, sendo que diversas vezes a posição exposta através do algoritmo de saída é aproveitada para armazenar uma nova entrada.

Quanto ao aumento, não muito significativo, do tempo médio de saída acontece devido à impossibilidade de prever o estado de cada linha no momento em que é realizado um pedido de saída de rolo e consequentemente se procede ao processo de remoção do RC, daí ser inviável tirar conclusões futuras acerca deste tempo médio, uma vez que se realizados diversos testes algorítmicos este valor pode variar significativamente podendo até apresentar melhorias, sendo assim o foco vai para o tempo médio de entrada e esse sim é certamente um dado de progresso e de validade do algoritmo proposto.

Posto isto, comprova-se a validação do algoritmo visto que este corresponde ao solicitado, verificando evoluções em termos de tempos de resposta do armazém no processo de introduzir/remover rolos calandrados do *PN*, implicando também a minimização da exploração dos recursos disponíveis.

Capítulo 5

Conclusão

O presente capítulo tem como finalidade retirar ilações e refletir sobre todo o trabalho realizado ao longo deste período de estágio na empresa Continental Mabor.

No decurso da elaboração do algoritmo final foram detetadas algumas adversidades ao sistema, provocando a alteração de premissas previamente consideradas para a execução do mesmo.

O confronto com o ambiente industrial praticado numa empresa multinacional é por si só um fator inovador e surpreendente que requer tempo de adaptação. Também aliado à monitorização de todas as movimentações possíveis em armazém torna o fator tempo um aspeto restritivo à exploração de conceitos.

No entanto, o resultado final vai de encontro aos objetivos propostos inicialmente, sendo inegável que o projeto preparado minimiza a utilização dos recursos existentes no armazém para a alocação/remoção dos rolos calandrados, principalmente ao nível dos processos de rotação que a gestão obriga, obtendo reduções na ordem dos 30%, um valor bastante considerável para uma empresa seriamente produtiva e competitiva.

Consequentemente, os tempos vinculados aos procedimentos de entrada/saída dos produtos provenientes das calandras foram diminuídos, melhorando assim a resposta do *PaterNoster*. Apresentando-se como uma evidente melhoria, mais concretamente uma diminuição de cerca de 7%, tendo em conta que num dia produtivo essa percentagem pode facilmente ser ainda mais expressiva.

Em suma, este projeto revelou-se um verdadeiro desafio desde o começo, provocando a saída da zona de conforto e apelando ao espírito crítico e ambicioso que um futuro engenheiro deve conter na resolução de problemas.

5.1 - Trabalhos Futuros

Apesar do trabalho realizado, no estudo e análise do funcionamento do armazém de rolos calandrados e na elaboração do algoritmo de gestão, ainda existem aspetos que podem ser melhorados.

Uma das tarefas a ser englobadas é a inclusão de um fator associado à inércia do sistema de rotação que provoca um maior esforço mecânico. Bem como um estudo energético de todos os procedimentos exequíveis.

Pode ser realizado um estudo de dimensionamento de todos os motores envolventes ao projeto, apresentando algumas retificações possíveis.

A criação de uma plataforma virtual de testes que retratasse todo o sistema de armazenamento, permitindo a exploração global de algoritmos teste efetuados é vista como o principal projeto a desenvolver com o intuito de alcançar a excelência na gestão do armazém de rolos calandrados.

Referências

- [1] Silva, José M. “Norma de Formatação e Orientações para a Escrita de Dissertações do MIEEC”, Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, Maio de 2013.
- [2] Brito, Bruno F.F. “*Design of an optimal controller with load compensation for transport in an industrial extrusion line*”, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Major Automação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Setembro de 2013.
- [3] Continental - A review of more than 140 years of dynamic development. Disponível em http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_en/themes/continental/history/. Acesso em Novembro de 2016.
- [4] Continental - Continental Mabor. Disponível em Intranet da Continental Mabor (acessível apenas para os colaboradores da empresa). Acesso em Novembro de 2016.
- [5] Espírito Santo, M. Sofia M.R. “Optimização de armazéns e fluxos na faurecia, assentos para automóvel lda.”, Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Setembro de 2008.
- [6] Logística/Gestão de Armazéns. Disponível em <https://goo.gl/AFU8Q6>. Acesso em Outubro de 2016.
- [7] *PaterGest* - Continental Mabor, Continental. Disponível em Intranet da Continental Mabor (acessível apenas a colaboradores da empresa com autorização). Acesso em Dezembro de 2016.

Anexos

Anexo I - Histórico de Entradas e Saídas do Algoritmo Teste

Tabela 3 - Anexo I: Histórico do algoritmo teste

Data	In/Out	Maquina	Hora	Posição C1	Posição C2	Estilo	Fila	Posição	Rotação
23/11/2016	OUT		8H18	L3	L5	MPS05	2	6	11
23/11/2016	OUT		8H22	L3	MS	R3002	6	17	4
23/11/2016	OUT		8H37	L3	L6	MHF015	5	26	11
23/11/2016	OUT		8H40	L3	MS	R1564	7	2	7
23/11/2016	OUT		9H01	L3	L5	MHF014	7	11	9
23/11/2016	OUT		9H14	L3	MS	MPO001	6	14	3
23/11/2016	OUT		9H17	L3	MS	MPS04	2	9	3
23/11/2016	OUT		9H23	L3	MS	MHF014	7	19	8
23/11/2016	OUT		9H38	L3	L7	NO3201	2	25	16
23/11/2016	OUT		9H45	L3	MS	NO3201	7	6	13
23/11/2016	IN	CAL2	10H06	L3	L5	P1365	7	6	0
23/11/2016	IN	CAL2	10H14	L3	L7	P1365	7	7	1
23/11/2016	IN	CAL2	10H26	L3	L7	P1365	7	9	2
23/11/2016	IN	CAL2	10H37	L3	L7	P1365	7	10	1
23/11/2016	OUT		10H45	L3	L7	MPS04	5	12	14
23/11/2016	IN	CAL2	10H49	L3	MS	P1365	7	11	1
23/11/2016	OUT		11H06	L3	L7	MPO001	7	15	4
23/11/2016	OUT		11H46	L3	MS	MPS04	6	22	8
23/11/2016	OUT		11H49	L3	MS	MHF014	5	13	1
23/11/2016	OUT		12H03	L3	MS	MPS04	6	24	2
23/11/2016	OUT		12H39	L3	MS	N0430	5	21	8
23/11/2016	OUT		12H44	L3	MS	P1365	7	6	9
23/11/2016	OUT		12H51	L3	MS	MPS05	5	6	15
23/11/2016	OUT		13H09	L3	MS	P1370	1	9	12
23/11/2016	OUT		14H06	L3	MS	MPS04	4	28	14
23/11/2016	OUT		14H09	L3	MS	MHF014	1	12	3
23/11/2016	OUT		14H15	L3	MS	MPS05	4	17	11
23/11/2016	OUT		14H24	L3	MS	MPS04	4	2	15
23/11/2016	OUT		14H28	L3	MS	MPS04	1	7	5
23/11/2016	OUT		14H32	L3	MS	MPS04	1	4	3
23/11/2016	OUT		14H36	L3	MS	MPS04	4	7	5
23/11/2016	IN	CAL2	14H37	L3	MS	P1319	7	6	0
23/11/2016	OUT		14H40	L3	L7	MHF014	1	34	8

32 Anexos

23/11/2016	OUT		14H49	L3	MS	P1365	1	24	10
23/11/2016	IN	CAL2	15H03	L3	MS	P1319	6	24	0
23/11/2016	OUT		15H09	L3	L6	MPS04	1	19	5
23/11/2016	OUT		16H58	L3	MS	P1319	4	5	2
23/11/2016	IN	CAL2	17H03	L3	MS	P1370	6	22	2
23/11/2016	OUT		17H09	L3	L6	P1365	7	7	1
23/11/2016	IN	CAL2	17H12	L3	MS	P1370	7	7	0
23/11/2016	IN	CAL2	17H14	L3	L7	P1377	5	6	0
23/11/2016	IN	CAL2	17H22	L3	L5	P1370	7	2	5
23/11/2016	IN	CAL2	17H24	L3	L7	P1370	7	1	1
23/11/2016	IN	CAL2	17H32	L3	L7	P1370	6	17	5
23/11/2016	OUT		17H37	L3	L6	R1564	4	25	18
23/11/2016	IN	CAL2	17H39	L3	MS	P1370	6	14	3
23/11/2016	IN	CAL1	17H42	L3	L6	N0430	5	12	6
23/11/2016	OUT		17H45	L3	L5	P1319	1	30	11
23/11/2016	IN	CAL1	17H49	L3	MS	N0430	5	13	1
23/11/2016	OUT		18H02	L3	L5	P1365	7	9	8
23/11/2016	IN	CAL2	18H04	L3	MS	P1370	7	9	0
23/11/2016	IN	CAL1	18H05	L3	L7	N0430	1	30	0
23/11/2016	OUT		18H06	L1	L7	R1564	1	33	3
23/11/2016	IN	CAL2	18H09	L3	MS	P1370	7	15	6
23/11/2016	IN	CAL1	18H13	L3	L7	N0430	7	16	1
23/11/2016	OUT		18H17	L3	L7	MPO001	4	10	15
23/11/2016	IN	CAL2	18H22	L3	MS	P1370	7	18	2
23/11/2016	IN	CAL1	18H25	L3	L7	N0430	7	19	1
23/11/2016	IN	CAL1	18H55	L3	L7	N0430	7	22	3
23/11/2016	OUT		19H00	L3	L7	P1370	6	22	8
23/11/2016	OUT		19H03	L3	MS	MPS04	4	32	16
23/11/2016	IN	CAL2	19H09	L3	MS	P1365	6	22	0
23/11/2016	OUT		19H19	L3	L6	MHF014	3	21	19
23/11/2016	IN	CAL2	19H26	L3	MS	P1365	7	25	3
23/11/2016	OUT		19H29	L3	L7	MPS04	1	23	10
23/11/2016	IN	CAL2	19H31	L3	MS	P1365	7	28	3
23/11/2016	OUT		19H36	L3	L7	P1319	3	37	16
23/11/2016	IN	CAL1	19H46	L3	MS	MPO001	7	32	4
23/11/2016	IN	CAL2	19H50	L3	L7	P1365	5	18	5
23/11/2016	IN	CAL1	19H55	L3	L5	MPO001	1	23	0
23/11/2016	IN	CAL2	19H57	L1	L5	P1365	5	21	3
23/11/2016	OUT		19H58	L1	L5	MHF014	2	12	13
23/11/2016	IN	CAL2	20H02	L3	MS	P1365	5	24	3
23/11/2016	IN	CAL2	20H09	L3	L5	P1365	5	26	2
23/11/2016	OUT		20H14	L3	L5	MPS05	1	15	8
23/11/2016	IN	CAL1	20H48	L3	MS	MPO001	5	28	2

Histórico de Entradas e Saídas do Algoritmo Teste 33

23/11/2016	IN	CAL2	20H51	L3	L5	P1370	5	35	7
23/11/2016	IN	CAL1	20H54	L3	L5	MPO001	5	38	3
23/11/2016	IN	CAL1	21H00	L3	L5	MPO001	3	37	0
23/11/2016	IN	CAL2	21H04	L3	L5	P1365	3	35	2
23/11/2016	OUT		21H07	L3	L6	R3002	4	3	9
23/11/2016	OUT		21H11	L3	MS	P1319	7	6	12
23/11/2016	IN	CAL1	21H11	L3	MS	MPO001	7	6	0
23/11/2016	OUT		21H14	L3	L7	MPS04	4	12	9
23/11/2016	IN	CAL1	21H30	L3	MS	MPO001	3	32	3
23/11/2016	IN	CAL1	21H31	L3	MS	MPO001	3	29	3
23/11/2016	OUT		21H33	L3	MS	MPS04	1	5	10
23/11/2016	OUT		21H37	L3	MS	R1564	6	18	15
23/11/2016	IN	CAL1	21H41	L3	MS	MPO001	1	5	0
23/11/2016	OUT		21H45	L1	MS	MPS05	1	25	18
23/11/2016	OUT		21H51	L3	MS	MPS04	4	34	16
23/11/2016	OUT		21H54	L3	MS	MPS05	3	12	17
23/11/2016	IN	CAL1	21H59	L3	MS	MPO001	6	18	0
23/11/2016	OUT		22H03	L3	L6	R1564	6	10	8
23/11/2016	IN	CAL1	22H12	L3	MS	MPO001	6	10	0
23/11/2016	OUT		22H15	L3	L6	MPS04	1	2	15
23/11/2016	IN	CAL1	22H20	L3	MS	MPO001	3	12	0
23/11/2016	IN	CAL2	22H22	L3	MS	P1365	3	13	1
23/11/2016	IN	CAL2	22H27	L3	L6	P1365	3	14	1
23/11/2016	IN	CAL1	22H30	L3	L6	MPO001	3	16	2
23/11/2016	IN	CAL2	22H33	L3	L6	P1319	3	18	2
23/11/2016	OUT		22H34	L3	L6	R3002	1	27	13
23/11/2016	IN	CAL1	22H38	L3	MS	MPO001	3	20	2
23/11/2016	IN	CAL2	22H41	L3	MS	P1319	3	21	1
23/11/2016	IN	CAL1	22H44	L3	L6	MPO001	3	22	1
23/11/2016	IN	CAL1	22H46	L3	L6	MPO001	3	24	2
23/11/2016	OUT		22H47	L3	L6	MPS04	1	36	9
23/11/2016	IN	CAL1	22H54	L3	MS	MPO001	3	26	2
23/11/2016	IN	CAL1	23H03	L3	MS	MPO001	3	27	1
23/11/2016	OUT		23H04	L3	MS	MHF014	7	24	18
23/11/2016	IN	CAL1	23H11	L3	MS	P1319	7	24	0
23/11/2016	IN	CAL1	23H15	L3	L7	P1319	3	28	1
23/11/2016	IN	CAL2	23H18	L3	L7	P1319	4	34	0
23/11/2016	OUT		23H20	L4	L6	MPS04	2	11	1
23/11/2016	IN	CAL1	23H24	L3	MS	MPO001	1	36	0
23/11/2016	IN	CAL1	23H28	L1	MS	MPO001	1	37	1
23/11/2016	OUT		23H30	L1	MS	MPS04	3	5	15
23/11/2016	OUT		23H39	L3	MS	R1564	7	12	12
23/11/2016	OUT		23H40	L3	MS	P1365	7	10	2

34 Anexos

23/11/2016	OUT		23H43	L3	MS	P1319	6	24	14
23/11/2016	IN	CAL1	23H45	L3	MS	MPO001	7	10	0
23/11/2016	OUT		23H47	L3	L7	N0430	3	1	4
23/11/2016	IN	CAL1	00H03	L3	MS	MPO001	7	12	2
24/11/2016	IN	CAL1	00H09	L3	L7	MPO001	6	24	0
24/11/2016	IN	CAL1	00H11	L3	L6	MPO001	3	1	0
24/11/2016	IN	CAL2	00H11	L3	L6	P1319	3	3	2
24/11/2016	IN	CAL1	00H14	L3	L6	MPO001	3	5	2
24/11/2016	IN	CAL1	00H19	L3	L6	MPO001	3	10	5
24/11/2016	IN	CAL1	00H25	L3	L6	MPO001	3	11	1
24/11/2016	OUT		00H30	L3	L6	MHF014	3	6	5
24/11/2016	IN	CAL1	00H34	L3	MS	MPO001	3	6	0
24/11/2016	OUT		00H39	L3	MS	MPS04	3	8	2
24/11/2016	IN	CAL1	00H53	L3	MS	MPO001	3	8	0
24/11/2016	OUT		01H00	L3	MS	R1564	6	31	7
24/11/2016	IN	CAL1	01H02	L3	MS	MPO001	6	31	0
24/11/2016	OUT		01H04	L3	L6	P1365	7	11	1
24/11/2016	OUT		01H10	L3	MS	NO3201	1	26	11
24/11/2016	IN	CAL1	01H16	L3	MS	MPO001	7	11	0
24/11/2016	OUT		01H17	L3	L7	NO3201	6	7	15
24/11/2016	OUT		01H22	L3	MS	P1370	7	7	4
24/11/2016	IN	CAL1	01H24	L3	MS	MPO001	7	7	0
24/11/2016	IN	CAL2	01H33	L3	L7	P1319	6	7	0
24/11/2016	IN	CAL1	01H38	L3	L6	MPO001	1	26	0
24/11/2016	IN	CAL1	01H44	L1	L6	MPO001	1	27	1
24/11/2016	OUT		01H46	L1	L6	MPS04	1	13	14
24/11/2016	IN	CAL1	01H49	L3	MS	MPO001	1	13	0
24/11/2016	OUT		01H58	L1	MS	P1365	6	22	15
24/11/2016	IN	CAL1	01H59	L3	MS	MPO001	6	22	0
24/11/2016	IN	CAL1	02H11	L3	L6	MPO001	1	12	1
24/11/2016	IN	CAL1	02H18	L1	L6	MPO001	2	11	0
24/11/2016	OUT		02H26	L2	L6	P1370	7	2	5
24/11/2016	IN	CAL1	02H28	L2	MS	MPO001	7	2	0
24/11/2016	OUT		02H30	L3	L7	MPS05	1	18	6
24/11/2016	IN	CAL1	02H39	L3	MS	MPO001	1	18	0
24/11/2016	OUT		02H43	L1	MS	MPS04	2	36	13
24/11/2016	IN	CAL1	02H47	L3	MS	MPO001	1	19	1
24/11/2016	IN	CAL1	02H55	L1	MS	MPO001	2	36	0
24/11/2016	OUT		02H58	L2	MS	MPS04	3	9	1
24/11/2016	IN	CAL1	03H05	L3	MS	MPO001	3	9	0
24/11/2016	IN	CAL1	03H15	L3	MS	MPO001	1	17	2
24/11/2016	IN	CAL1	03H24	L1	MS	MPO001	2	35	1
24/11/2016	OUT		03H33	L2	MS	P1365	7	25	16

Histórico de Entradas e Saídas do Algoritmo Teste 35

24/11/2016	IN	CAL1	03H34	L2	MS	MPO001	7	25	0
24/11/2016	OUT		03H35	L3	L7	MPS04	6	26	4
24/11/2016	IN	CAL1	03H45	L3	MS	MPO001	6	26	0
24/11/2016	OUT		03H46	L3	L6	MPS04	1	16	1
24/11/2016	OUT		03H54	L3	MS	P1370	7	1	15
24/11/2016	IN	CAL1	04H00	L3	MS	MPO001	7	1	0
24/11/2016	IN	CAL1	04H04	L3	L7	MPO001	1	16	0
24/11/2016	OUT		04H11	L1	L7	P1457	1	6	10
24/11/2016	IN	CAL1	04H26	L3	MS	MPO001	1	6	0
24/11/2016	OUT		04H32	L1	MS	MHF014	7	35	5
24/11/2016	OUT		04H35	L1	MS	MPS04	2	13	16
24/11/2016	OUT		04H41	L3	MS	P1365	7	28	7
24/11/2016	OUT		05H05	L3	MS	R1564	7	23	5
24/11/2016	OUT		05H13	L3	MS	P1370	6	17	9
24/11/2016	OUT		05H20	L3	MS	MPS04	7	5	18
24/11/2016	OUT		05H24	L3	MS	MPS04	2	3	10
24/11/2016	OUT		05H28	L3	MS	MPS04	3	36	11
24/11/2016	IN	CAL1	05H35	L3	MS	NO3201	7	5	0
24/11/2016	IN	CAL1	05H45	L3	L7	NO3201	6	17	0
24/11/2016	OUT		05H51	L3	L6	P1365	5	18	20
24/11/2016	IN	CAL1	05H53	L3	MS	NO3201	5	18	0
24/11/2016	OUT		06H01	L3	L5	MPS05	2	8	5
24/11/2016	OUT		06H12	L3	MS	P1319	3	18	18
24/11/2016	OUT		06H19	L3	MS	MHF014	7	8	3
24/11/2016	OUT		06H25	L3	MS	MPS04	1	20	14
24/11/2016	IN	CAL1	06H26	L3	MS	NO3201	7	8	0
24/11/2016	OUT		06H29	L3	L7	MPS04	2	2	6
24/11/2016	OUT		06H35	L3	MS	P1319	3	21	3
24/11/2016	OUT		06H47	L3	MS	MHF015	1	32	12
24/11/2016	IN	CAL1	06H48	L3	MS	R1564	3	21	0
24/11/2016	IN	CAL1	07H03	L3	MS	R1564	3	18	3
24/11/2016	OUT		07H04	L3	MS	NO3201	3	31	13
24/11/2016	IN	CAL1	07H08	L3	MS	R1564	3	31	0
24/11/2016	OUT		07H10	L3	MS	MPS04	3	38	7
24/11/2016	IN	CAL1	07H18	L3	MS	R1564	1	32	0
24/11/2016	OUT		07H20	L1	MS	P1319	7	24	16
24/11/2016	OUT		07H25	L1	MS	P1377	5	6	12
24/11/2016	IN	CAL1	07H26	L1	MS	R1564	7	24	0
24/11/2016	OUT		07H29	L3	L7	P1365	5	21	15
24/11/2016	OUT		07H36	L3	MS	MPS05	6	32	15
24/11/2016	IN	CAL1	07H41	L3	MS	R1564	7	23	1
24/11/2016	IN	CAL1	07H54	L3	L7	R1564	7	28	5
24/11/2016	IN	CAL1	08H02	L3	L7	R1564	6	32	0

Anexo II - Tempos dos Movimentos no Processo de Entrada

Tabela 4 - Anexo II: Exemplo de uma das matrizes criadas para a elaboração do algoritmo teste

PC1 / PC2																					
L1 / MS																					
CAL1	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
L1	62	62	75	87	98	109	120	131	142	153	164	175	186	197	208	219	230	241	252	263	-
L2	75	75	75	87	98	109	120	131	142	153	164	175	186	197	208	219	230	241	252	263	-
L3	86	86	86	87	98	109	120	131	142	153	164	175	186	197	208	219	230	241	252	263	-
L4	96	96	96	96	98	109	120	131	142	153	164	175	186	197	208	219	230	241	252	263	-
L5	210	210	210	210	210	223	236	249	262	275	288	301	314	327	340	353	366	379	392	405	418
L6	194	194	194	194	194	202	213	224	235	246	257	268	279	290	301	312	323	334	345	356	-
L7	210	210	210	210	210	210	213	224	235	246	257	268	279	290	301	312	323	334	345	356	-

Anexo III - Tempos do Carro 1

Tabela 5 - Anexo III: Exemplo de matriz dos tempos associados ao carro 1

CARRO 1	TEMPOS (s)	PI	L1	L2	L3 (Ligação)	L4
	PI	0	16	29	40	50
L1	16	0	17	30	40	
L2	29	17	0	17	29	
L3 (Ligação)	40	30	17	0	17	
L4	50	40	29	17	0	