



**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**

**LICENCIATURA EM ENGENHARIA  
ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES**

**ARAUTO  
ARMAZÉNS AUTOMÁTICOS  
*SOFTWARE***

*RELATÓRIO*

**TRABALHO FINAL DE CURSO**  
NUNO FILIPE VAZ PESTANA, Nº 42540

LISBOA, NOVEMBRO DE 2001



**Orientadores:**

Professor Carlos Filipe Gomes Bispo – Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores – Instituto Superior Técnico

Professor Luís Manuel Marques Custódio – Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores – Instituto Superior Técnico



---

**Agradecimentos:**

Aos professores Luís Custódio e Carlos Bispo pelo apoio dada na realização do trabalho.

Ao Marco e ao Sérgio, companheiros nesta aventura, pela troca de ideias, colaboração e pelas longas horas de trabalho e convívio que passámos juntos.

Ao Manel pelas opiniões que sempre esteve disposto a dar.

À minha família, principalmente aos meus pais, pelo esforço que sempre fizeram para que eu atingisse esta meta.



---

**Resumo:**

Neste trabalho foi desenvolvida uma arquitectura de software que permite o funcionamento de um armazém automático. Esta arquitectura é distribuída e a informação sobre a localização das prateleiras, paletes e produtos é guardada numa base de dados.

Foram desenvolvidos métodos de decisão para a entrada e saída de produtos e ainda para a escolha do pedido a ser atendido.

Foram efectuados testes com os diversos métodos usados.

**Palavras Chave:**

Armazém Automático, Arquitectura de Software, Métodos de Decisão, Base de Dados, Simulador, Trajectórias



# ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. O AMBIENTE.....	3
2.1. O ARMAZÉM .....	3
2.2. A GRUA .....	5
2.3. PALETES.....	6
2.3.1. Configuração.....	6
2.3.2. Arrumação .....	7
2.4. PRODUTOS.....	7
3. ARQUITECTURA DE SOFTWARE .....	8
3.1. MÓDULOS .....	8
3.2. COMUNICAÇÃO .....	8
3.2.1. Entre Módulos.....	8
3.2.2. Com a Grua .....	9
3.3. BASE DE DADOS.....	9
3.4. ESQUEMA GLOBAL.....	10
4. SERVIDOR .....	11
4.1. GESTOR DA BASE DE DADOS.....	11
4.1.1. Início de Actividade do Armazém .....	11
4.1.2. Actualizações .....	11
4.2. SERVIDOR DE COMUNICAÇÕES.....	11
4.3. GESTOR DE PEDIDOS .....	12
4.3.1. Pedidos de Entrada.....	12
4.3.2. Pedidos de Saída .....	13
4.3.3. Pedidos de Reentrada.....	14
4.3.4. Execução de Pedidos .....	14
4.3.5. Conclusão da Execução de Pedidos .....	14
4.4. DECISOR.....	15
4.5. GERADOR DE TRAJECTÓRIAS .....	15
5. SIMULADOR .....	16
5.1. MODELO TRIDIMENSIONAL .....	16
5.2. FUNCIONAMENTO.....	17



5.2.1. Simulador ou Monitor.....	17
5.2.2. Entrada e Saída de Produtos .....	17
6. INTERFACE DE PEDIDOS .....	18
6.1. INFORMAÇÃO DISPONÍVEL .....	18
6.2. PEDIDOS DE ENTRADA .....	18
6.2.1. Entrada de Palete com Produtos .....	18
6.2.2. Entrada de Palete com Produtos sem Decisão .....	18
6.3. PEDIDOS DE SAÍDA .....	19
6.3.1. Saída baseada na Categoria e Estado dos Produtos .....	19
6.3.2. Saída de Produto Específico .....	19
6.3.3. Saída de Palete .....	19
6.4. PEDIDOS DE REENTRADA .....	20
6.4.1. Depois da saída de produtos .....	20
6.4.2. Durante a entrada de produtos .....	20
7. CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA .....	21
7.1. FUNCIONAMENTO EM MODO TESTE .....	21
7.2. FUNCIONAMENTO EM MODO NORMAL.....	21
7.3. MAPEAMENTO DE VALORES.....	22
8. TRAJECTÓRIAS .....	24
8.1. PONTOS DE VIA PARA ENTRADA DE PALETE .....	24
8.2. PONTOS DE VIA PARA SAÍDA DE PALETE.....	26
9. MÉTODOS DE DECISÃO .....	30
9.1. ENTRADA DE PRODUTOS .....	30
9.1.1. Aleatório .....	30
9.1.2. Distância Percorrida.....	30
9.1.3. Novos Métodos .....	31
9.2. SAÍDA DE PRODUTOS.....	32
9.2.1. Aleatório .....	32
9.2.2. Distância à Saída.....	32
9.2.3. Antiguidade.....	32
9.2.4. Novos Métodos .....	33
9.3. ESCOLHA DO PEDIDO SEGUINTE.....	33



9.3.1. Aleatório .....	33
9.3.2. Distância à Entrada .....	33
9.3.3. Distância ao Próximo Pedido.....	33
9.3.4. Maior Número de Pedidos .....	34
9.3.5. Novos Métodos .....	34
10. TESTES.....	35
10.1. EFEITO DA POSIÇÃO DO CORREDOR PRINCIPAL.....	35
10.2. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE DECISÃO PARA ENTRADA DE PRODUTOS .....	36
10.2.1. Entrada de 80 paletes .....	36
10.2.2. Influência do método de entrada na saída de produtos .....	38
10.3. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE DECISÃO PARA SAÍDA DE PRODUTOS.....	41
10.3.1. Saída de 80 paletes (Armazém cheio com método de decisão “Aleatório”) ...	41
10.3.2. Saída de 80 paletes (Armazém cheio com método de decisão “Distância ao Ponto de Entrada”).....	42
10.4. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE DECISÃO PARA ESCOLHA DO PEDIDO SEGUINTE..	43
10.5. VARIAÇÃO DOS PESOS ATRIBUÍDOS AOS GRAUS .....	45
10.5.1. Custo X .....	46
10.5.2. Custo Y .....	47
10.5.3. Custo Z.....	48
10.5.4. Custo R .....	49
11. CONCLUSÃO.....	52
ANEXO A. TABELAS DA BASE DE DADOS .....	55
A.1. TABELA [SHELVES] .....	55
A.2. TABELA [HOLDERS] .....	56
A.3. TABELA [PRODUCTS] .....	57
A.4. TABELA [CATEGORIES] .....	57
A.5. TABELA [ENTRANCES] .....	58
A.6. TABELA [DESIGN] .....	58
ANEXO B. MENSAGENS ENTRE MÓDULOS.....	60
B.1. DA INTERFACE DE PEDIDOS PARA O SERVIDOR .....	61
B.1.1. Ligação ao Servidor Concluída.....	61
B.1.2. Entrada de Palete .....	61
B.1.3. Entrada de Palete sem Decisão.....	61



B.1.4. Reentrada de Palete .....	61
B.1.5. Saída de Palete Baseada em Categoria e Estado .....	61
B.1.6. Saída de Palete Baseada na Identificação da Palete .....	62
B.1.7. Saída de Palete Baseada na Identificação do Produto .....	62
B.2. DO SERVIDOR PARA A INTERFACE DE PEDIDOS .....	62
B.2.1. Actualizar .....	62
B.2.2. Conclusão da Entrada de Produtos .....	62
B.2.3. Conclusão da Saída de Produtos .....	62
B.2.4. Erro na Entrada de Palete .....	62
B.2.5. Erro na Entrada de Palete sem Decisão .....	62
B.2.6. Erro na Reentrada de Palete .....	62
B.2.7. Erro na Saída de Palete Baseada em Categoria e Estado .....	62
B.2.8. Erro na Saída de Palete Baseada na Identificação da Palete .....	62
B.2.9. Erro na Saída de Palete Baseada na Identificação do Produto .....	62
B.3. DO SERVIDOR PARA O CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA .....	62
B.3.1. Pedido de Posição da Grua .....	62
B.3.2. Envio de Pontos de Via para Entrada de Palete .....	63
B.3.3. Envio de Pontos de Via para Saída de Palete .....	63
B.4. DO SERVIDOR PARA O SIMULADOR .....	63
B.4.1. Acerto da Posição Inicial da Grua .....	63
B.4.2. Envio de Pontos de Via para Entrada de Palete .....	63
B.4.3. Envio de Pontos de Via para Saída de Palete .....	63
B.5. DO CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA PARA O SERVIDOR .....	63
B.5.1. Informação da Posição da Grua .....	63
B.5.2. Conclusão da Entrada de Palete .....	63
B.5.3. Informação da Posição da Grua .....	63
B.6. DO SIMULADOR PARA O SERVIDOR .....	63
B.6.1. Informação da Posição da Grua .....	63
B.6.2. Conclusão da Entrada de Palete .....	64
B.6.3. Informação da Posição da Grua .....	64
ANEXO C. MENSAGENS PARA A GRUA .....	65
C.1. TPMPC .....	65
C.2. TSPCB .....	65





C.3. TDSSP .....	65
C.4. TDRSP.....	66
C.5. CALIBRATE.....	66
C.6. GoToPos .....	66
C.7. GETPos .....	66
C.8. GETPosL.....	67
ANEXO D. MANUAL DO UTILIZADOR.....	68
D.1. CONFIGURAÇÃO DA BASE DE DADOS .....	68
D.2. SERVIDOR .....	70
D.3. SIMULADOR.....	75
D.4. INTERFACE DE PEDIDOS .....	78
D.4.1. Inicialização .....	78
D.4.2. Visualização de Informações .....	79
D.4.3. Pedidos de Entrada.....	80
D.4.4. Pedidos de Saída .....	82
D.4.5. Pedidos de Reentrada .....	82
D.5. CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA .....	83
ANEXO E. MANUAL DO PROGRAMADOR.....	86
E.1. ADIÇÃO DE MÉTODOS DE DECISÃO .....	86
E.1.1. Métodos de Entrada.....	86
E.1.2. Métodos de Saída .....	86
E.1.3. Métodos de Escolha do Próximo Pedido.....	87
E.2. MODIFICAÇÃO DAS TRAJECTÓRIAS.....	88



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Vista de cima do armazém. ....	4
Figura 2.2 – Sistema de coordenadas do armazém.....	4
Figura 2.3 – Vista da grua (obtida no simulador).....	5
Figura 2.4 – Configuração das paletes.....	6
Figura 2.5 – Paleta com produtos. ....	6
Figura 3.1 – Esquema global da Arquitectura de Software. ....	10
Figura 8.1 – Trajectória de entrada de paleta. ....	25
Figura 8.2 – Representação gráfica da grua nos diversos pontos de via (entrada de paleta). ..	26
Figura 8.3 – Trajectória de Saída de Paleta. ....	27
Figura 8.4 – Representação gráfica da grua nos diversos pontos de via (saída de paleta). .....	29
Figura 10.1 – Diferentes posições do corredor principal do armazém. ....	35
Figura 10.2 – Estado final do armazém após entrada de 80 paletes usando diferentes métodos de entrada.....	37
Figura 10.3 – Estado final do armazém após a saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Aleatório”).....	42
Figura 10.4 – Estado final do armazém após a saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Distância ao Ponto de Entrada”).	43
Figura 10.5 –Variação do número de pedidos usando o método “Aleatório”. ....	44
Figura 10.6 –Variação do número de pedidos usando o método “Distância à Entrada”. ....	44
Figura 10.7 –Variação do número de pedidos usando o método “Maior Número de Pedidos”. ....	44
Figura 10.8 – Influência da variação do custo X no estado final do armazém após entrada de 80 paletes. ....	46
Figura 10.9 – Influência da variação do custo Y no estado final do armazém após entrada de 80 paletes. ....	47
Figura 10.10 – Influência da variação do custo Z no estado final do armazém após entrada de 80 paletes. ....	48
Figura 10.11 – Influência da variação do custo R no estado final do armazém após entrada de 80 paletes. ....	50
Figura 10.12 – Influência da variação do custo R no estado final do armazém após saída de 80 paletes. ....	51
Figura A.1 – Configuração das paletes.....	56



Figura D.1 – Ícone da ferramenta de administração <i>Data Sources (ODBC)</i> .....	68
Figura D.2 – Escolha do tipo de DSN para a base de dados .....	68
Figura D.3 – Escolha do <i>driver</i> da base de dados .....	69
Figura D.4 – Definição do nome e caminho da base de dados.....	69
Figura D.5 – Procura do caminho da base de dados.....	70
Figura D.6 – Estado final da configuração da base de dados .....	70
Figura D.7 – Ícone do programa <i>Servidor</i> .....	71
Figura D.8 – Configuração dos portos de ligação e do número máximo de ligações .....	71
Figura D.9 – Configuração da posição inicial da grua .....	71
Figura D.10 – Aspecto geral do <i>Servidor</i> .....	72
Figura D.11 – Configuração de parâmetros genéricos .....	72
Figura D.12 – Escolha dos métodos de decisão .....	73
Figura D.13 – Definição dos parâmetros de decisão .....	73
Figura D.14 – Selecção da base de dados.....	74
Figura D.15 – Confirmação da reinicialização da base de dados .....	74
Figura D.16 – Informações sobre Descrição da distância total percorrida pela grua.....	75
Figura D.17 – Ícone do programa <i>Simulador</i> .....	75
Figura D.18 – Configuração da ligação ao servidor.....	75
Figura D.19 – Aspecto global da interface gráfica do <i>Simulador</i> .....	76
Figura D.20 – Configuração de parâmetros da simulação.....	76
Figura D.21 – Escolha do caminho para o ficheiro a gravar .....	78
Figura D.22 – Ícone do programa <i>Interface de Pedidos</i> .....	78
Figura D.23 – Configuração da ligação ao <i>Servidor</i> .....	78
Figura D.24 – Aspecto global do programa <i>Interface de Pedidos</i> .....	79
Figura D.25 – Visualização das categorias.....	79
Figura D.26 – Visualização dos produtos disponíveis .....	80
Figura D.27 – Botão de Actualização dos dados.....	80
Figura D.28 – Selecção de actualização automática.....	80
Figura D.29 – Visualização da última mensagem enviada ao <i>Servidor</i> .....	80
Figura D.30 – Escolha de pedidos de entrada .....	81
Figura D.31 – Confirmação de palete preparada para entrar.....	81
Figura D.32 – Escolha de pedidos de saída .....	82
Figura D.33 – Reintrodução de palete .....	82
Figura D.34 – Ícone do programa <i>Controlador Global da Grua</i> .....	83



Figura D.35 – Configuração da ligação ao <i>Servidor</i> e do modo de funcionamento do programa .....	83
Figura D.36 – Selecção da porta série a usar.....	83
Figura D.37 – Janela principal do programa .....	84
Figura D.38 – Configuração do posicionamento dos sensores.....	84
Figura D.39 – Janela de comunicação em modo teste com a grua.....	85
Figura D.40 – Definição da posição .....	85



## LISTA DE TABELAS

Tabela 10.1 – Distância percorrida na entrada de paletes com diferentes configurações. ....	35
Tabela 10.2 – Distância percorrida na saída de paletes com diferentes configurações.....	36
Tabela 10.3 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes usando diferentes métodos de entrada. ....	36
Tabela 10.4 – Distância percorrida para retirar 50 paletes pela mesma entrada (após entrada de 80 paletes).....	38
Tabela 10.5 – Distância percorrida para retirar 50 paletes pela outra entrada (após entrada de 80 paletes).....	39
Tabela 10.6 – Distância percorrida para retirar 25 paletes por cada uma das entradas (após entrada de 80 paletes) .....	40
Tabela 10.7 – Distâncias percorridas e antiguidade média na saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Aleatório”). ..	41
Tabela 10.8 – Distâncias percorridas na saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Distância ao Ponto de Entrada”). ....	42
Tabela 10.9 – Distâncias percorridas na entrada de 50 produtos variando o método de decisão para escolha do pedido seguinte. ....	45
Tabela 10.10 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo X. ....	46
Tabela 10.11 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo Y.....	47
Tabela 10.12 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo Z. ....	48
Tabela 10.13 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo R. ....	49
Tabela 10.14 – Distâncias percorridas na saída de 80 paletes variando o custo R.....	51
Tabela A.1 – Tabela [Shelves]. ....	56
Tabela A.2 – Tabela [Holders]. ....	57
Tabela A.3 – Tabela [Products].....	57
Tabela A.4 – Tabela [Categories].....	58
Tabela A.5 – Tabela [Entrances]. ....	58
Tabela A.6 – Tabela [Design].....	59
Tabela D.1 – Funções dos botões da barra de ferramentas do <i>Simulador</i> .....	77



# 1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia assiste-se à crescente automatização dos sistemas de manufactura. Para além da automatização inerente ao processo de manufactura, também o transporte de matéria-prima e produtos é cada vez mais efectuado de uma forma automática. Para além disso, também o seu armazenamento começa a ser feito automaticamente. Nessa operação são usados transportadores que tenham a capacidade de guardar essas matérias-primas e produtos em prateleiras de um armazém.

Os armazéns automáticos podem ter bastante utilidade para utilizações em ambientes não propícios a humanos, como câmaras frigoríficas ou ambientes em que existam elevados níveis de radiação. Como se pode verificar, a sua utilização não se restringe apenas ao uso em sistemas industriais de manufactura.

Num dos laboratórios da Secção de Sistemas e Controlo do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores do Instituto Superior Técnico existe uma célula de fabricação flexível. Foi proposto implementar um armazém automático à escala, que pudesse ser incorporado nessa célula. Este trabalho implementa a arquitectura de software que suporta o seu funcionamento.

O armazém permite o armazenamento das matérias primas que fornecem a linha de fabricação e dos produtos finais e em vias de fabrico por ela produzidos. Tem uma grua capaz de introduzir e retirar das prateleiras, de uma forma automática, produtos contidos em contentores ou paletes padronizadas [1].

O sistema deve ser controlado a partir de um computador (ou vários), que seja capaz de tomar decisões relativamente à escolha do local de armazenamento das paletes, guardar a informação acerca do conteúdo e localização das paletes numa base de dados e enviar comandos para a grua.

A arquitectura de software é composta por vários módulos. Cada um desses módulos é responsável por uma parte do funcionamento do armazém. O módulo principal é aquele onde se tomam as decisões e se manipula a informação contida nas bases de dados. Outro dos módulos consiste numa interface onde se efectuam os pedidos. Um outro módulo é responsável por enviar comandos para a grua. Por último, existe um módulo que simula o comportamento da grua e o conteúdo do armazém.

A arquitectura de software é distribuída permitindo ter os vários módulos que a constituem em computadores diferentes. Para isso basta que os computadores possam comunicar entre si



através de uma rede local. Um dos computadores tem que estar ligado através da porta série aos controladores da grua.

Neste relatório começa-se por analisar o ambiente a partir do qual se fez o desenvolvimento. Descreve-se a arquitectura de software usada bem como cada um dos módulos que a compõem. Apresentam-se as trajectórias implementadas. Descrevem-se os vários métodos de decisão e apresentam-se resultados comparativos entre eles.

Em anexo apresentam-se ainda as tabelas da base de dados, as mensagens trocadas entre os módulos e com a grua, um manual do utilizador e manual do programador.



## 2. O AMBIENTE

O objectivo do Armazém Automático é arrumar de uma forma autónoma um conjunto de produtos num espaço para isso preparado. Esses produtos são guardados em paletes de dimensões fixas. As paletes, por sua vez, são transportadas por uma grua e guardadas em prateleiras dispostas ao longo do armazém. A grua deve estar preparada para o transporte dessas paletes e deve permitir o acesso a todas as prateleiras. Deve haver um conjunto de corredores suficientemente espaçosos de modo a permitir o acesso da grua.

Estes aspectos são analisados nas próximas secções.

### 2.1. O ARMAZÉM

O Armazém é constituído por um conjunto de prateleiras dispostas ao longo de vários corredores.

Há um corredor principal que permite o acesso a vários corredores laterais, que lhe são perpendiculares.

A localização das prateleiras é definida e guardada na base de dados. Desse modo poderá ser alterada e definida de acordo com a localização real das prateleiras. Este modo de implementação é facilmente adaptável a qualquer alteração na localização das prateleiras ou dos corredores.

A dimensão das prateleiras é também configurável e guardada na base de dados.

É possível também definir um conjunto de pontos de entrada no armazém. Poderá haver, por exemplo, pontos de entrada ligados a uma célula de fabricação ou ao exterior.

No armazém usado optou-se por definir um corredor principal ao longo da parte mais comprida do armazém, situado sensivelmente a meio da largura do armazém. Há ainda dois pontos de entrada/saída de produtos. Um deles é o ponto de ligação à célula de fabricação e o outro é o ponto de ligação com o exterior. Esses pontos estão situados nos extremos do corredor principal.

É possível visualizar a estrutura do armazém na Figura 2.1.

Ao armazém foi associado um sistema de coordenadas para a definição da posição das prateleiras e pontos de entrada [1]. Esse sistema de coordenadas pode ser visualizado na Figura 2.2. O eixo  $x$  está definido ao longo da parte mais comprida do armazém. O eixo  $y$  está definido perpendicularmente a esse eixo e ao longo da largura do armazém. O plano  $xoy$  coincide com o chão do armazém. O eixo  $z$  é perpendicular aos eixos  $x$  e  $y$  e definido de acordo com a regra da mão direita, com o sentido positivo para cima.



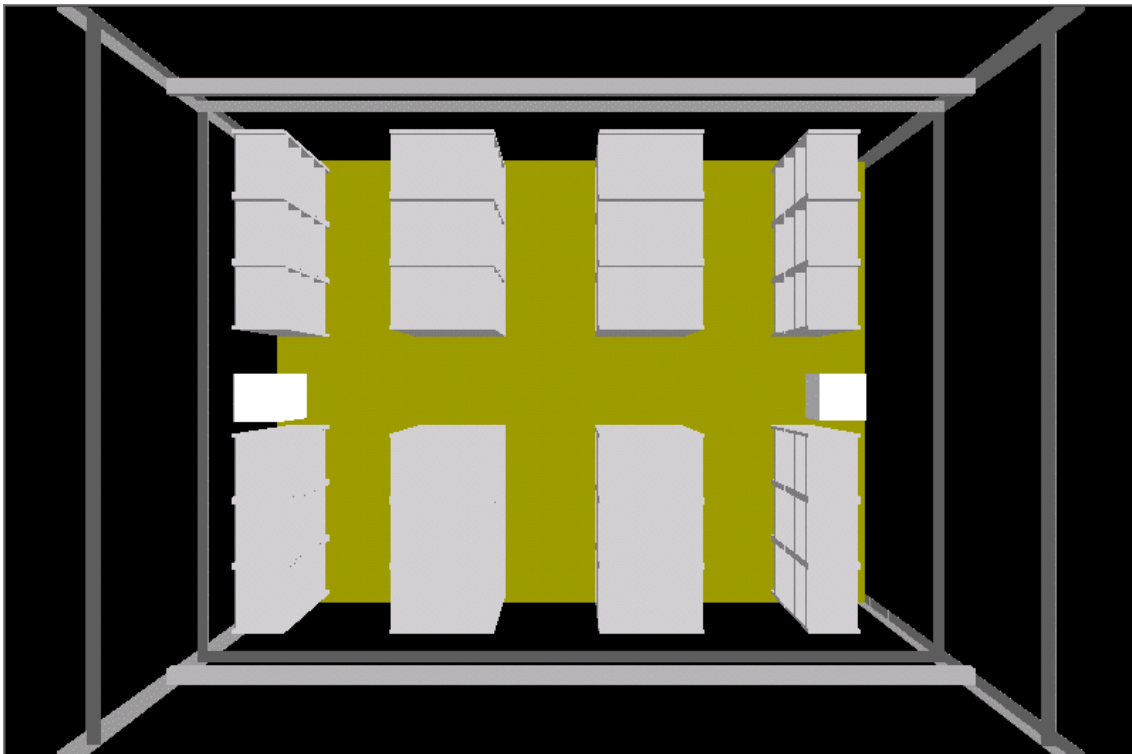


Figura 2.1 – Vista de cima do armazém.

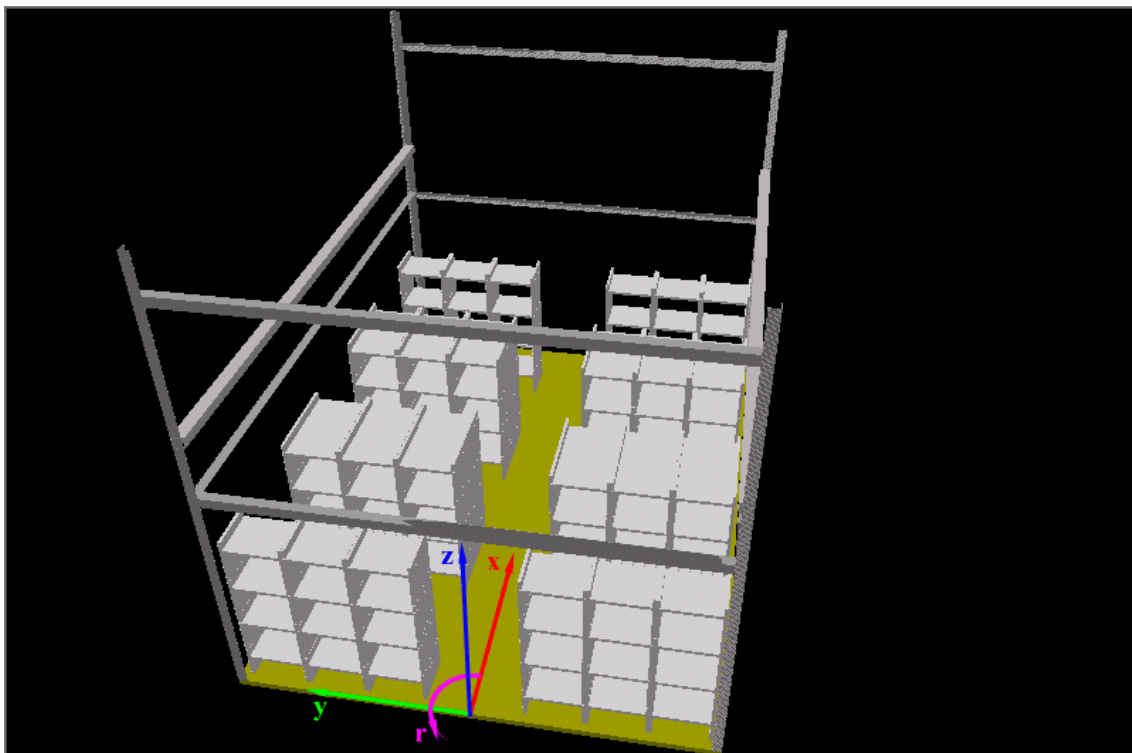


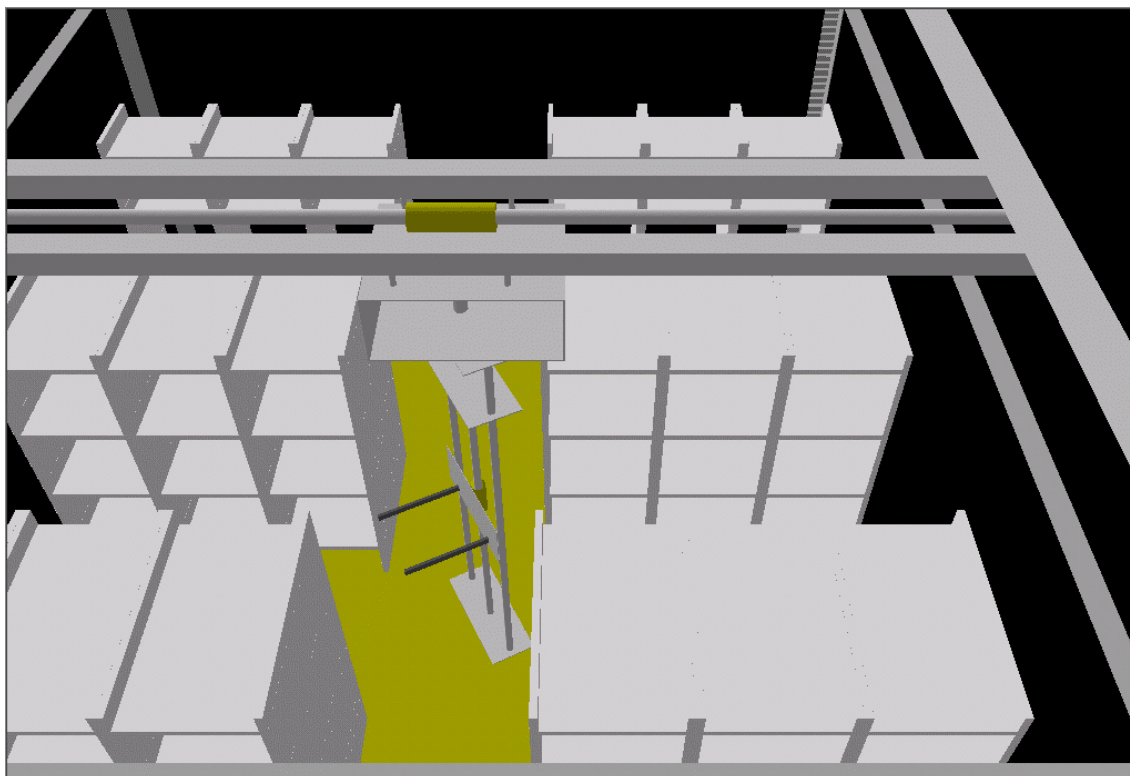
Figura 2.2 – Sistema de coordenadas do armazém.



## 2.2. A GRUA

É usada uma grua que permite transportar e colocar as paletes nas diversas prateleiras que constituem o armazém [1].

Uma vista dessa grua pode ser observada na Figura 2.3. A imagem representada foi obtida através do simulador implementado neste trabalho.



**Figura 2.3 – Vista da grua (obtida no simulador).**

A grua tem 4 graus de liberdade. Três das juntas são prismáticas e a outra é de revolução. Os eixos de translação coincidem com os eixos  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ . A rotação faz-se em torno do eixo  $Z$  e o grau de liberdade associado é designado por  $R$  [2].

Uma das juntas prismáticas permite efectuar movimentos ao longo do comprimento do armazém (eixo  $X$ ), outra ao longo da largura do armazém (eixo  $Y$ ) e a outra movimentos elevatórios (eixo  $Z$ ). A junta de revolução permite efectuar movimentos de rotação em torno do eixo  $Z$  (grau de liberdade  $R$ ).

O movimento de cada uma das juntas é gerado por um motor que é controlado por um microcontrolador. Um microcontrolador *mestre* agrega a informação dos vários microcontroladores e comunica com um PC através da porta série.



## 2.3. PALETES

### 2.3.1. Configuração

As paletes usadas neste armazém têm 4 posições disponíveis para guardar produtos. São designadas por *UL*, *UR*, *DL* e *DR* de acordo com a Figura 2.4. A dimensão das paletes é configurável. As usadas neste caso têm uma área horizontal disponível de 15cmx15cm, dividida em quatro partes iguais de 7,5cmx7,5cm.

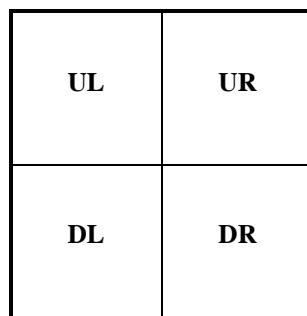


Figura 2.4 – Configuração das paletes.

A paleta com os respectivos produtos pode ser observada na Figura 2.5

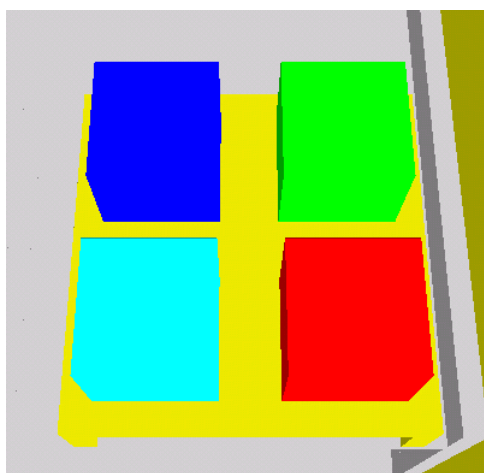


Figura 2.5 – Paleta com produtos.

A alteração da configuração das paletes implica modificações a nível de código. A base de dados teria que ser alterada de modo a reflectir essas alterações. Também seria necessário alterar a interacção dos programas com a base de dados.

As interfaces foram definidas tendo em conta esta restrição para que a interacção com o utilizador fosse o mais facilitada possível. Também a visualização foi definida para esta configuração de paletes. Logo, teriam que ser alteradas de modo a reflectir a nova configuração. Essa alteração não é, porém, muito difícil.



### 2.3.2. Arrumação

A arrumação das paletes é feita nas prateleiras do armazém.

As paletes vazias podem ser guardadas de duas maneiras distintas:

- **Fora do Armazém:** neste caso considera-se que as paletes que entram no armazém provêm do exterior e as que saem são guardadas fora do armazém. Assim, quando se retira uma paleta com produtos, a arrumação dessa paleta vazia não é efectuada pela grua.
- **Dentro do Armazém:** neste caso todas as paletes são arrumadas dentro do armazém, ficando cada paleta associada a uma prateleira. Quando se pretender colocar produtos no armazém, é necessário levar a paleta onde se pretendem colocar esses produtos até à entrada, colocar nessa paleta os produtos e voltar a colocar a paleta (agora com produtos) na respectiva prateleira. Quando se retiram produtos leva-se a paleta até à entrada, retiram-se os produtos e volta-se a colocar a paleta na prateleira.

A escolha do modo de guardar as paletes depende do ambiente onde o armazém está inserido. Se houver no exterior do armazém equipamento que possa transportar e guardar paletes não é necessário guardar as paletes vazias dentro do armazém.

### 2.4. PRODUTOS

Cada produto que é inserido no armazém deve pertencer a uma certa categoria. As categorias são definidas numa tabela separada. Como vários produtos de uma certa categoria podem ter propriedades diferentes, como por exemplo estar em estados de maquinação ou montagem diferentes, é guardado, para cada produto, o estado em que ele se encontra.

No simulador, todos os produtos são representados como cubos, evitando assim a necessidade de estar a definir o modelo tridimensional de cada uma deles. Para distinguir produtos das diferentes categorias, são usadas cores diferentes para os produtos pertencentes a cada uma delas.



## 3. ARQUITECTURA DE SOFTWARE

Para se coordenar o funcionamento do armazém foi criado um conjunto de programas que comunicam entre si através de protocolos pré-definidos. Esses programas permitem separar as diversas funcionalidades necessárias em módulos. A arquitectura é distribuída de modo a permitir que cada módulo possa funcionar em computadores diferentes.

O desenvolvimento dos módulos foi feito na linguagem de programação *Visual C++*, usando a ferramenta Microsoft® Visual C++® 6.0.

Os programas funcionam no ambiente Windows®.

### 3.1. MÓDULOS

O módulo principal é o *Servidor*. É o responsável pela gestão do armazém e manipulação da informação que lhe está associada. É neste programa que são tomadas as decisões sobre a localização dos produtos no armazém. É gerida também a comunicação com os restantes módulos.

Para a geração de pedidos de entrada e saída de produtos usa-se a *Interface de Pedidos*, que permite requerer a entrada ou saída de produtos do armazém. Várias interfaces podem estar remotamente ligadas ao *Servidor*.

Existe um módulo *Simulador* que permite uma visualização tridimensional de um modelo do armazém. Com ele é possível simular trajectórias e técnicas de decisão sem recorrer ao armazém real, poupando tempo e recursos. Este módulo pode servir ainda para monitorizar o armazém. Vários simuladores podem estar remotamente ligados ao *Servidor*.

Para a comunicação com a grua do armazém usa-se um módulo que comunica com os controladores do armazém através da porta série (*Controlador Global da Grua*). Esse módulo pode estar remotamente ligado ao *Servidor*.

### 3.2. COMUNICAÇÃO

#### 3.2.1. Entre Módulos

Os vários módulos comunicam entre si através de mensagens. O protocolo usado na comunicação é o TCP/IP<sup>1</sup>. Este protocolo é o mais usado nas comunicações entre computadores ligados em rede ou através da Internet [3]. Deste modo, os vários módulos podem estar a funcionar em computadores diferentes.

---

<sup>1</sup> TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol



Para que se troque informação entre os processos foi criado um protocolo de mensagens. Este protocolo deve ser seguido para que as mensagens trocadas contenham informação válida.

Com o uso deste protocolo qualquer dos módulos poderá ser substituído ou alterado, desde que as mensagens trocadas com os outros se mantenham. Por exemplo, caso se pretenda substituir a *Interface de Pedidos* por um programa que controle a linha de fabricação, basta manter as mensagens trocadas com o *Servidor*.

As mensagens trocadas entre os vários módulos contêm inicialmente a origem, o destino e o tipo de mensagem. Dependendo desse tipo a mensagem poderá ter informação adicional. O formato das mensagens é então:

***Origem>>Destino:Tipo[:Conteúdo]***

As mensagens que se trocam entre os diversos módulos estão apresentadas no Anexo B.

### **3.2.2. Com a Grua**

A comunicação com a grua é feita a partir do módulo *Controlador Global da Grua*. É efectuada através da porta série. O protocolo de comunicação usado é o RS-232. Este protocolo é o habitualmente usado neste tipo de comunicação.

Este módulo comunica com o controlador da grua, usando para isso um protocolo de mensagens. A definição das mensagens está no Anexo C.

## **3.3. BASE DE DADOS**

Para uma melhor manipulação da informação necessária ao funcionamento do armazém utilizou-se uma base de dados ODBC. O motor de base de dados usado foi o Microsoft® Access 2000.

A base de dados tem métodos de procura e de selecção pré-definidos que permite um acesso mais eficiente aos dados. A informação é actualizada e guardada ao longo do tempo. É também acessível mesmo que os programas não estejam em funcionamento. Permite ainda uma pré-definição do estado do armazém.

O nome da base de dados usada é ***Arauto Database***. Esta contém várias tabelas que contêm a informação necessária ao funcionamento do armazém. A descrição dessas tabelas e dos respectivos campos é no Anexo A.

Os módulos *Servidor*, *Simulador* e *Interface de Pedidos* ligam-se à base de dados para consulta de informações contidas nas várias tabelas. No entanto, apenas o módulo *Servidor* altera valores.



### 3.4. ESQUEMA GLOBAL

Para ilustrar a arquitectura descrita nas secções anteriores é apresentado na Figura 3.1 o esquema global da arquitectura.

No esquema podem-se observar vários módulos *Simulador* e *Interface de Pedidos* e o módulo *Controlador Global da Grua*, todos ligados ao mesmo *Servidor*. A informação trocada entre eles, bem como o tipo de mensagens está descrita na legenda.

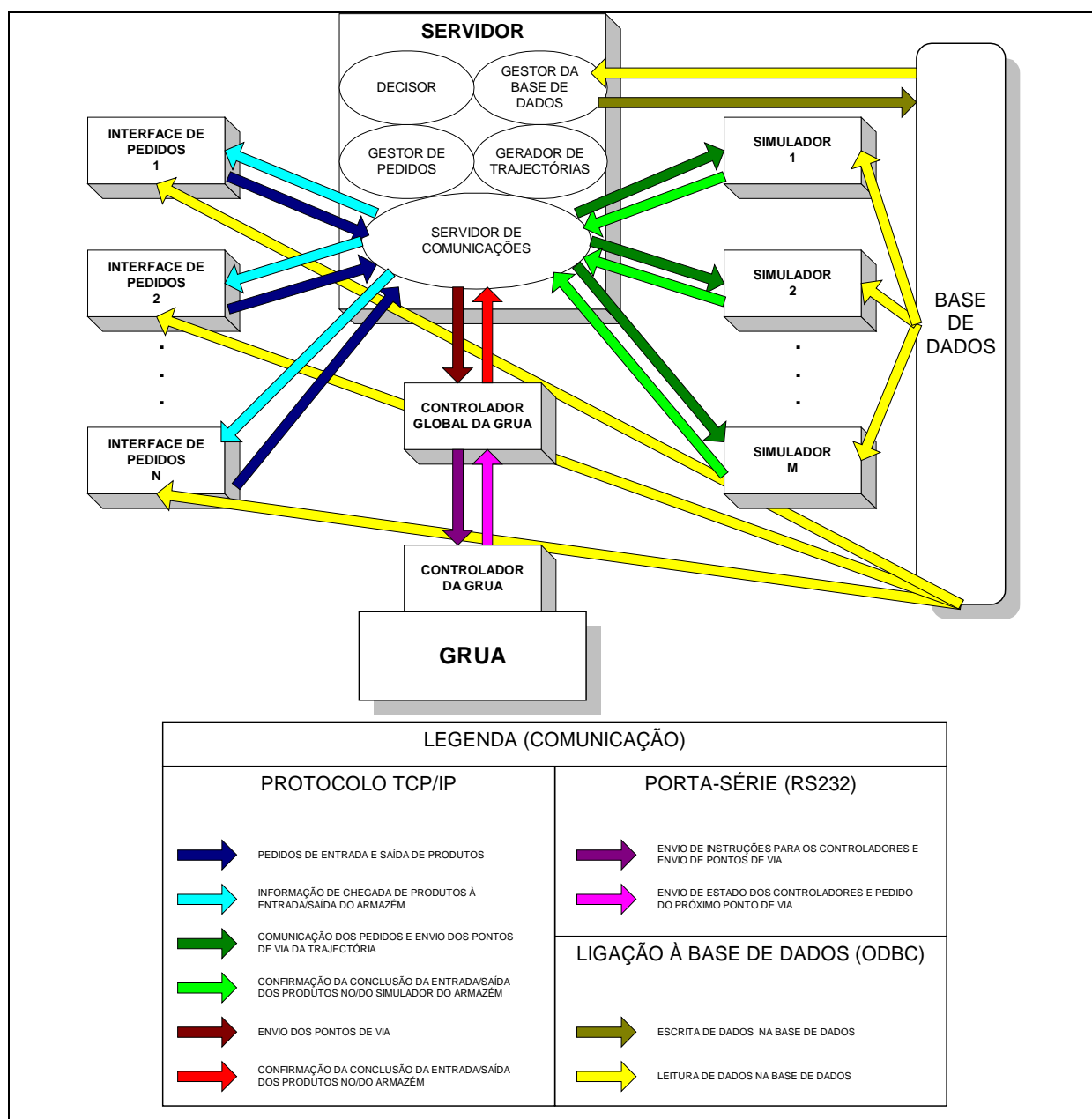


Figura 3.1 – Esquema global da Arquitectura de Software.



## 4. SERVIDOR

O programa responsável por toda a gestão do armazém é o Servidor.

O servidor está dividido em várias partes fundamentais:

- Gestor da Base de Dados
- Servidor de Comunicações
- Gestor de Pedidos
- Decisor
- Gerador de Trajectórias

Cada uma destas partes é analisada nas secções seguintes

### 4.1. GESTOR DA BASE DE DADOS

O *Gestor da Base de Dados* é a parte do *Servidor* responsável pelas operações sobre a base de dados.

#### 4.1.1. Início de Actividade do Armazém

Quando o armazém inicia a actividade é necessário iniciar também as tabelas da base de dados. Como o armazém está vazio a tabela com a informação sobre os produtos (Tabela *[Products]*) não deve conter valores. Também a tabela com a informação sobre as categorias de produtos (Tabela *[Categories]*) deve ter o campo *UnitsInStock* (unidades em stock) com o valor 0. Dependendo do modo de guardar as paletes vazias (dentro ou fora do armazém conforme o descrito na Secção 2.3.2), as tabelas com a informação das prateleiras (Tabela *[Shelves]*) e das paletes (Tabela *[Holders]*) devem ser iniciadas. Caso se guardem as paletes fora do armazém, a tabela de paletes não contém valores e as prateleiras estão vazias. No caso das paletes serem guardadas dentro do armazém, cada prateleira terá uma paleta associada.

#### 4.1.2. Actualizações

Sempre que uma paleta entra ou sai do armazém, o *Servidor* actualiza as diversas tabelas da base de dados com a nova informação. Em qualquer instante a base de dados contém o estado actualizado do armazém. Todos os programas que acedem à base de dados ficam automaticamente com os dados actualizados.

### 4.2. SERVIDOR DE COMUNICAÇÕES

O *Servidor de Comunicações* gere as trocas de mensagens entre o *Servidor* e as restantes aplicações cliente (*Simulador*, *Interface de Pedidos* e *Controlador Global da Grua*).





Há três portos que permitem a ligação remota dos vários tipos de programa. Cada um desses portos fica dedicado a um tipo de programa. Ou seja, um porto para as *Interfaces de Pedidos*, um para os *Simuladores* e um porto para o *Controlador Global da Grua*. Para cada um desses portos é possível definir o número de ligações simultâneas permitidas. No entanto, apenas um único *Controlador Global da Grua* se pode ligar ao *Servidor*, já que apenas é possível controlar uma grua de cada vez.

Enquanto houver ligações disponíveis os programas podem-se ligar. Quando for atingido o número máximo de ligações simultâneas por porto, qualquer nova ligação a esse porto será rejeitada.

As trocas de informação estão baseadas no protocolo de mensagens definido no Anexo B.

As mensagens relacionadas com pedidos e sua execução são tratadas pelo *Gestor de Pedidos*.

### **4.3. GESTOR DE PEDIDOS**

Quando um novo pedido chega da *Interface de Pedidos* é conduzido pelo *Servidor de Comunicações* para o *Gestor de Pedidos*.

Cada pedido está associado a uma determinada entrada do armazém. Em cada ponto de entrada/saída os pedidos devem ser atendidos por ordem de chegada (caso haja vários pedidos para uma mesma entrada). Existem várias listas *FIFO*<sup>2</sup> contendo cada uma delas os pedidos pendentes para um determinado ponto de entrada/saída.

#### **4.3.1. Pedidos de Entrada**

##### **Entrada de Palete**

Quando uma nova paleta de produtos chega ao armazém, a decisão sobre a localização dessa paleta no armazém deve ser tomada.

Verifica-se primeiro se existe espaço disponível para armazenar essa paleta. Se as paletes estiverem a ser guardadas dentro do armazém, deve haver uma paleta que possa armazenar os produtos na configuração pretendida. Caso nenhuma destas condições seja satisfeita, uma mensagem de erro é enviada para a *Interface de Pedidos* de onde proveio o pedido.

A seguir, usando o *Decisor*, é escolhida a localização da paleta no armazém. O pedido e resultante decisão são guardados na lista de pedidos correspondente à respectiva entrada. É

---

<sup>2</sup> *FIFO* – do Inglês *First In First Out*, isto é, primeiro a entrar, primeiro a sair.



reservada a prateleira onde se vai armazenar a paleta. O pedido fica pendente na lista até que a grua esteja disponível para o executar.

### **Entrada de Paleta sem Decisão**

É possível colocar uma paleta numa prateleira específica sem que para isso seja necessário efectuar uma decisão. Quando esse pedido chega é verificado se a prateleira indicada está vazia, ou, no caso de as paletes serem guardadas no armazém, se a paleta contida nessa prateleira existe e pode receber os produtos na configuração pretendida. Caso nenhuma destas condições seja satisfeita, uma mensagem de erro é enviada para a *Interface de Pedidos* de onde proveio o pedido. O pedido fica pendente na lista associada à respectiva entrada.

### **4.3.2. Pedidos de Saída**

#### **Saída de Produtos de uma Categoria e Estado**

Quando chega um novo pedido de saída de produtos (de uma certa categoria e num certo estado), verifica-se se existe no armazém um número suficiente de produtos dessa categoria e nesse estado. Caso não exista, uma mensagem de erro é enviada para a *Interface de Pedidos* de onde proveio o pedido.

Usando o *Decisor* é escolhido o conjunto de produtos e paletes que satisfazem o pedido. Mais do que uma paleta com produtos poderá ter que ser retirada para atender este pedido. O conjunto de paletes a retirar é colocado na lista de pedidos correspondente à respectiva entrada, como vários pedidos. Reservam-se as várias paletes. Os pedidos ficam pendentes na lista até que a grua esteja disponível para os executar.

#### **Saída de Paleta**

Quando se pretende retirar uma paleta específica é verificado se essa paleta se encontra disponível no armazém. Caso a paleta não exista ou não esteja disponível é enviada uma mensagem de erro para a *Interface de Pedidos* de onde proveio o pedido.

Se não ocorrer nenhum erro o pedido é adicionado à respectiva lista e é reservada a paleta. O pedido fica pendente na lista até que a grua esteja disponível para o executar.

#### **Saída de Produto Específico**

Quando se pretende retirar um produto específico verifica-se se esse produto está disponível no armazém. Caso o produto não exista ou não esteja disponível é enviada uma mensagem de erro para a *Interface de Pedidos* de onde proveio o pedido.



Se não ocorrer nenhum erro o pedido é adicionado à respectiva lista e é reservada a palete que contém o produto. O pedido fica pendente na lista até que a grua esteja disponível para o executar.

#### **4.3.3. Pedidos de Reentrada**

##### **Depois da saída de produtos**

No caso das paletes serem guardadas no armazém, quando se retira uma paleta é necessário recolocá-la na prateleira de onde foi tirada. Como a paleta está a ocupar o ponto de entrada, impedindo a entrada ou saída de outras paletes, esse pedido deve ser colocado em primeiro lugar na lista de pedidos pendentes para essa saída. Assim, quando a grua o puder executar, libertará essa entrada.

##### **Durante a entrada de produtos**

Quando as paletes estão guardadas no armazém e se pretende colocar produtos no armazém, é necessário levar até ao ponto de entrada uma paleta que possa receber os produtos. Depois de colocada na entrada é necessário colocar os produtos na paleta. Durante esse tempo, a entrada mantém-se ocupada e nenhuma outra paleta pode entrar ou sair do armazém por esse ponto. Assim, é necessário avisar o servidor do momento em que a paleta está pronta para dar entrada no armazém. Esse pedido tem prioridade sobre os demais dessa entrada e fica em primeiro lugar na lista de pedidos aí pendentes.

#### **4.3.4. Execução de Pedidos**

Quando a grua está disponível para executar uma acção é escolhido entre os pedidos das várias entradas o que se vai atender. Apenas o primeiro pedido para cada entrada pode ser atendido. A escolha desse pedido é feito mediante métodos de decisão específicos. Usando o *Decisor* é escolhido o próximo pedido a ser atendido. Depois de escolhido esse pedido, o *Gerador de Trajectórias* define os vários pontos de via que a grua tem que percorrer para executar o pedido.

#### **4.3.5. Conclusão da Execução de Pedidos**

Quando uma mensagem indicando a conclusão do pedido chega ao *Servidor*, este envia, para a *Interface de Pedidos* que fez o pedido, uma mensagem informando acerca da sua conclusão. Actualiza-se a base de dados com a informação necessária.



## 4.4. DECISOR

O decisor é a parte do *Servidor* responsável pela implementação dos métodos de decisão para a entrada e saída de produtos e para a escolha do próximo pedido a ser atendido.

Para cada tipo de decisão necessária existe um conjunto de métodos de decisão disponíveis. A escolha do método de decisão pode ser efectuada durante o funcionamento do armazém, afectando todos os novos pedidos recebidos a partir do momento em que se efectua a alteração.

Um conjunto de dados é fornecido a cada um dos tipos de decisor, que, baseados no método escolhido, fornecem a decisão tomada.

Os métodos de decisão usados estão descritos em pormenor no Capítulo 9.

## 4.5. GERADOR DE TRAJECTÓRIAS

A grua não pode ir directamente de um dos pontos de entrada para uma prateleira, pois só tem disponível o espaço entre as prateleiras (corredores). Este facto faz com que as trajectórias a seguir necessitem de ser exactas. Define-se por isso uma sequência de pontos de via pelos quais a grua tem que passar quando faz uma operação de entrada ou saída de uma paleta do armazém.

Como o *Servidor* tem disponível a configuração do armazém (obtida na base de dados), é possível gerar naquele a sequência de pontos de via a serem seguidos pela grua, de modo a colocar ou retirar paletes nas/das prateleiras do armazém. Só através do conhecimento da configuração do armazém e do espaço disponível é possível definir correctamente a trajectória.

A trajectória pode ser simulada e optimizada antes de ser executada com o armazém real, evitando possíveis erros, que poderiam por em risco o funcionamento do armazém.

As trajectórias usadas estão descritas no Capítulo 8.



## 5. SIMULADOR

Para que se possam testar políticas de decisão e várias alternativas de trajectórias, optou-se por implementar um modelo tridimensional do armazém que simule a acção da grua real no armazém. O facto de se ter construído o modelo tridimensional permite visualizar melhor os pormenores do comportamento da grua e melhorá-los, não sendo necessário testar na grua real.

### 5.1. MODELO TRIDIMENSIONAL

O modelo tridimensional foi construído usando o software gráfico OpenGL em Microsoft® Visual C++ 6.0.

Foram construídos graficamente os vários objectos que fazem parte do ambiente:

- Grua
- Estrutura de suporte da grua
- Prateleiras
- Pontos de entrada
- Paletes
- Produtos

Podem-se observar na Figura 2.1, na Figura 2.2 e na Figura 2.3 imagens geradas pelo programa.

Para o desenho das prateleiras usa-se a informação contida na base de dados sobre a sua localização. Quando o *Simulador* é iniciado, é lida toda a informação da base de dados e construída a parte fixa do armazém. Todas as prateleiras têm o mesmo espaço horizontal disponível para a colocação de uma única paleta. No entanto, a dimensão desse espaço é configurável e adaptável à realidade do armazém. A altura disponível depende da posição da prateleira, podendo ser diferente para cada uma delas.

A dimensão das paletes é configurável e está contida na base de dados. Para que não seja necessário construir um modelo de produto por cada tipo de produto contido no armazém, todos os produtos são visualizados como sendo um cubo. A dimensão desse cubo é também configurável.

A visualização de todas as paletes e produtos contidos no armazém tem por base a localização dessas paletes e produtos no armazém, informação essa contida na base de dados. Sempre que se dá uma alteração ao conteúdo do armazém (entrada ou saída de produtos) ela é reflectida no modelo tridimensional.



Há dois modos de visualizar o armazém:

- Com a câmara fixa num ponto, podendo esse ponto ser modificado usando os botões disponibilizados na barra de ferramentas.
- Com a câmara móvel acompanhando sempre a grua ao longo do seu movimento.

O modo de visualização pretendido pode ser alterado a qualquer momento.

## **5.2. FUNCIONAMENTO**

Quando o programa é iniciado, o *Simulador* tenta ligar-se ao *Servidor*. Para essa ligação é necessário definir o endereço e o porto de ligação.

Quando a ligação for bem sucedida é construído o modelo do armazém. É informado o *Servidor* que o *Simulador* está pronto a funcionar. A posição inicial da grua é fornecida pelo *Servidor*.

### **5.2.1. Simulador ou Monitor**

Vários programas *Simulador* podem estar ligados ao *Servidor* ao mesmo tempo. No entanto, apenas o primeiro a conseguir a ligação funciona como verdadeiro simulador. Os outros simuladores reflectem apenas as alterações efectuadas nesse simulador. Do mesmo modo, quando não se está a efectuar uma simulação, mas sim a controlar a grua real, vários programas *Simulador* podem ligar-se ao *Servidor* funcionando todos como monitorização do que se está a passar no armazém. Assim, pode-se remotamente ligar um *Simulador* ao *Servidor* apenas para ir acompanhando as operações que se vão efectuando num armazém remoto.

### **5.2.2. Entrada e Saída de Produtos**

Quando uma paleta com produtos está pronta para entrar no armazém, ou quando se pretender proceder à saída de uma paleta contida no armazém, o *Servidor* envia uma mensagem ao *Simulador* contendo informação sobre a paleta (para efeitos de construção do modelo tridimensional) e todo o conjunto de pontos de via que a grua tem que percorrer para efectuar a correspondente operação.

O *Simulador* efectua então o conjunto de movimentos necessários e no fim envia uma mensagem ao *Servidor*, informando o final da operação. Nessa altura é também enviada a posição em que a grua se encontra. A resposta enviada apenas é tratada se o programa estiver a funcionar como simulador (tal como descrito na Secção 5.2.1).



## 6. INTERFACE DE PEDIDOS

A *Interface de Pedidos* é o módulo que permite ao utilizador interagir com o armazém. É usando este módulo que o utilizador faz os pedidos ao armazém.

Este módulo tenta ligar-se remotamente ao *Servidor*. Como existe um número limitado de ligações ao servidor, só se essa ligação for bem sucedida é que o programa está pronto a efectuar pedidos. Vários módulos destes podem ligar-se ao mesmo servidor. Um mínimo de um módulo é necessário para que se possa interagir com o servidor. Em cada um destes módulos é possível efectuar pedidos para todos os pontos de entrada do armazém. No entanto, o mais aconselhado é existir uma *Interface de Pedidos* por ponto de entrada.

### 6.1. INFORMAÇÃO DISPONÍVEL

Para que o utilizador faça o pedido correctamente necessita saber quais os produtos que estão disponíveis no armazém. Para isso são disponibilizadas:

- Uma lista contendo todas as categorias registadas. Os dados contidos nesta lista são retirados da *Tabela [Categories]*, descrita no Anexo A, Secção A.4.
- Uma lista contendo todos os produtos disponíveis. Nesta lista não se encontram os produtos que estão em paletes prestes a ser colocados ou retirados do armazém. Os campos apresentados são retirados da *Tabela [Products]*, descrita no Anexo A, Secção A.3.

### 6.2. PEDIDOS DE ENTRADA

#### 6.2.1. Entrada de Pallet com Produtos

Para um pedido de entrada de produtos, o utilizador tem que introduzir a configuração da pallet que pretende colocar no armazém, ou seja, a categoria e o estado dos produtos que estão nas várias posições da pallet.

Depois do utilizador submeter o pedido, este é enviado para o *Servidor* onde será atendido. Caso o armazém esteja cheio não é possível efectuar a entrada de produtos e uma resposta é enviada para a *Interface de Pedidos* descrevendo essa impossibilidade.

#### 6.2.2. Entrada de Pallet com Produtos sem Decisão

É possível introduzir uma pallet numa posição específica não sendo por isso necessária qualquer tipo de decisão. Esta operação poderá ser útil caso o utilizador pretenda guardar a pallet numa prateleira específica.



O modo de introdução dos dados para o pedido é semelhante, sendo necessário o utilizador seleccionar uma opção que indica que não pretende decisão e introduzir a identificação da prateleira onde pretende colocar a paleta.

Quando submeter o pedido ele é tratado pelo *Servidor* de um modo idêntico ao descrito na Secção 6.2.1. É necessário confirmar se a prateleira onde se pretende colocar a paleta está vazia e não se encontra reservada.

### **6.3. PEDIDOS DE SAÍDA**

#### **6.3.1. Saída baseada na Categoria e Estado dos Produtos**

O tipo principal de pedidos de saída de produtos é aquele em que se pede um certo número de produtos de uma certa Categoria e num certo Estado. Assim, o utilizador tem que introduzir o número de produtos que pretende, seleccionar a Categoria e introduzir o Estado do produto.

Quando o utilizador submeter o pedido este é enviado para o *Servidor* onde será atendido. Caso não haja disponível um número suficiente de produtos com essas características disponíveis uma resposta é enviada para a *Interface de Pedidos* descrevendo essa impossibilidade.

#### **6.3.2. Saída de Produto Específico**

Outra das possibilidades para os pedidos de saída é pedir a saída de um produto específico. Para isso, introduz-se a identificação do produto que se pretende retirar e submete-se o pedido.

Quando se submete o pedido ele é tratado pelo *Servidor* de um modo idêntico ao descrito na Secção 6.3.1. É confirmada a existência do produto. Uma mensagem de erro é recebida pela *Interface de Pedidos* caso não exista.

#### **6.3.3. Saída de Paleta**

Uma outra possibilidade é pedir todos os produtos contidos numa paleta específica. Introduce-se a identificação da paleta que se pretende retirar. O pedido é enviado para o *Servidor* e tratado. É confirmada a existência da paleta. Uma mensagem de erro é recebida pela *Interface de Pedidos* caso não exista.





---

## **6.4. PEDIDOS DE REENTRADA**

### **6.4.1. Depois da saída de produtos**

Como explicado na secção 4.3.3 depois se retirar uma paleta do armazém poderá ser necessário voltar a colocá-la lá dentro. Quando os produtos necessários forem retirados submete-se o pedido de reentrada da paleta para o armazém.

### **6.4.2. Durante a entrada de produtos**

Como explicado na secção 4.3.3 quando se vai buscar uma paleta para nela colocar produtos e colocá-la novamente no armazém é necessário avisar o *Servidor* que a paleta está pronta a dar entrada. Assim, depois de se colocarem os produtos necessários submete-se o respectivo pedido.



## 7. CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA

O controlo da grua é efectuado por uma série de controladores implementados em microcontroladores (*escravos*), que estão ligados a cada um dos motores responsáveis pelo movimento da grua. Existe ainda um microcontrolador (*mestre*) que assegura o funcionamento global desses controladores. A implementação desses controladores não está no âmbito deste trabalho, tendo sido efectuada no trabalho *Arauto – Armazém Automático – Hardware* realizado por Sérgio Paulo e Marco Oliveira [1].

Nesta interface pretende-se estabelecer a comunicação com o microcontrolador Mestre por forma a haver troca de informação entre as partes. A comunicação é efectuada através da porta série, usando o protocolo RS232.

### 7.1. FUNCIONAMENTO EM MODO TESTE

O *Controlador Global da Grua* pode funcionar não ligado ao *Servidor*. Esse funcionamento permite testar a comunicação e enviar comandos para os microcontroladores. Os comandos existentes são:

- *TPMPC* – Comando que testa a comunicação com o microcontrolador Mestre.
- *TSPCB* – Comando que testa a comunicação com os microcontroladores Escravos.
- *TDSSP* – Comando que testa o envio de dados.
- *TDRSP* – Comando que testa a recepção de dados.
- *Calibrate* – Comando que permite a calibração das várias juntas da grua.
- *GoToPos* – Comando que envia a posição de destino das juntas da grua.
- *GetPos* – Comando que pede a posição actual das várias juntas da grua.
- *GetPosL* – Comando que pede a posição limite das várias juntas da grua

As mensagens correspondentes a estes comandos estão descritas no Anexo C.

Com este modo de funcionamento é possível calibrar e testar o movimento da grua sem ser necessário o *Servidor* estar ligado. Este modo pode ser usado numa fase inicial para fazer a preparação da grua.

### 7.2. FUNCIONAMENTO EM MODO NORMAL

Neste modo de funcionamento o programa liga-se ao *Servidor*. Apenas um *Controlador Global da Grua* pode estar ligado ao *Servidor*. O funcionamento em modo normal tem todas as funcionalidades englobadas no modo teste. Para além disso, permite fazer o controlo global da grua, ou seja, ir enviando para a grua os pontos de via pelos quais ela deve passar.



Numa operação de entrada ou saída de uma paleta com produtos, um conjunto de pontos de via, pelos quais a grua deve passar, é calculado no *Servidor*. Esse conjunto é enviado numa mensagem para o *Controlador Global da Grua*. Como os microcontroladores usados têm uma capacidade limitada de armazenamento de informação, optou-se por guardar os pontos de via neste programa. Quando a mensagem chega, é criada e guardada uma lista contendo a sequência de pontos de via.

Cada ponto de via é enviado para os diversos controladores. As mensagens são enviadas para o microcontrolador *mestre* que se encarrega da sua distribuição pelos microcontroladores *escravos*. Uma mensagem *GoToPos* (ir para posição) é enviada para cada uma das juntas que necessitam efectuar um movimento. Por exemplo, se um movimento só se faz segundo os eixos  $x$  e  $z$ , é necessário enviar mensagens para os controladores responsáveis pelos motores que efectuam o movimento nesses dois eixos. Não é, no entanto, necessário enviar mensagens para os controladores responsáveis pelo movimento nos eixos  $y$  e  $r$ , já que não vai haver movimento segundo esses eixos.

Quando cada um dos controladores atinge a posição pretendida, uma mensagem é enviada do microcontrolador *mestre* para o *Controlador Global da Grua*. Quando o ponto de via é atingido (posição pretendida em todos os eixos), um novo ponto de via é enviado para os controladores. Quando o último dos pontos de via contidos na lista for atingido, a operação está concluída e uma mensagem a informar essa conclusão é enviada para o *Servidor*.

### 7.3. MAPEAMENTO DE VALORES

A posição de cada uma das juntas da grua é guardada no respectivo microcontrolador. No entanto, essa posição refere-se ao número de contagens efectuadas pelos sensores, em relação a um ponto de referência. Essas posições têm que ser mapeadas para o referencial do armazém, descrito na Secção 2.1.

A grua usa sensores de fim de curso para estabelecer os limites do movimento de cada junta. Para cada junta, o número de contagens dos sensores é efectuado relativamente a um desses sensores. Na interface do *Controlador Global da Grua* existe uma secção que permite definir as posições dos sensores no referencial do armazém. É definida a posição para o sensor que corresponde à contagem 0 e a posição para o sensor que corresponde à contagem máxima. É ainda necessário definir a desmultiplicação de cada um dos motores (número de contagens por milímetro, para as juntas prismáticas ou o número de contagens por grau, para as juntas de revolução).



Quando se pretende enviar o próximo ponto de via, as posições em relação ao referencial do armazém são transformadas em número de contagens e enviadas para a grua.

A conversão inversa é efectuada quando se pede a posição actual a cada um dos controladores. Nesse caso é necessário converter o valor em número de contagens para o valor em milímetros (juntas prismáticas) ou graus (junta de revolução).



## 8. TRAJECTÓRIAS

### 8.1. PONTOS DE VIA PARA ENTRADA DE PALETE

Como o espaço onde a grua se pode movimentar é limitado pelas prateleiras, o movimento por ela efectuado deve ter um conjunto de pontos pelos quais ela deve passar.

Para melhor descrever a trajectória efectuada apresenta-se um gráfico com uma trajectória efectuada (Figura 8.1) e a representação gráfica da grua nos respectivos pontos de via (Figura 8.2). A grua encontra-se inicialmente em frente a uma prateleira da 2ª fila (Figura 8.1.(a) ). Os movimentos que a grua vai efectuar são, tipicamente:

- Se necessário, ir até ao corredor principal (da posição **a** para a posição **b**).
- Ir até um ponto de aproximação da entrada (de **b** para **c**).
- Introduzir os garfos da grua debaixo da paleta (de **c** para **d**).
- Levantar a paleta (de **d** para **e**).
- Voltar ao ponto de aproximação (de **e** para **f**).
- Rodar a grua de modo a que a paleta fique do lado pelo qual se vai fazer o movimento (de **f** para **g**).
- Ir até à entrada do corredor lateral onde se situa a prateleira (de **g** para **h**).
- Rodar a paleta de acordo com orientação da prateleira (de **h** para **i**).
- Ir até à zona frontal à prateleira (de **i** para **j**).
- Avançar com a paleta para dentro da prateleira (de **j** para **k**).
- Baixar a paleta até esta ficar assente na prateleira (de **k** para **l**).
- Recolher a da grua até esta ficar no corredor da prateleira (de **l** para **m**).

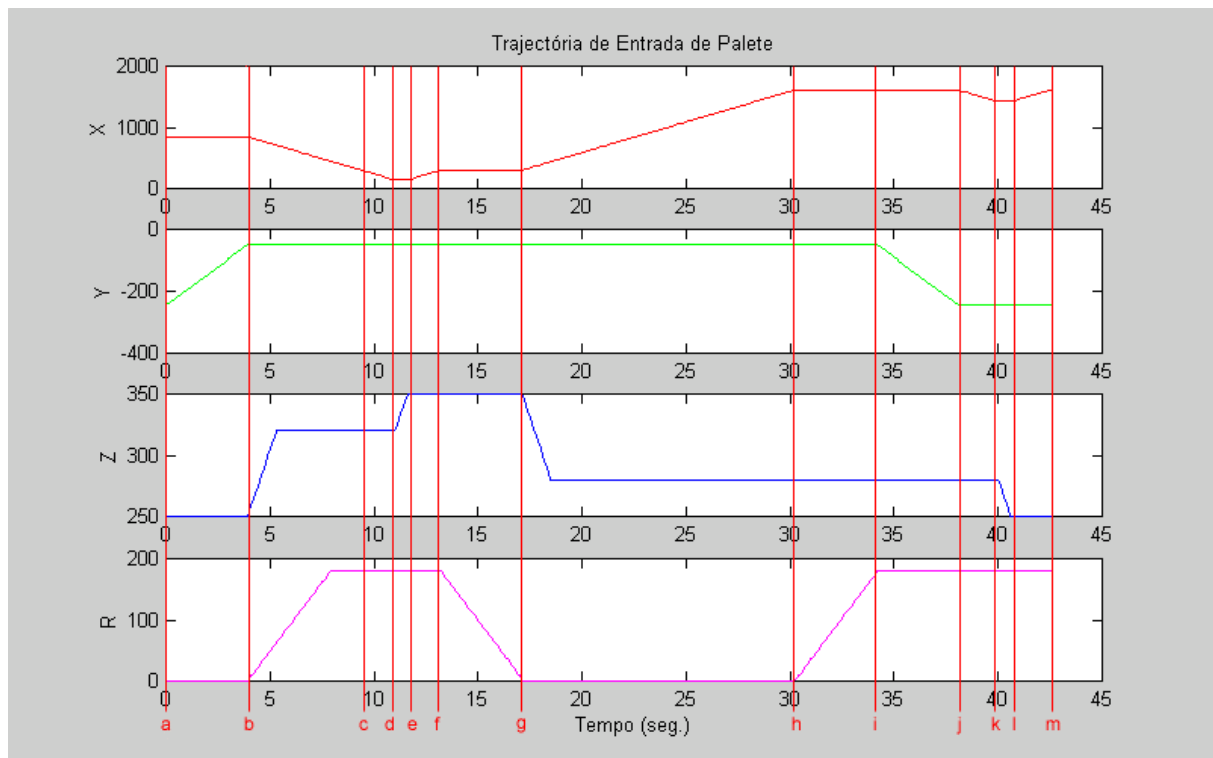
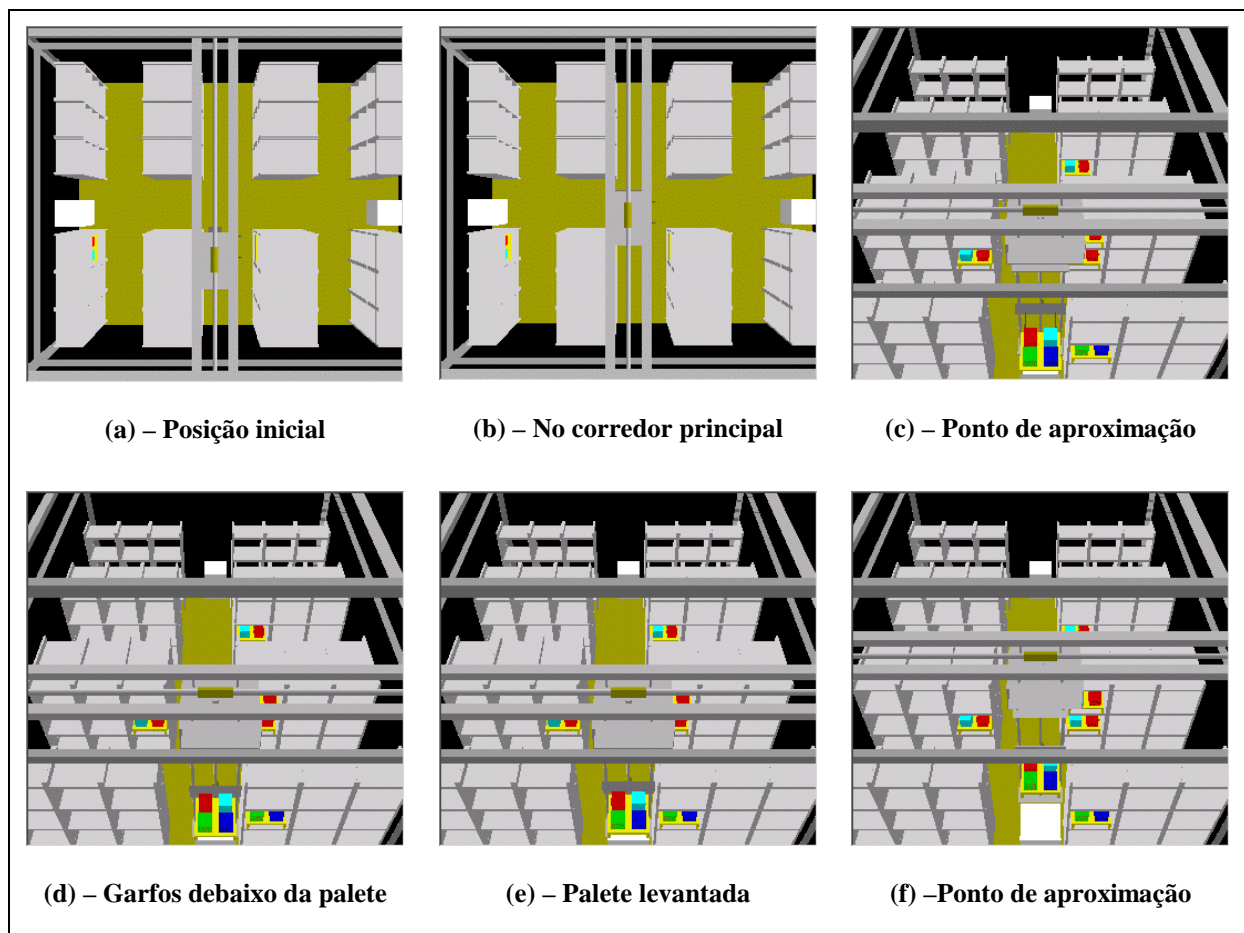
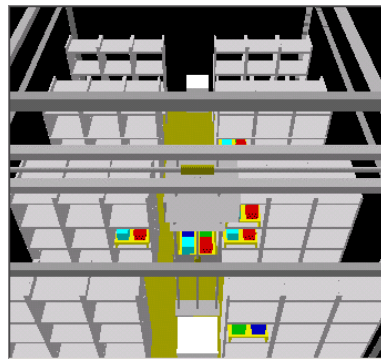
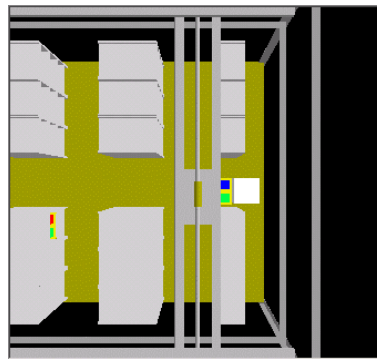


Figura 8.1 – Tractória de entrada de palete.

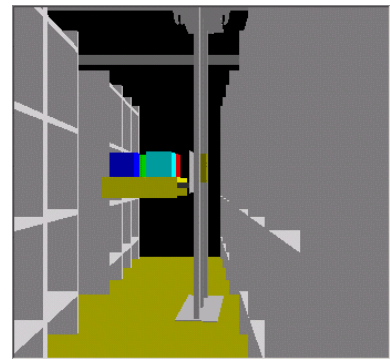




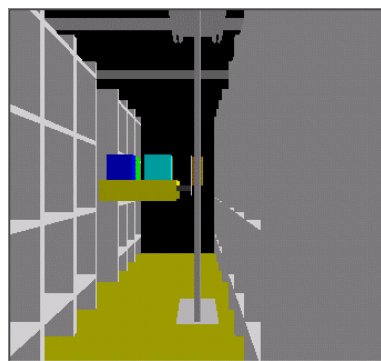
(g) – No ponto de aproximação rodada para avançar



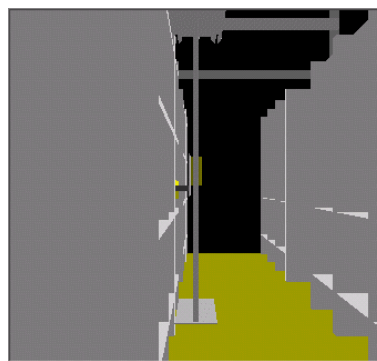
(h) – No alinhamento da fila onde está localizada a prateleira



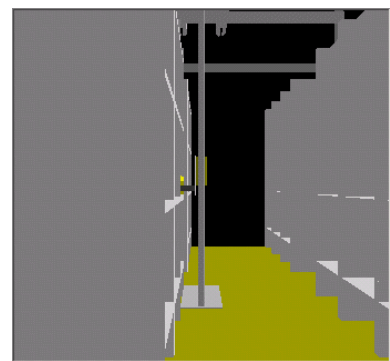
(i) – Rodada de acordo com a posição da prateleira



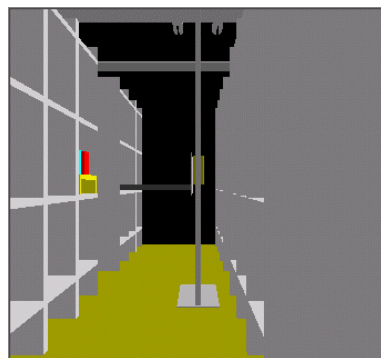
(j) – Em frente à prateleira



(k) – Na prateleira ainda com a paleta levantada



(l) – Na prateleira sem a paleta



(m) – Em frente à prateleira sem paleta

Figura 8.2 – Representação gráfica da grua nos diversos pontos de via (entrada de paleta).

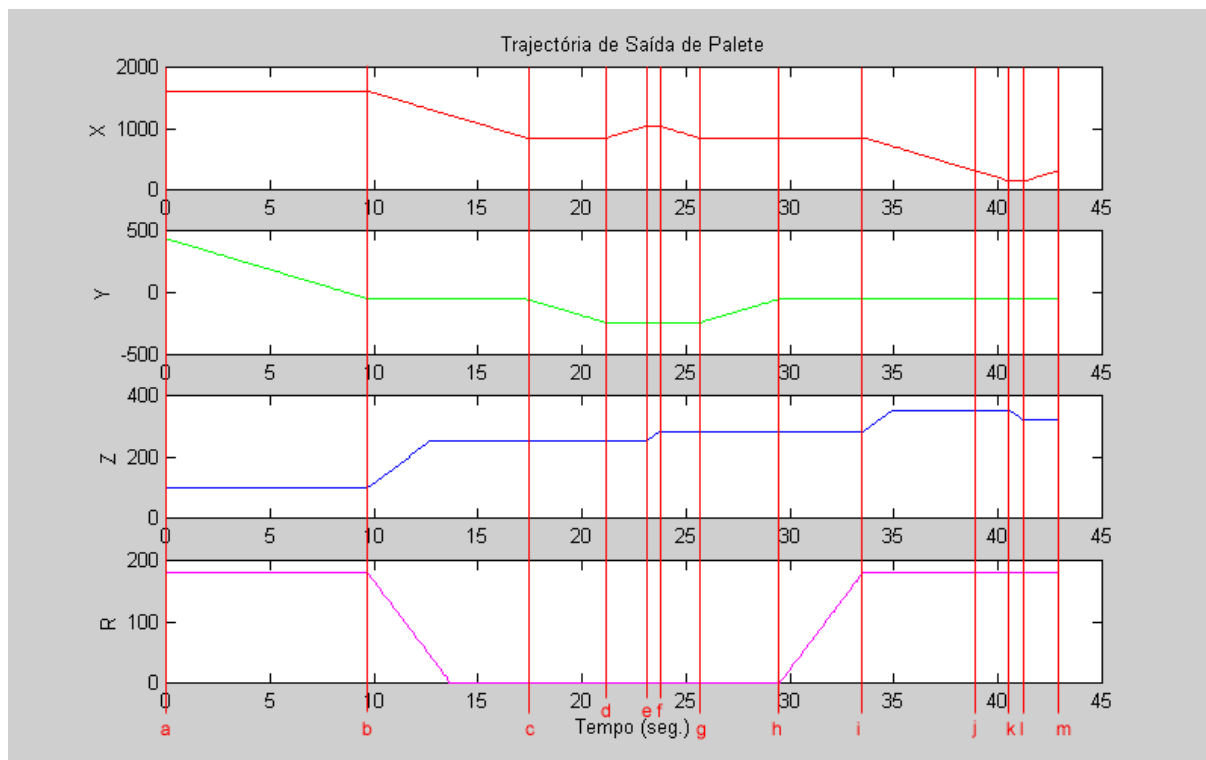
## 8.2. PONTOS DE VIA PARA SAÍDA DE PALETE

Para a saída de paletes é também definida uma sequência de pontos de via pelos quais a grua tem que passar. Para melhor descrever a trajectória efectuada apresenta-se um gráfico



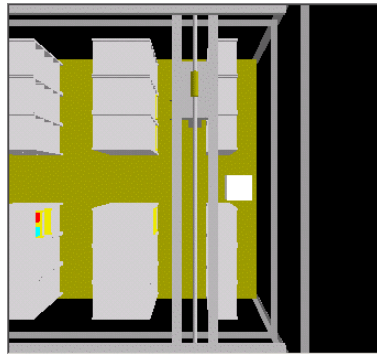
com uma trajectória efectuada (Figura 8.3) e a representação gráfica da grua nos respectivos pontos de via (Figura 8.4). A sequência típica do movimento para uma saída de palete é a seguinte:

- Se necessário, ir até ao corredor principal (da posição **a** para a posição **b**).
- Ir até à entrada do corredor lateral onde se situa a prateleira, rodando a paleta de acordo com orientação da prateleira (de **b** para **c**).
- Ir até à zona frontal à prateleira (de **c** para **d**).
- Introduzir os garfos da grua debaixo da paleta (de **d** para **e**).
- Levantar a paleta (de **e** para **f**).
- Recolher a grua até esta ficar no corredor da prateleira (de **f** para **g**).
- Ir até ao corredor principal (de **g** para **h**).
- Rodar a grua de modo a que o movimento a paleta fique do lado pelo qual se vai fazer o movimento (de **h** para **i**).
- Ir até um ponto de aproximação da entrada (de **i** para **j**).
- Avançar com a paleta para o ponto de entrada (de **j** para **k**).
- Baixar a paleta até esta ficar assente no ponto de entrada (de **k** para **l**).
- Voltar ao ponto de aproximação (de **l** para **m**).

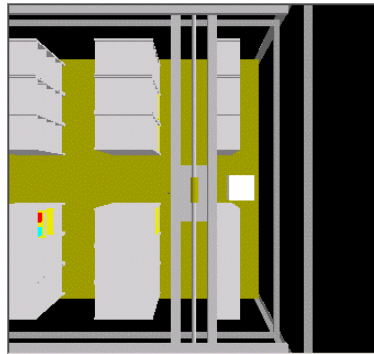


**Figura 8.3 – Trajectória de Saída de Paleta.**

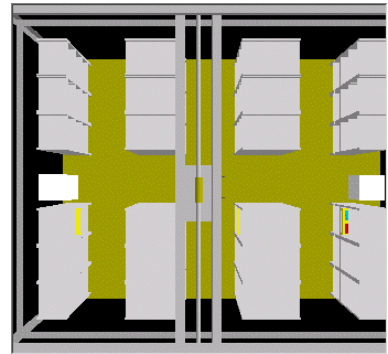




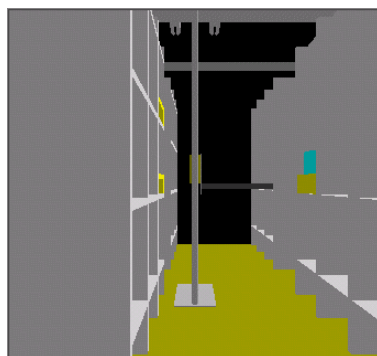
(a) – Posição inicial



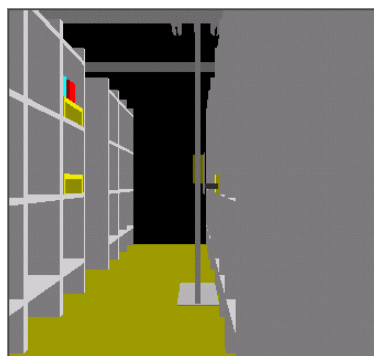
(b) – No corredor principal



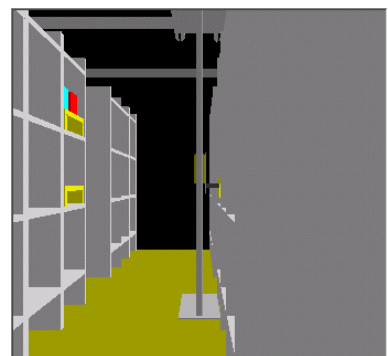
(c) – No alinhamento da fila onde está localizada a prateleira



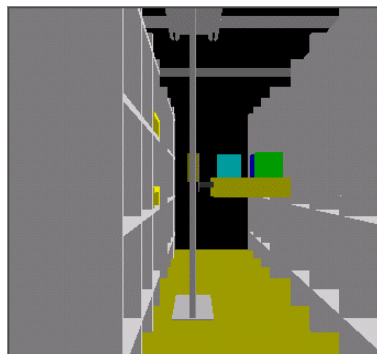
(d) – Em frente à prateleira



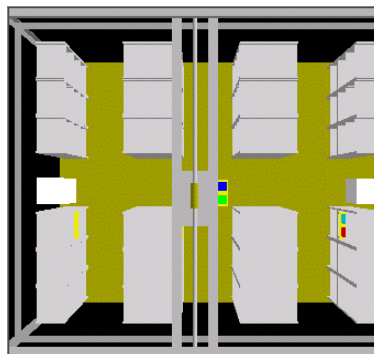
(e) – Na prateleira com os ganchos debaixo da paleta



(f) – Na prateleira com a paleta levantada



(g) – Em frente à prateleira com a paleta



(h) – No corredor principal com a paleta



(i) – No corredor principal, rodada no sentido do movimento



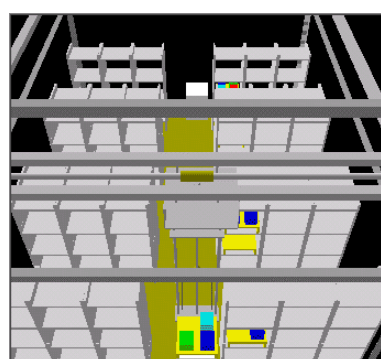
(j) – No ponto de aproximação



(k) – Paleta levantada sobre o ponto de entrada



(l) – Paleta pousada no ponto de entrada



(m) – No ponto de aproximação, já sem paleta

**Figura 8.4 – Representação gráfica da grua nos diversos pontos de via (saída de paleta).**



## 9. MÉTODOS DE DECISÃO

### 9.1. ENTRADA DE PRODUTOS

Quando se pretendem colocar produtos no armazém é usado um método de decisão que permite escolher a localização desses produtos no armazém. Esse método pode ser alterado em tempo real, o que afectará as decisões para os novos pedidos recebidos a partir desse momento. Existe um conjunto de métodos pré-definidos. Os métodos recebem como parâmetros o ponto de entrada para onde é efectuado o pedido e a configuração com a distribuição dos produtos na paleta.

É verificado o estado do armazém na altura do pedido, recorrendo à informação contida na base de dados.

O primeiro passo dos vários métodos é verificar o conjunto de prateleiras onde é possível colocar a paleta. Todas as prateleiras que estejam reservadas são consideradas indisponíveis.

Quando as paletes não ficam guardadas dentro do armazém, as prateleiras que estejam vazias formam o conjunto de prateleiras disponíveis.

No caso das paletes estarem contidas no armazém, é verificado o conjunto de paletes que podem receber os produtos naquelas localizações. Por exemplo, quando se pretender colocar um produto na posição *UR* (ver Secção 2.3.1 para descrição das várias posições da paleta), qualquer paleta que tenha essa posição livre é considerada disponível, mesmo que já contenha produtos noutras posições.

Caso este conjunto seja vazio não é possível introduzir os produtos pretendidos no armazém, sendo gerada uma mensagem de erro que é enviada para o utilizador que fez o pedido.

Ao conjunto escolhido é aplicado um dos métodos que define a localização dos novos produtos no armazém.

#### 9.1.1. Aleatório

Entre todas as localizações possíveis é escolhida uma delas aleatoriamente. Para garantir que o método não gera sempre a mesma sequência de decisões, sempre que o programa é iniciado é gerada uma semente dependente da data e hora.

#### 9.1.2. Distância Percorrida

Estes métodos baseiam-se no cálculo da distância a percorrer pela grua. A distância é calculada, separadamente, para cada um dos graus de liberdade. Para um melhor ajuste ao



desempenho do sistema mecânico são atribuídos pesos às diversas distâncias percorridas segundo cada um dos eixos apresentados na Secção 2.1. Assim, a função de custo,  $f$ , a minimizar será

$$f = C_X D_X + C_Y D_Y + C_Z D_Z + C_R D_R \quad (9.1)$$

em que  $D_X$ ,  $D_Y$ ,  $D_Z$  e  $D_R$  são, respectivamente, as distâncias percorridas segundo os eixos  $x$ ,  $y$ ,  $z$  e  $r$  e  $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$  e  $C_R$  os custos associados a cada uma delas. Estes custos são configuráveis.

A solução óptima é aquela à qual corresponder uma menor distância (tendo em conta os pesos atribuídos a cada grau), ou seja, um menor valor da função  $f$ .

### **Distância ao Ponto de Entrada**

Pretende-se neste método colocar a paleta o mais perto possível do ponto de entrada pelo qual está a entrar a paleta.

Entre todas as localizações possíveis, escolhe-se aquela cuja distância total percorrida entre o ponto de entrada e a prateleira onde se vai colocar a paleta seja inferior. A distância entre o ponto onde inicialmente se tem a grua e a entrada não é considerada, já que qualquer que seja a localização escolhida a grua tem que ir buscar a paleta à entrada.

### **Distância Média aos Pontos de Entrada**

Pretende-se neste caso que a paleta fique à mínima distância dos vários pontos, visto não se saber por qual deles irá a paleta ser retirada.

A distância usada é a média das distâncias entre cada prateleira e os vários pontos de entrada.

### **Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada**

Neste método pretende-se que a paleta fique à menor distância possível dos pontos de entrada do armazém, excepto aquele por onde a paleta entrou. Assume-se assim que a paleta não será retirada pelo mesmo ponto de entrada.

### **9.1.3. Novos Métodos**

Existe a possibilidade de definir novos métodos de decisão para entrada de produtos. Para isso é necessário codificar os algoritmos e integrá-los no código. Essa modificação é analisada no Anexo E, Secção E.1.1.



## **9.2. SAÍDA DE PRODUTOS**

Quando se pretendem retirar produtos do armazém usa-se um método de decisão que escolhe qual ou quais as paletes a retirar. Esse método pode ser alterado em tempo real, o que afectará as decisões para os novos pedidos recebidos a partir desse momento. Existe um conjunto de métodos pré-definidos. Os métodos recebem como parâmetros o ponto de entrada para onde se faz o pedido, o número de produtos a retirar e a respectiva categoria e estado.

É verificado o estado do armazém na altura do pedido recorrendo à informação contida na base de dados.

O primeiro passo dos vários métodos é verificar qual o conjunto de paletes que contêm produtos com as características especificadas. Todas as paletes que estejam reservadas são consideradas indisponíveis. Caso este conjunto seja vazio ou contenha produtos em número inferior ao pretendido é gerada uma mensagem de erro e enviada para o utilizador que fez o pedido.

Ao conjunto escolhido é aplicado um dos métodos que define quais as paletes e respectivos produtos a serem retirados.

### **9.2.1. Aleatório**

Entre todas as paletes seleccionadas é escolhida uma delas aleatoriamente. Para garantir que o método não gera sempre a mesma sequência de decisões, sempre que o programa é iniciado é gerada uma semente dependente da data e hora.

### **9.2.2. Distância à Saída**

Do conjunto de paletes seleccionadas são escolhidas aquelas cuja distância ao ponto de entrada para o qual o pedido foi efectuado é menor. A função de custo usada neste caso é equivalente à usada para a entrada de produtos (9.1), havendo, tal como nessa função, custos associados a cada um dos graus de liberdade considerados. As paletes escolhidas são as que correspondem a um menor custo. Se for necessário retirar mais do que uma paleta a escolha é feita por ordem crescente de custo. Em cada paleta os produtos a retirar são assinalados.

### **9.2.3. Antiguidade**

Neste método pretende-se retirar do armazém os produtos que há mais tempo aí estão. Verifica-se portanto, entre todos os produtos com as características pretendidas, quais os que têm uma data de entrada no armazém mais antiga.

A função de custo é, simplesmente,



$$f = -T_{in} \quad (9.3)$$

em que  $T_{in}$  é o tempo decorrido desde que o produto entrou no armazém.

Se forem necessárias várias paletes para satisfazer o pedido a escolha é feita por ordem crescente de custo.

#### **9.2.4. Novos Métodos**

Tal como no caso da entrada de produtos é possível definir novos métodos de decisão para saída de produtos. Para isso é necessário codificar os algoritmos e integrá-los no código. Essa modificação é analisada no Anexo E, Secção E.1.2.

### **9.3. ESCOLHA DO PEDIDO SEGUINTE**

Sempre que a grua termina uma tarefa de entrada ou saída de produtos fica disponível para atender um novo pedido. No entanto, poderá existir um conjunto de pedidos que podem ser atendidos nessa altura. Por cada ponto de entrada poderá existir um pedido que corresponde ao próximo pedido a ser atendido nessa entrada. O próximo pedido a ser atendido será uma escolha entre os que poderão ser atendidos.

#### **9.3.1. Aleatório**

Entre todos os pedidos passíveis de ser atendidos é escolhido um aleatoriamente. Para garantir que o método não gera sempre a mesma sequência de decisões, sempre que programa é iniciado é gerada uma semente dependente da data e hora.

#### **9.3.2. Distância à Entrada**

Neste método é calculada a distância entre a posição actual da grua e os vários pontos de entrada onde existem pedidos. É escolhido o pedido do ponto de entrada que esteja mais perto da posição actual da grua.

A função usada na minimização é equivalente à (9.1).

#### **9.3.3. Distância ao Próximo Pedido**

Neste método a distância é calculada entre a posição actual e a prateleira onde está localizada a palete referente ao próximo pedido. É escolhido o pedido cuja prateleira esteja mais perto da grua.

A função usada na minimização é equivalente à (9.1).



### **9.3.4. Maior Número de Pedidos**

Este método pretende evitar o acumular de demasiado número de pedidos numa determinada entrada. O próximo pedido a ser atendido é o primeiro pedido da entrada que tenha um maior número de pedidos acumulado. A função de custo a minimizar é:

$$f = -N_{requests} \quad (9.2)$$

em que  $N_{requests}$  é o número de pedidos por entrada.

### **9.3.5. Novos Métodos**

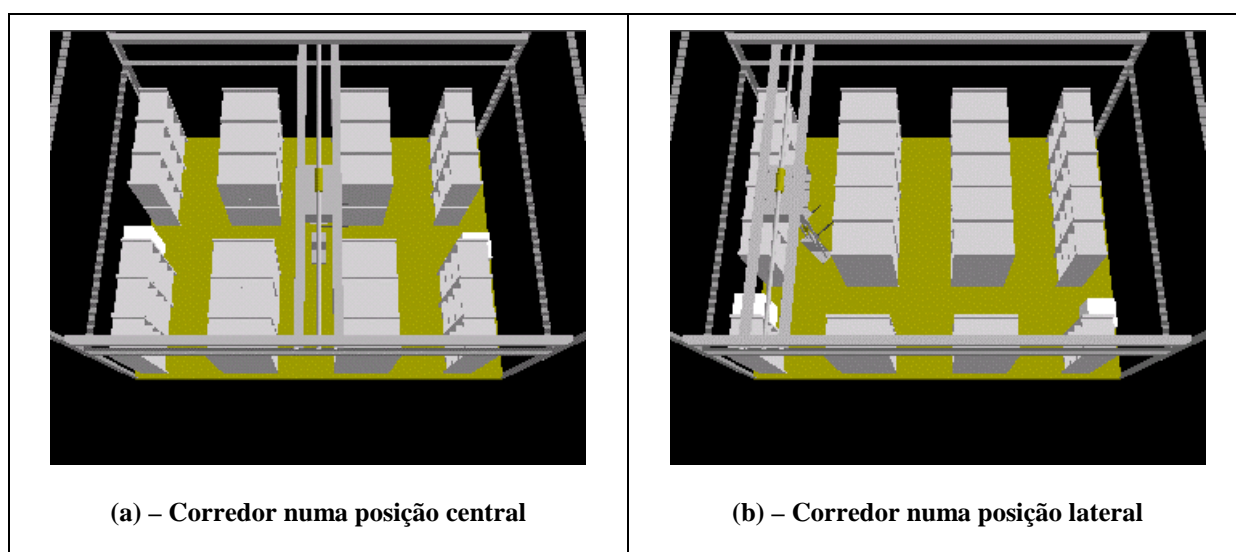
Também neste caso é possível definir novos métodos de decisão para saída de produtos. Essa modificação é analisada no Anexo E, Secção E.1.3.



## 10. TESTES

### 10.1. EFEITO DA POSIÇÃO DO CORREDOR PRINCIPAL

Uma das opções tomadas para a configuração do armazém foi colocar um corredor principal sensivelmente a meio da largura do armazém e ao longo do seu comprimento. Para se verificar que essa configuração era realmente vantajosa, fizeram-se duas experiências para comparar essa configuração com uma em que o corredor principal estivesse colocado numa posição mais lateral. Na Figura 10.1 podem-se observar as duas configurações testadas.



**Figura 10.1 – Diferentes posições do corredor principal do armazém.**

Um dos testes efectuados consistia em encher totalmente o armazém com produtos. O método de decisão usado foi o método da Distância ao Ponto de Entrada, apresentado na Secção 9.1.2. Os pesos usados foram todos iguais a 1. As distâncias totais percorridas por grau de liberdade estão apresentados na tabela seguinte.

Posição do Corredor Principal	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
Central (a)	285730	62640	54202	51984	454556
Lateral (b)	285730	87120	54202	51984	479036

**Tabela 10.1 – Distância percorrida na entrada de paletes com diferentes configurações.**

Como se pode observar os valores para os graus X, Z e R são iguais para as duas configurações. Isto porque a grua tem que ir a todas as posições do armazém e como os corredores laterais se encontram nas mesmas posições, as distâncias nesses eixos mantêm-se.





Quando à distância percorrida segundo o grau Y é maior no caso do corredor principal ser lateral. Esse aumento deve-se ao facto das prateleiras mais distantes do corredor principal estarem mais afastadas desse mesmo corredor.

O outro teste efectuado, para verificar o efeito da posição do corredor principal, consistia em retirar todas as paletes do armazém. O método usado foi o método da Distância, com os pesos todos iguais a 1. Os valores das distâncias obtidas são apresentados na tabela seguinte.

Posição do Corredor Principal	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
Central (a)	288130	125280	52070	25920	491400
Lateral (b)	288130	171360	52070	25920	537480

**Tabela 10.2 – Distância percorrida na saída de paletes com diferentes configurações.**

Tal como no caso da entrada de produtos, a distância percorrida mantém-se para os graus X, Z e R e a é maior para o grau Y quando o corredor está numa posição lateral. A explicação é a mesma do caso de entrada de produtos.

## 10.2. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE DECISÃO PARA ENTRADA DE PRODUTOS

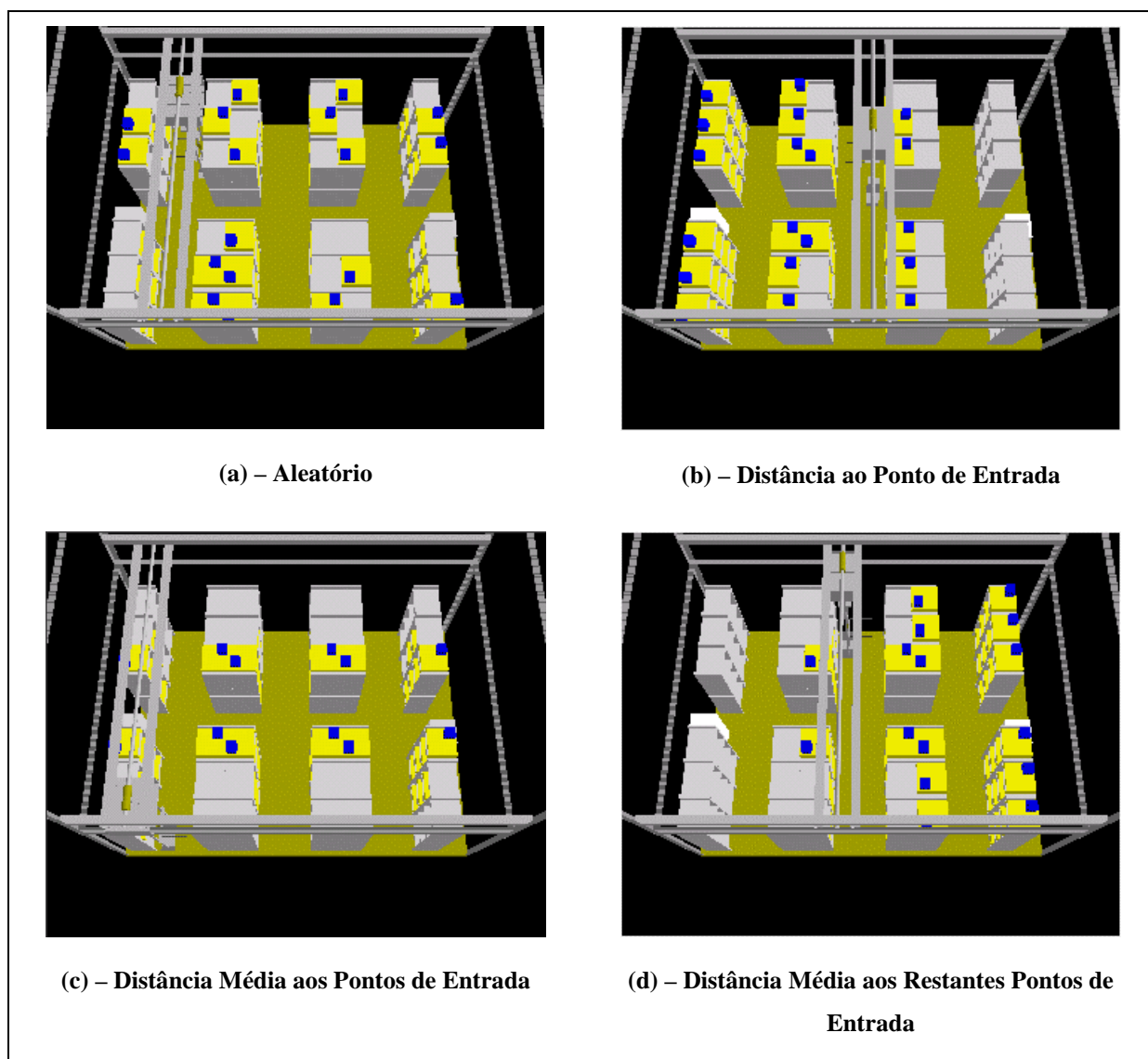
### 10.2.1. Entrada de 80 paletes

Neste primeiro teste analisa-se a distância percorrida por grau de liberdade para os métodos de entrada que não dependem da configuração das paletes. Para os métodos baseados em distância foram usados os mesmos pesos e todos iguais a 1. O teste consiste em introduzir 80 paletes com produtos no armazém. Na Figura 10.3 são apresentados os resultados obtidos.

Método de Decisão	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
Aleatório	163390	34510	30062	29058	257020
Distância ao Ponto de Entrada	101370	32700	29338	28868	192276
Distância Média aos Pontos de Entrada	157150	25660	26946	28702	238458
Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada	214500	32810	29392	28880	305582

**Tabela 10.3 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes usando diferentes métodos de entrada.**

O estado final do armazém após a entrada das 80 paletes pode ser observado na Figura 10.2.



**Figura 10.2 – Estado final do armazém após entrada de 80 paletes usando diferentes métodos de entrada.**

O método que apresenta melhores resultados é o “Distância ao Ponto de Entrada”. Nesse caso as paletes ficam o mais perto possível da entrada logo a distância percorrida é a mais baixa possível.

O método que resulta numa maior distância percorrida é o “Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada”. Neste caso, existe apenas um segundo ponto de entrada. Para que as paletes fiquem o mais perto possível dessa entrada a distância percorrida é elevada, já que a grua tem que ir buscar os produtos a um dos lados do armazém e colocá-los no lado oposto. Este método pode ser útil quando se sabe à partida que os produtos entram numa entrada e saem noutra e se pretende retirar rapidamente produtos por essa entrada.



No método “Distância Média aos Pontos de Entrada” verifica-se que a localização das paletes é em torno do corredor central pois são as prateleiras que em média estão mais perto das duas entradas já que a distância média a percorrer segundo o grau  $x$  é praticamente igual para todas as prateleiras. Segundo o grau  $r$  a distância também é igual para todas as prateleiras, já que uma das entradas tem uma orientação e a outra está rodada  $180^\circ$  em relação a essa, logo a média é equivalente para todas elas. Restam portanto os graus  $y$  e  $z$ . Serão por isso escolhidas as prateleiras cuja soma das distâncias segundo  $y$  e  $z$  seja menor. A influência da distância a percorrer segundo  $y$  é superior logo as prateleiras escolhidas situam-se o mais perto possível do corredor principal, como se pode observar na Figura 10.2.(c). Embora a distância total percorrida usando este método seja superior à do método que usa a distância ao ponto de entrada, pode-se verificar que a distância percorrida segundo  $y$  e  $z$  é inferior.

Como se verifica recorrendo à Figura 10.2 usando o método “Aleatório” as prateleiras são escolhidas sem uma ordem definida ao longo de todo o armazém, tal como era de esperar.

### 10.2.2. Influência do método de entrada na saída de produtos

Nas subsecções seguintes vai-se analisar a influência que o método escolhido para a entrada de produtos tem sobre os resultados da saída de produtos. O método usado para a saída de produtos é o da “Distância à Saída”.

#### Saída de 50 paletes pela mesma entrada

O teste seguinte consiste em retirar 50 paletes com produtos pelo mesmo ponto de entrada pelo qual se introduziram produtos no armazém. O estado inicial do armazém é o obtido após a entrada usando os vários métodos testados na Secção 10.2.1. Nesse teste introduziram-se 80 paletes no armazém. O objectivo é retirar 50 dessas paletes e verificar as distâncias percorridas. Na Tabela 10.4 estão apresentados os resultados obtidos.

Saída após Método de Entrada	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
Aleatório	77120	39860	17660	6862	141502
Distância ao Ponto de Entrada	56080	37580	17100	5796	116556
Distância Média aos Pontos de Entrada	70880	31100	15540	7576	125069
Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada	122160	36260	16720	6152	181292

**Tabela 10.4 – Distância percorrida para retirar 50 paletes pela mesma entrada (após entrada de 80 paletes).**



Como era de esperar o método com o qual a saída de produtos pelo mesmo ponto é mais eficiente é o método da “Distância ao Ponto de Entrada”. Isso deve-se ao facto de, com esse método, os produtos ficarem o mais perto possível desse ponto, sendo pois mais fáceis de retirar.

O método que conduz a piores resultados na saída é o método “Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada”, já que coloca os produtos próximos das outras entradas (neste caso apenas 1) e não próximos daquela por onde os produtos entraram.

Nos outros métodos a distribuição dos produtos é ao longo do armazém logo os resultados apresentam valores entre os anteriores.

### Saída de 50 produtos pela outra entrada

Neste teste retiram-se as paletes pela entrada oposta àquela por onde entraram. Os resultados obtidos estão na Tabela 10.5.

Saída após Método de Entrada	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
Aleatório	73920	40260	17560	7378	139118
Distância ao Ponto de Entrada	128080	36820	17460	3960	186320
Distância Média aos Pontos de Entrada	77720	29980	16260	7200	131160
Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada	59000	37780	17640	5400	119820

**Tabela 10.5 – Distância percorrida para retirar 50 paletes pela outra entrada (após entrada de 80 paletes).**

No caso das paletes saírem pela entrada oposta àquela por onde entraram o método que conduz aos melhores resultados é o da “Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada”. Como com esse método de entrada as paletes ficam o mais próximo possível das outras entradas (neste caso aquela por onde se efectua a saída), essas paletes estão o mais próximo possível do ponto por onde se retiram, logo a distância a percorrer é inferior aos outros casos.

O método de entrada que conduz aos piores resultados na saída é o método “Distância ao Ponto de Entrada”. Nesse caso, os produtos ficam perto do ponto por onde entraram e por isso longe da saída.

Nos outros dois casos os produtos estão dispostos por todo o armazém e por isso os resultados são intermédios, tal como tinha acontecido no teste anterior.



### Saída de 25 produtos por cada uma das entradas

Nos dois testes anteriores a saída tinha sido efectuada apenas por um dos lados. Neste teste a saída das paletes é efectuada em duas fases. Primeiro, retiram-se 25 paletes por uma das saídas e depois 25 paletes pela outra. Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 10.6.

Saída após Método de Entrada	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
Aleatório	59920	36040	16760	4166	116886
Distância ao Ponto de Entrada	76160	38340	16860	2736	134096
Distância Média aos Pontos de Entrada	54200	29380	14920	5956	104456
Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada	78000	35300	16300	4156	133756

**Tabela 10.6 – Distância percorrida para retirar 25 paletes por cada uma das entradas (após entrada de 80 paletes)**

Neste teste o método de entrada que conduziu a melhores resultados foi o método “Distância Média aos Pontos de Entrada”. Neste método os produtos ficaram dispostos junto ao corredor principal (como se pode observar na Figura 10.2.(c)). Assim, ficaram produtos perto de ambas as entradas. Quando se pediram 25 paletes para uma delas, as paletes que estavam mais perto da respectiva entrada foram retiradas. No caso da outra entrada passou-se o mesmo.

Nos métodos “Distância ao Ponto de Entrada” e “Distância Média aos Restantes Pontos de Entrada” as paletes ficavam localizadas junto a uma entrada específica. Desse modo, para retirar paletes pela entrada oposta, a distância a percorrer era muito elevada. Explicam-se assim, os valores de distância percorrida mais elevados para esses dois métodos. Com o método aleatório os resultados foram melhores do que com estes dois métodos já que havia paletes distribuídas por todo o armazém, havendo por isso paletes mais próximas de ambas as entradas do que no caso em que as paletes estão localizadas junto a uma delas. No entanto, como as paletes não estão tão próximas do corredor principal como no método “Distância Média aos Pontos de Entrada”, a distância percorrida foi superior.



### 10.3. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE DECISÃO PARA SAÍDA DE PRODUTOS

Os seguintes testes servem para verificar o desempenho dos métodos de saída de produtos implementados. Os testes consistem em retirar 80 paletes (cada uma com 1 produto) do armazém totalmente cheio com paletes (144 paletes cada uma com 1 produto): O método usado para encher o armazém foi diferente em cada uma das experiências efectuadas.

#### 10.3.1. Saída de 80 paletes (Armazém cheio com método de decisão “Aleatório”)

Nesta experiência o armazém foi cheio usando o método de decisão “Aleatório”. Partindo da mesma configuração inicial (localização e ordem de entrada das paletes e localização inicial da grua iguais) retiraram-se 80 paletes aplicando os diferentes métodos. No início a antiguidade média dos produtos no armazém é de 1 hora e 7 minutos. A distância percorrida e a antiguidade média dos produtos retirados estão descritos na Tabela 10.7 e o estado final do armazém está representado na Figura 10.3. A antiguidade média é medida em relação a um dado instante de tempo que corresponde ao instante em que o último produto entrou no armazém.

Método de Decisão	Distância Percorrida					Antiguidade Média
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total	
Aleatório	150980	70580	29140	13154	263854	1h11m
Distância à Saída	109600	66160	28200	10840	214800	1h09m
Antiguidade	171600	69540	29700	12620	283460	37m

**Tabela 10.7 – Distâncias percorridas e antiguidade média na saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Aleatório”).**

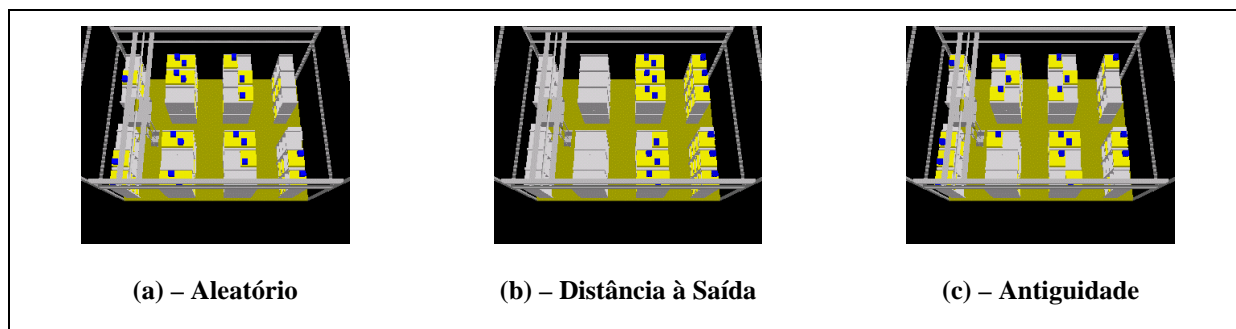
Pode-se verificar que o método com que se obtém uma menor distância percorrida é o método “Distância à Saída” já que as paletes retiradas são as mais próximas da saída, logo, aquelas para as quais é necessário percorrer uma menor distância. Pode-se observar na Figura 10.3.(b) os espaços deixados livres pela saída das paletes, onde se verifica que as paletes situadas mais perto da saída foram retiradas.

A menor antiguidade média dos produtos no armazém é conseguida, tal como era de esperar, usando o método “Antiguidade” já que os produtos que há mais tempo se encontram no armazém são retirados. No entanto, a distância percorrida nesse caso foi a maior. Como a entrada de produtos se efectuou usando o método “Aleatório” e na saída se retiram os



produtos pela ordem que entraram verifica-se (Figura 10.3.(c)) que o estado final do armazém foi semelhante à situação em que a saída se efectuou usando o método “Aleatório”

Com o método “Aleatório” foram retiradas paletes ao longo de todo o armazém como facilmente se depreende da Figura 10.3.(a). A distância percorrida foi superior ao caso do método “Distância à Saída” mas inferior à obtida com o método “Antiguidade”. A antiguidade média dos produtos foi a maior.



**Figura 10.3 – Estado final do armazém após a saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Aleatório”).**

Caso se pretenda que o factor mais importante seja a distância percorrida, deve-se usar o método “Distância à Saída”. Se a intenção for manter o armazém com os produtos mais recentes deve-se usar o método “Antiguidade”.

### **10.3.2. Saída de 80 paletes (Armazém cheio com método de decisão “Distância ao Ponto de Entrada”)**

Neste caso, o armazém foi cheio usando o método “Distância ao Ponto de Entrada”. A saída foi efectuada partindo do mesmo estado inicial do armazém. A antiguidade média dos produtos no armazém inicial era de 1 hora e 6 minutos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 10.8 e o estado final representado na Figura 10.4.

Método de Decisão	Distância Percorrida					Antiguidade Média
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total	
Aleatório	160410	73980	28890	14400	277680	1h08m
Distância à Saída	109600	66160	28200	10840	214800	40m
Antiguidade	102080	65400	28200	16536	212216	33m

**Tabela 10.8 – Distâncias percorridas na saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Distância ao Ponto de Entrada”).**

Verifica-se pelos resultados obtidos, em comparação com os obtidos na Secção 10.3.1, que a distância percorrida usando o método “Distância à Saída” é igual. Isso acontece pois, nesse





método, são retirados os produtos que estão mais perto da saída. Ora, como o armazém está inicialmente cheio em ambas as situações, as mesmas paletes, que se encontram mais perto da saída, são retiradas em primeiro lugar. Pode-se também observar na Figura 10.4.(b) que o estado final é igual ao obtido anteriormente.

No método “Antiguidade” os produtos são retirados pela mesma ordem por que entraram. Como o método de entrada colocava as paletes o mais próximo da entrada, esses produtos são retirados, ficando vazia a zona próxima da entrada/saída (Figura 10.4.(c)). A distância percorrida para tirar esses produtos é por isso semelhante à obtida para o método “Distância à Saída”. A antiguidade média dos produtos que ficam no armazém é a menor.

O método “Aleatório” conduz aos piores resultados pois os produtos retirados não estão necessariamente próximos da saída, tal como se pode observar na Figura 10.4.(a).

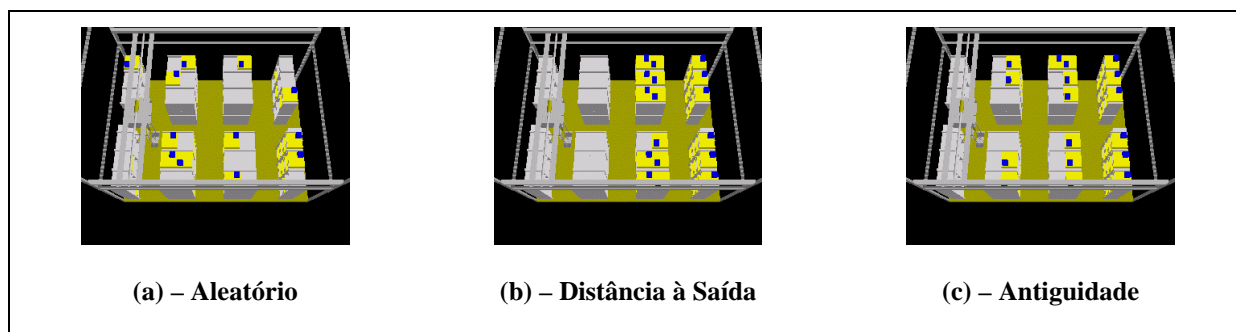
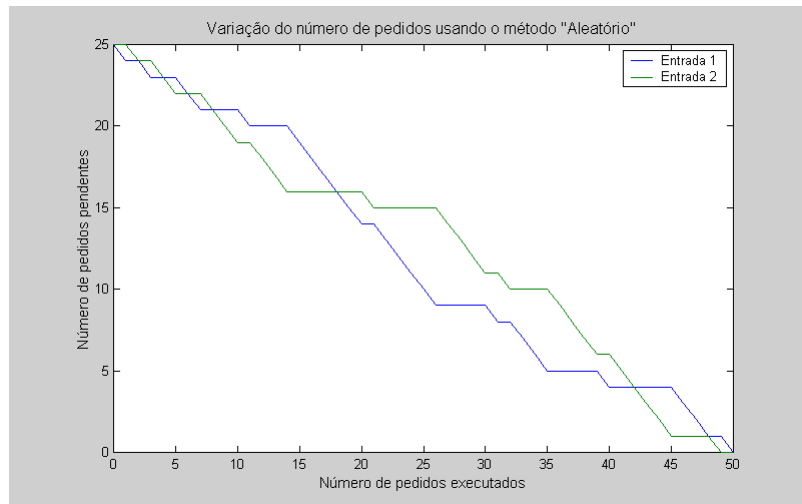


Figura 10.4 – Estado final do armazém após a saída de 80 paletes usando diferentes métodos de saída (armazém cheio usando método de entrada “Distância ao Ponto de Entrada”).

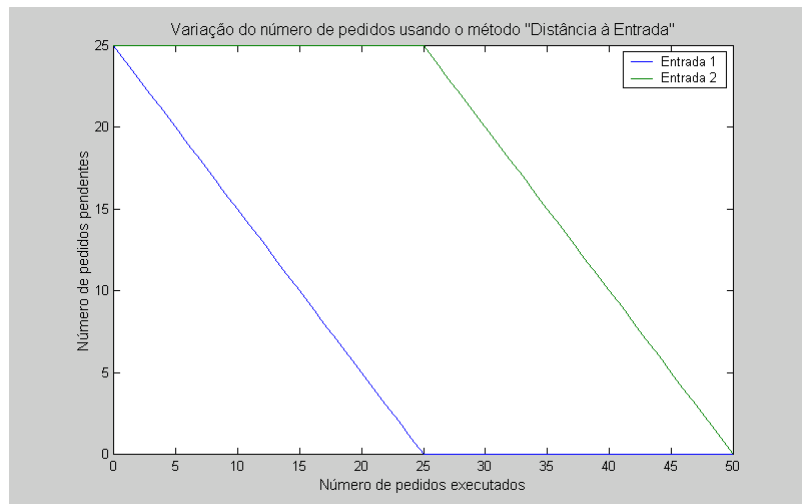
## 10.4. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE DECISÃO PARA ESCOLHA DO PEDIDO SEGUINTE

Neste teste faz-se a análise dos vários métodos para escolha do pedido seguinte. Este métodos são aplicados sempre que é necessário decidir qual o pedido a ser atendido. O teste consiste em proceder à entrada de 25 paletes por cada uma das duas entradas do armazém, num total de 50 pedidos, usando o método de decisão “Distância ao Ponto de Entrada”. Pode-se verificar na Figura 10.5, na Figura 10.6 e na Figura 10.7 a evolução do número de pedidos pendentes em cada uma das entradas. Na Tabela 10.9. estão descritas as distâncias percorridas obtidas em cada um dos métodos.

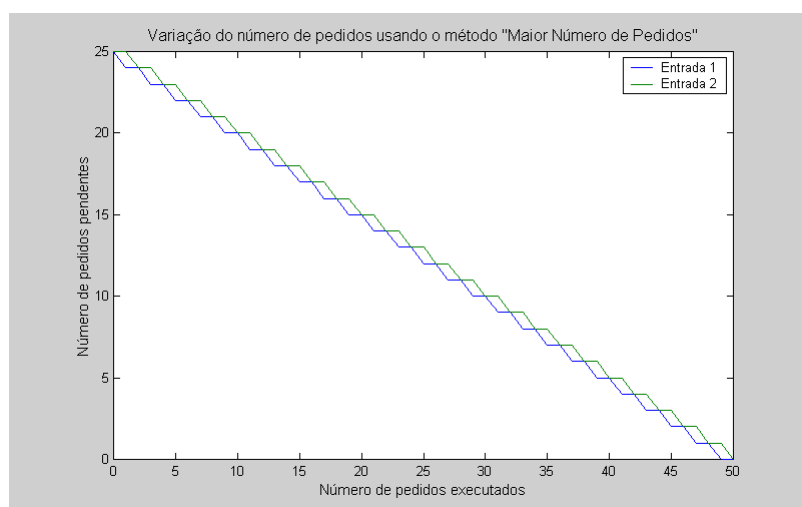




**Figura 10.5 –Variação do número de pedidos usando o método “Aleatório”.**



**Figura 10.6 –Variação do número de pedidos usando o método “Distância à Entrada”.**



**Figura 10.7 –Variação do número de pedidos usando o método “Maior Número de Pedidos”.**



Método de Decisão	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
Aleatório	66350	18030	16100	15300	115780
Distância à Entrada	42810	18030	15790	18000	94530
Maior Número de Pedidos	101620	18030	16420	13140	149210

**Tabela 10.9 – Distâncias percorridas na entrada de 50 produtos variando o método de decisão para escolha do pedido seguinte.**

Usando o método “Maior Número de Pedidos” o número de pedidos em cada entrada é semelhante pois o pedido a ser atendido é um pedido da entrada que tenha mais pedidos pendentes (Figura 10.5). Desse modo, sempre que se reduza o número de pedidos numa entrada é necessário reduzir na outra, já que a última fica com mais pedidos pendentes. No entanto, a distância percorrida para atender aos pedidos por essa ordem é a maior, já que a grua tem que atender, alternadamente, um pedido em cada uma das entradas.

Usando o método “Distância à Entrada” a distância total percorrida é a menor. No entanto, numa das entradas os pedidos ficam pendentes até que todos os pedidos na outra entrada estejam atendidos (Figura 10.6).

Usando o método “Aleatório” a distância percorrida não é tão baixa como a obtida para o método “Distância à Entrada”. Contudo, vão sendo atendidos pedidos de ambas as entradas (Figura 10.7).

## **10.5. VARIAÇÃO DOS PESOS ATRIBUÍDOS AOS GRAUS**

Os vários métodos baseados em distâncias têm pesos atribuídos a cada um dos graus de liberdade. Esses pesos podem servir para representar a velocidade ou consumo de energia relativos a cada grau. Desse modo é fácil penalizar os graus que mais energia consomem ou que são mais lentos, procurando localizações para as quais não haja necessidade de efectuar tantos movimentos ao longo desses graus de liberdade. Devido ao significado desses pesos eles podem ser designados por custos.

Nas próximas secções descrevem-se os resultados obtidos variando o custo atribuído a cada um dos graus de liberdade considerados e verificando a implicação dessa alteração na localização dos produtos no armazém. Os testes efectuados consistiam em manter todos os custos iguais a 1 e variar o custo a testar. Para cada custo foram testados os custos 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 10 e 100. Desta forma pode-se verificar qual a influência do custo quando é muito menor ou muito maior que os restantes.



### 10.5.1. Custo X

Os resultados obtidos com a variação do custo X na entrada de paletes estão descritos na Tabela 10.10 e os estados finais do armazém estão representados na Figura 10.8.

Custo X ( $C_X$ )	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
0	155040	26210	27444	28680	237374
0,25	128450	28120	27162	28856	212588
0,5	111330	30790	27834	28680	198634
1	101370	32700	29338	28868	192276
2	100730	33460	29488	28864	192542
10	100730	33460	29488	28864	192542
100	100730	33460	29488	28864	192542

Tabela 10.10 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo X.

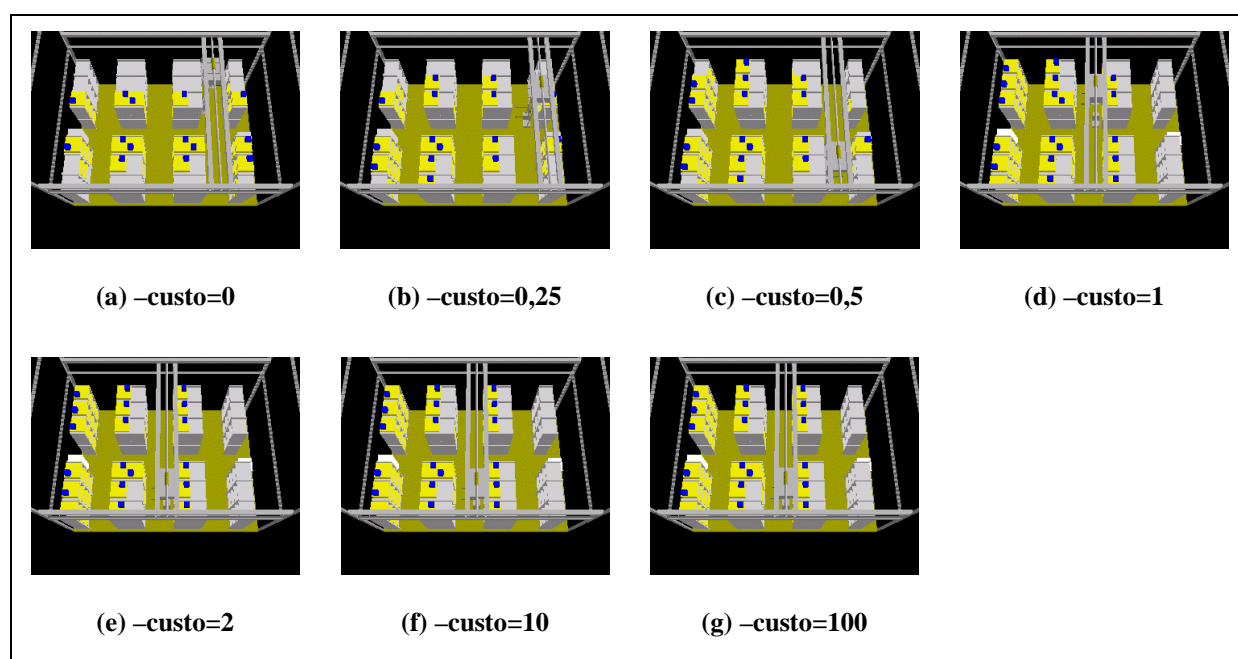


Figura 10.8 – Influência da variação do custo X no estado final do armazém após entrada de 80 paletes.

Pode-se verificar na Tabela 10.10, que quanto maior foi o custo X, menor foi a distância percorrida por esse mesmo grau. No entanto, para os custos a partir do custo 1 essa variação foi pouco significativa e mesmo igual para os custos 2, 10 e 100. Na Figura 10.8 pode-se observar que o estado final do armazém é igual para esses custos. Como nesses casos as paletes já estão o mais próximo possível da entrada, já não é possível otimizar mais essa localização mesmo atribuindo um custo maior aos movimentos segundo esse grau.

Quando mais o custo X é próximo de 0 mais as paletes são colocadas ao longo do corredor principal, havendo tendência para executar movimentos segundo o grau X pois o custo é muito inferior aos outros que são mais penalizados. Ao aumentar o custo os produtos



começam a ser colocados mais perto da entrada tal como se pode observar na evolução do estado final do armazém.

Como a distância a percorrer segundo X é superior à distância a percorrer segundo os outros graus a influência da distância percorrida por este grau na distância total percorrida é grande. É por isso que se verifica que quanto maior o custo X, menor a distância total percorrida.

### 10.5.2. Custo Y

Os resultados obtidos com a variação do custo Y na entrada de paletes estão descritos na Tabela 10.11 e os estados finais do armazém estão representados na Figura 10.9.

Custo Y ( $C_Y$ )	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
0	100730	35090	28776	28864	193460
0,25	101440	34040	28896	28864	193240
0,5	101440	33750	29248	28864	192300
1	101370	32700	29338	28868	192276
2	109890	30220	28816	28686	197612
10	146810	25080	29488	28698	230076
100	150290	24880	30010	28880	234060

Tabela 10.11 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo Y.

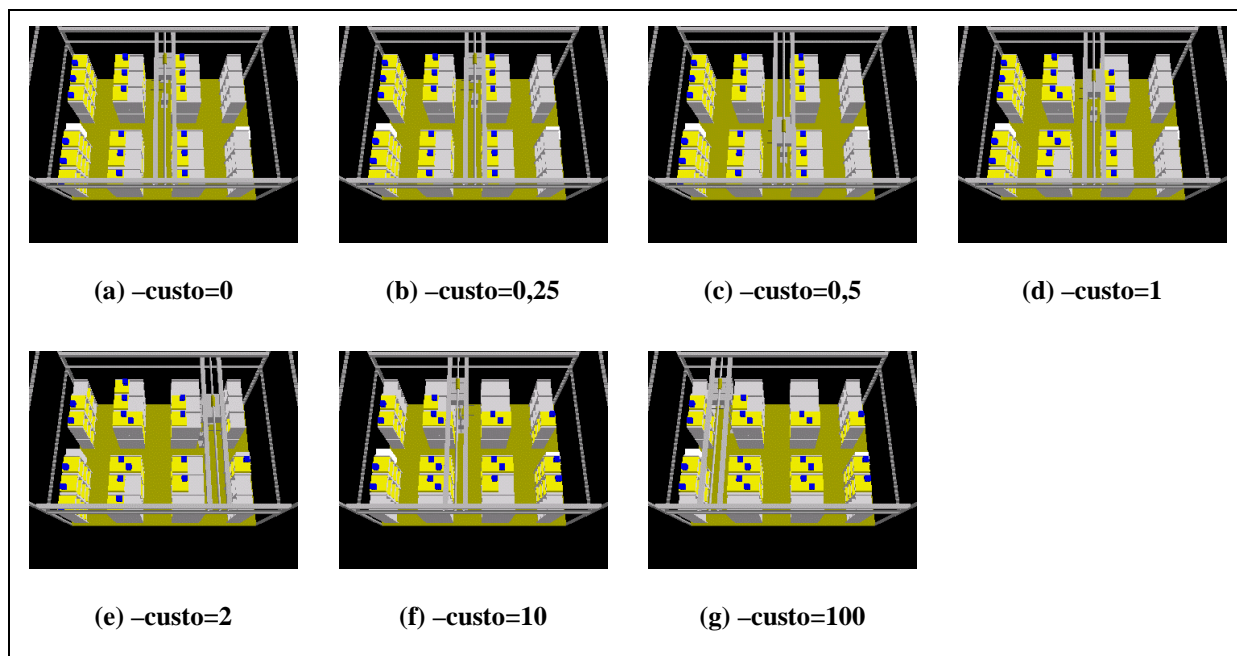


Figura 10.9 – Influência da variação do custo Y no estado final do armazém após entrada de 80 paletes.

Quando o valor do custo Y é 0 as paletes ficam colocadas nas filas laterais mais próximas da entrada (Figura 10.9.(a)) À medida que o custo Y vai aumentando as paletes tendem a ser colocadas mais próximas do corredor principal já que para essas posições a distância a



percorrer segundo Y é inferior. Pode-se verificar a evolução do estado final do armazém na Figura 10.9. Com os custos mais elevados as paletes são colocadas o mais próximo possível do corredor principal.

Quando o custo Y é elevado a grua tem que percorrer uma maior distância segundo X e por isso a distância total percorrida é superior. Com custos mais pequenos a distância percorrida Y é maior mas a distância percorrida segundo X é menor e por isso a variação na distância total percorrida pela grua não é significativa. No caso dos custos pequenos a variação na localização dos produtos também não é muito significativa, tal como se pode observar na Figura 10.9.(a) a (c).

### 10.5.3. Custo Z

Na Tabela 10.12 estão apresentados as distâncias percorridas e na Figura 10.10 o estado final do armazém, variando o custo Z.

Custo Z ( $C_z$ )	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
0	100890	33280	30010	28686	192866
0,25	100890	33280	30010	28686	192866
0,5	101370	32700	29488	28868	192426
1	101370	32700	29338	28868	192276
2	103770	32320	27994	28868	192952
10	142490	33180	20272	28870	224812
100	150110	34420	19404	28698	232632

Tabela 10.12 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo Z.

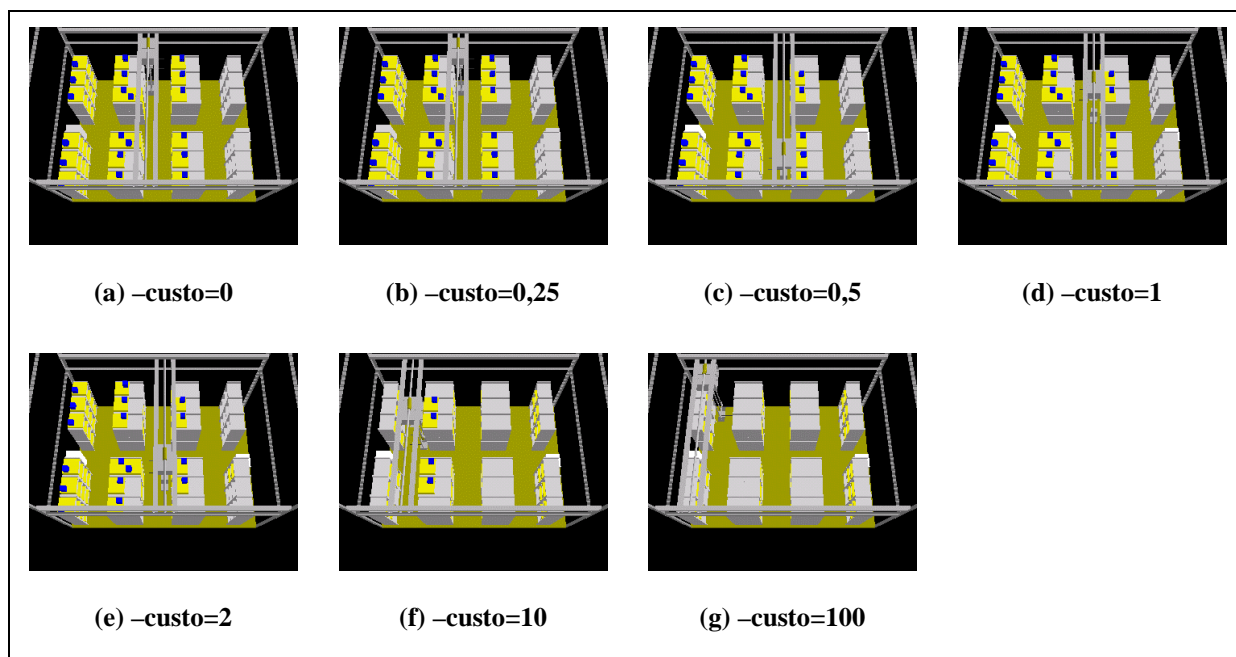


Figura 10.10 – Influência da variação do custo Z no estado final do armazém após entrada de 80 paletes.



Pode-se verificar que a distância percorrida para o grau Z foi diminuindo conforme o custo atribuído a esse grau foi aumentando. Quanto maior for o custo Z em relação aos outros custos mais as paletes tendem a ficar localizadas em prateleiras em que a variação de altura relativamente à entrada é inferior. Pode-se observar na Figura 10.10 que nos casos em que o custo é muito mais elevado que os outros (10 ou 100) as paletes não são colocadas nas prateleiras superiores. Para o caso dos custos menores a influência do custo praticamente não se nota pois o peso relativo dos outros graus de liberdade fazem com que a alteração do custo Z não tenha significado.

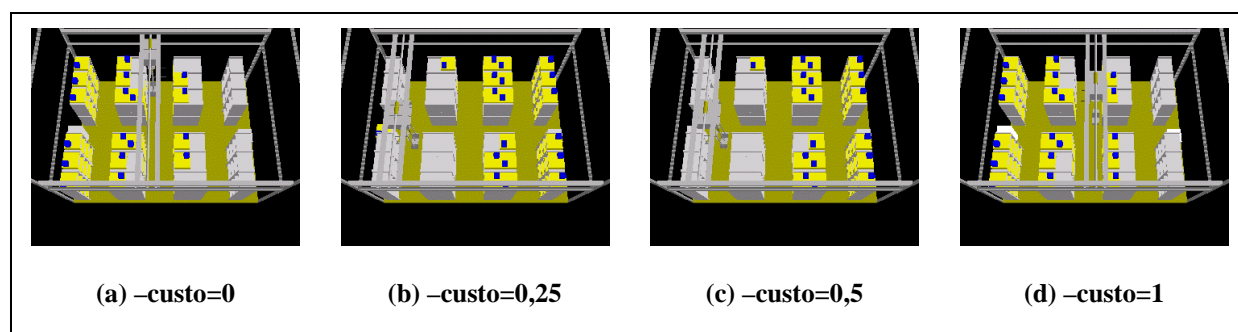
Para os custos mais elevados de Z a distância total a percorrer pela grua é superior pois, para que não a variação em Z seja pequena, é necessário colocar as paletes mais afastadas do ponto de entrada.

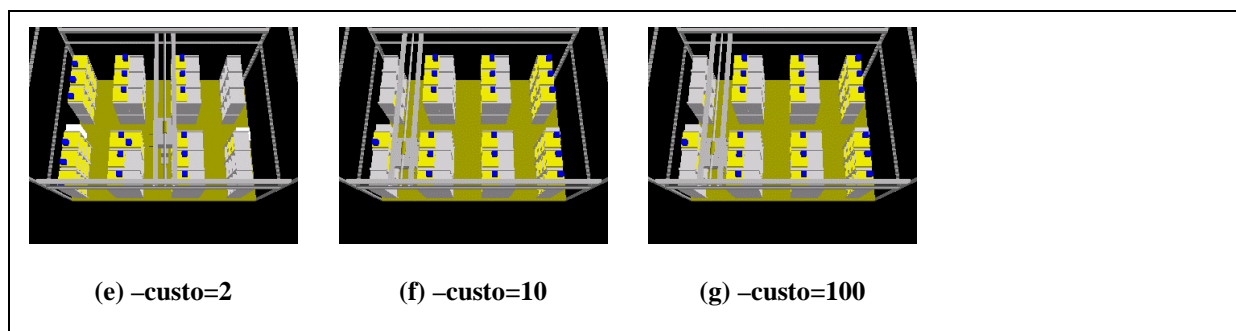
#### 10.5.4. Custo R

Na Tabela 10.13 estão apresentados as distâncias percorridas e na Figura 10.11 o estado final do armazém, variando o custo Z.

Custo R ( $C_R$ )	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
0	103570	32910	29196	28874	194550
0,25	102010	32520	28816	28872	192218
0,5	103100	33000	29458	28872	194430
1	101370	32700	29338	28868	192276
2	102490	33080	29338	28860	193768
10	141650	33460	29488	28816	233414
100	142460	33655	29618	28816	234549

Tabela 10.13 – Distâncias percorridas na entrada de 80 paletes variando o custo R.





**Figura 10.11 – Influência da variação do custo R no estado final do armazém após entrada de 80 paletes.**

No caso do custo R praticamente não existe variação da distância total percorrida. No entanto, observando a Figura 10.11 pode-se observar que as paletes foram colocadas de preferência de um dos lados da prateleira.

Praticamente não existe variação na distância total percorrida devido ao modo como foi efectuado o teste. As prateleiras só têm duas orientações (0 e 180°). A entrada está com uma orientação 180°. A grua só avança com a paleta orientada no sentido do movimento segundo X. Existem dois tipos de trajectórias efectuadas pela grua dependendo da posição inicial.

- Se a prateleira onde se vai colocar a paleta tiver uma orientação de 180° a grua não terá que rodar para ir buscar a próxima paleta a essa mesma entrada. No entanto, tem que rodar 2 vezes 180° para colocar a paleta nessa prateleira. Uma quando recolhe a prateleira para assim poder avançar ao longo do corredor principal e outra depois de chegar ao corredor lateral para rodar de acordo com a orientação da prateleira. Nessa altura a grua fica rodada de acordo com a orientação da entrada, não sendo necessária qualquer rotação para ir buscar a próxima paleta.
- Se a prateleira tiver uma orientação de 0° só é preciso rodar 180° quando se recolhe a prateleira na entrada. A partir daí a grua fica rodada de acordo com a orientação da prateleira. No entanto, quando for necessário ir buscar outra paleta a grua tem que rodar 180°. Deste modo, a rotação total para cada paleta é aproximadamente 360°.

Para verificar a influência da variação do custo Z na distância percorrida efectuou-se um teste que consistia na saída de 80 paletes de um armazém cheio.

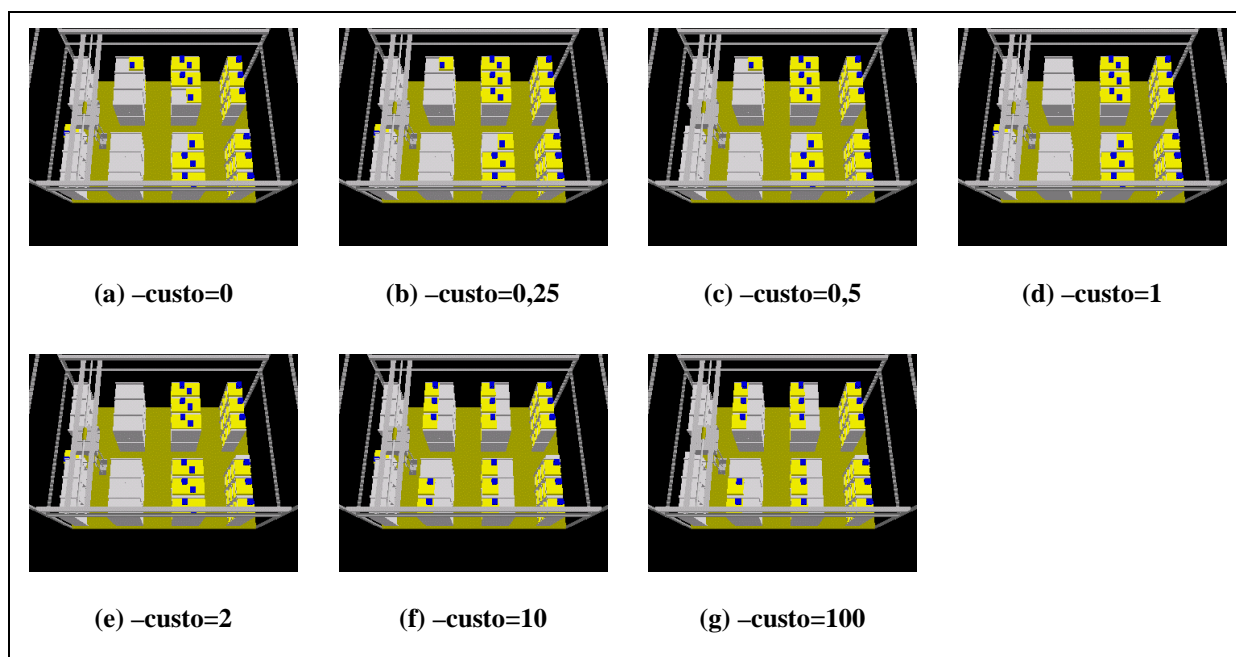
No caso da saída de paletes como a grua vai buscar directamente a paleta só tem que rodar se a sua orientação for diferente. Depois disso só tem que rodar para a entrada se a orientação não for coincidente com a da entrada. Poderá por isso não ser necessário rodar em todas as operações.

Os resultados obtidos na saída das paletes estão descritos na Tabela 10.14 e o estado final da grua está apresentado na Figura 10.12.



Custo R ( $C_R$ )	Distância Percorrida				
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	R (°)	Total
0	105920	65400	28200	12264	211784
0,25	107440	65200	27880	11908	212428
0,5	108960	65000	27600	11552	213112
1	110690	66160	28430	10840	216120
2	114160	66360	27880	9772	218172
10	159040	66920	28200	3008	257168
100	159040	66920	28200	3008	257168

**Tabela 10.14 – Distâncias percorridas na saída de 80 paletes variando o custo R.**



**Figura 10.12 – Influência da variação do custo R no estado final do armazém após saída de 80 paletes.**

Como se pode verificar na Tabela 10.14, neste teste já houve variação da distância percorrida segundo o grau R. Essa distância foi diminuindo com o aumento do custo associado.

O comportamento foi semelhante ao caso da entrada de paletes. Neste caso, com os custos elevados, foram retiradas prateleiras preferencialmente de um dos lados tal como se pode observar na Figura 10.12.





## 11. CONCLUSÃO

A arquitectura implementada é facilmente adaptável a outro modelo de armazém ou outra configuração de prateleiras. Ao ser uma arquitectura distribuída faz com que cada programa possa funcionar em computadores diferentes e adaptados à capacidade e localização necessária. Por exemplo, pode-se colocar o *Servidor* e *Simulador* em máquinas mais rápidas e a *Interface de Pedidos* e o *Controlador Global da Grua*, processos menos exigentes, em máquinas mais fracas. No entanto, caso seja necessário, poderão funcionar todos na mesma máquina. Uma outra utilização possível de máquinas separadas será no caso de se pretender ter uma *Interface de Pedidos* dedicada a cada entrada. Nesse caso poderia ter-se um pequeno computador por entrada, onde a interface funcionaria. O *Simulador* é relativamente exigente a nível de processamento, sendo aconselhado o uso de um computador relativamente rápido. Como o programa usa OpenGL é também aconselhado um computador com uma placa gráfica 3D que o suporte.

Os vários módulos foram testados simultaneamente num computador Intel Pentium II a 266Mhz, com 256Mb de RAM e com uma placa gráfica 3D. Nesse computador os módulos funcionaram correctamente e o *Simulador* permitiu um período de amostragem bastante pequeno, sem sobrecarregar o processador.

Os vários módulos foram também testados simultaneamente num computador Intel Pentium a 100Mhz, com 64Mb de RAM e com uma placa gráfica 2D. Neste caso foi necessário aumentar o período de amostragem do *Simulador* para não sobrecarregar o processador. Mesmo assim, foi possível colocar todos os módulos em funcionamento.

Com a implementação do *Simulador* facilmente se podem testar novos métodos de decisão e trajectórias, sem ser necessário usar o armazém e grua reais. Deste modo, facilmente se poderão verificar comportamentos incorrectos e evitar problemas que possam surgir.

O uso de uma base de dados para guardar o conteúdo do armazém e a localização das suas prateleiras faz com que os dados estejam acessíveis e actualizados sempre que o *Servidor* entra em funcionamento. Além disso, a adaptação à distribuição das prateleiras e pontos de entrada no armazém é muito fácil. Os dados ficam disponíveis para consulta com outros programas.

As trajectórias definidas fizeram com que o transporte se fizesse de maneira segura. Mesmo em testes com a grua real o comportamento mostrou-se bem adaptado. Como as rotações se fazem com os restantes motores parados e com a grua no corredor principal, o risco de a grua embater com as prateleiras ou da paleta cair é reduzido.



Os diferentes métodos permitem alterar o comportamento do armazém e devem ser adaptados à utilização a dar ao armazém. Se for necessário utilizar muitas vezes a mesma entrada do armazém será melhor utilizar métodos de entrada e saída que coloquem os produtos prioritariamente próximo dessa entrada. Este é o caso da célula de fabricação em que os produtos podem ter que ir várias vezes ao armazém para serem maquinados, utilizando maioritariamente o ponto de entrada que está ligado à célula de fabricação. Em relação à outra entrada apenas será utilizado quando entra a matéria prima no armazém e quando sai o produto acabado.

Se o armazém contiver produtos que se degradem com o tempo é aconselhável utilizar um método de saída que retire em primeiro lugar os produtos mais antigos, mesmo que essa utilização prejudique a rapidez da operação.

Como os métodos utilizados podem ser alterados durante o funcionamento do armazém, afectando as decisões a partir desse momento, é possível alterar o tipo de decisão de acordo com qualquer condição que se verifique nesse momento. Por exemplo, se a partir de uma dada altura se verificar que existem produtos antigos no armazém e se pretender retirá-los antes dos outros, pode-se alterar o método para que isso aconteça.

A arquitectura funcionou correctamente com a grua real.



# ANEXOS



## Anexo A. TABELAS DA BASE DE DADOS

Para uma melhor manipulação da informação necessária ao funcionamento do armazém utilizou-se uma base de dados ODBC. Essa base de dados foi criada em Microsoft® Access 2000. Optou-se por usar este tipo de base de dados já que é o mais usual.

A base de dados tem métodos de procura e de selecção pré-definidos que permite um acesso mais eficiente aos dados. A informação é actualizada e guardada ao longo do tempo. É também acessível mesmo que os programas não estejam em funcionamento. Permite ainda uma pré-definição do estado do armazém.

A informação usada foi dividida em várias tabelas que se vão descrever a seguir. Essas tabelas fazem parte duma base de dados cujo nome é **Arauto Database**.

### A.1. TABELA [SHELVES]

Esta tabela contém a informação relativa às prateleiras. Ou seja, a sua localização no armazém e o estado em que se encontra (ocupada/desocupada, reservada/não reservada). Os campos desta tabela encontram-se descritos na Tabela A.1.

Campo	Descrição	Tipo	Valores Possíveis	Unidades
<b>ID</b>	Identificação da prateleira	long	0,1,...	-
<b>X</b>	Posição da prateleira em $x$	float	-	mm.
<b>XCorridor</b>	Coordenada de acesso da grua à prateleira em $x$	float	-	mm.
<b>Y</b>	Posição da prateleira em $y$	float	-	mm.
<b>Z</b>	Posição da prateleira em $z$	float	-	mm.
<b>R</b>	Rotação da prateleira em $r$	float	0°-360°	graus
<b>IsReserved</b>	Indica se a prateleira está reservada	bool	1 – está reservada 0 – não está reservada	-



<b>HasHolder</b>	Indica se a prateleira contém uma paleta	bool	1 – se contém uma paleta 0 – se não contém uma paleta	-
------------------	--	------	--	---

Tabela A.1 – Tabela [Shelves].

## A.2. TABELA [HOLDERS]

As paletes usadas no armazém têm quatro posições para colocar produtos. Essas posições são designadas por UL, UR, DL, DR tal como se pode observar na Figura 2.4 .

<b>UL</b>	<b>UR</b>
<b>DL</b>	<b>DR</b>

Figura A.1 – Configuração das paletes.

Esta tabela contém a informação relativa às paletes que se usam no armazém. Essa informação contempla o conteúdo dessas paletes e a prateleira na qual se localizam. Os campos estão descritos na Tabela A.2.

<b>Campo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valores Possíveis</b>	<b>Unidades</b>
<b>ID</b>	Identificação da paleta	long	0,1,...	-
<b>NrProducts</b>	Número de productos contidos na paleta	int	0,1,2,3,4	-
<b>ULProdID</b>	Identificação do produto contido na posição UL	long	0,1,...	-
<b>URProdID</b>	Identificação do produto contido na posição UR	long	0,1,...	-
<b>DLProdID</b>	Identificação do produto contido na posição DL	long	0,1,...	-
<b>DRProdID</b>	Identificação do produto contido na posição DR	long	0,1,...	-



Tabela A.2 – Tabela [Holders].

### A.3. TABELA [PRODUCTS]

Esta tabela contém a informação relativa a cada um dos produtos contidos no armazém. Aí estão contidos, a paleta onde esse produto se encontra, a categoria do produto, o estado de maquinaria em que se encontra e a data de entrada. Os vários campos estão descritos na Tabela A.3.

Campo	Descrição	Tipo	Valores Possíveis	Unidades
<b>ID</b>	Identificação do produto	long	0,1,...	-
<b>CategoryID</b>	Identificação da categoria do produto	long	0,1,...	-
<b>State</b>	Estado de maquinaria do produto	text	-	-
<b>HolderID</b>	Identificação da paleta que contém o produto	long	0,1,...	-
<b>DateIn</b>	Data de entrada do produto no armazém	date	data e hora	-

Tabela A.3 – Tabela [Products].

### A.4. TABELA [CATEGORIES]

Os vários produtos contidos no armazém pertencem a diversas categorias de produtos. Por exemplo, pode haver vários cubos no armazém que sejam de uma mesma categoria chamada cubo. A tabela de categorias contém a identificação e nome da categoria, o número de unidades em stock e o peso médio de cada produto dessa categoria. Os vários campos estão descritos na Tabela A.4.

Campo	Descrição	Tipo	Valores Possíveis	Unidades
<b>ID</b>	Identificação da categoria de produto	long	0,1,...	-
<b>Name</b>	Nome da categoria	text	-	-
<b>UnitsIn Stock</b>	Número de unidades em stock	long	0,1,...	-
<b>UnitPrice</b>	Preço unitário do produto	float	>0	-
<b>Height</b>	Peso médio de um produto desta categoria	float	>0	Kg.



Tabela A.4 – Tabela [Categories].

## A.5. TABELA [ENTRANCES]

O armazém pode ter vários pontos de entrada/saída, os quais são definidos nesta tabela. Além da posição desses pontos é definido também um ponto de aproximação a essa entrada. Os vários campos estão descritos na Tabela A.5.

Campo	Descrição	Tipo	Valores Possíveis	Unidades
<b>ID</b>	Identificação do ponto de entrada/saída	long	0,1,...	-
<b>Name</b>	Nome da entrada	text	-	-
<b>X</b>	Posição da entrada em $x$	float	-	mm.
<b>Y</b>	Posição da entrada em $y$	float	-	mm.
<b>Z</b>	Posição da entrada em $z$	float	-	mm.
<b>R</b>	Rotação da entrada em $r$	float	0°-360°	graus
<b>ApX</b>	Posição do ponto de aproximação à entrada em $x$	float	-	mm.
<b>ApY</b>	Posição do ponto de aproximação à entrada em $y$	float	-	mm.
<b>ApZ</b>	Posição do ponto de aproximação à entrada em $z$	float	-	mm.
<b>ApR</b>	Rotação do ponto de aproximação à entrada em $r$	float	0°-360°	graus

Tabela A.5 – Tabela [Entrances].

## A.6. TABELA [DESIGN]

Para que a visualização gráfica do armazém seja adaptável ao tamanho das prateleiras, das paletes e dos produtos, essas definições são também guardadas na base de dados. Estes valores são apenas usados na visualização. Os vários campos estão descritos na Tabela A.6.

Campo	Descrição	Tipo	Valores Possíveis	Unidades
<b>SH_Width</b>	Largura das prateleiras	float	>0	mm.
<b>SH_Length</b>	Comprimento das prateleiras	float	>0	mm.



<b>SH_Height</b>	Altura das prateleiras	float	>0	mm.
<b>SH_FirstHeight</b>	Altura das prateleiras mais perto do chão	float	>0	mm.
<b>SH_TopHeight</b>	Altura das prateleiras do topo	float	>0	mm.
<b>SH_Thickness</b>	Espessura das prateleiras	float	>0	mm.
<b>HO_Width</b>	Largura das paletes	float	>0	mm.
<b>HO_Length</b>	Comprimento das paletes	float	>0	mm.
<b>HO_Height</b>	Altura das paletes	float	>0	mm.
<b>HO_Thickness</b>	Espessura das paletes	float	>0	mm.
<b>PR_Width</b>	Largura dos produtos	float	>0	mm.
<b>PR_Length</b>	Comprimento dos produtos	float	>0	mm.
<b>PR_Height</b>	Altura dos produtos	float	>0	mm.

Tabela A.6 – Tabela [Design].





## Anexo B. MENSAGENS ENTRE MÓDULOS

As mensagens trocadas entre os vários módulos contêm inicialmente a origem, o destino e o tipo de mensagem, podendo ter depois um conjunto de conteúdos dependendo do tipo de mensagem.

Os campos têm o seguinte formato dependente do tipo:

- **Variável**: as variáveis são apresentadas a negro e itálico.
- **Constante**: as constantes são apresentadas com um tipo de letra diferente.

O formato das mensagens é então:

***Origem>>Destino:Tipo[:Conteúdo 1] [:Conteúdo 2]... [:Conteúdo n]***

São apresentadas de seguida as diversas mensagens que se trocam entre os diversos módulos. Os campos apresentados a negro e itálico são variáveis. Em que os campos são:

***Origem***: tipo de módulo de origem das mensagens.

***Destino***: tipo de módulo de origem das mensagens.

Os valores possíveis para os campos ***Origem*** e ***Destino*** deste:

- ArautoServer: Servidor
- ArautoSimulator: Simulador
- ArautoRequest: Interface de Pedidos
- ArautoControl: Controlador Global da Grua

***Tipo***: tipo de mensagem.

Os valores possíveis para este campo são:

- Ready:
- Input:
- Output:
- Reinput:

***Conteúdo***: conteúdo da mensagem

Os valores possíveis para este campo:

- WithoutDecision: operação sem decisão.
- Cat-State: operação usando categoria e estado.
- Holder: operação com palete.
- Product: operação com produto.
- ***EntranceID***: identificação da entrada.
- ***HolderID***: identificação da palete.
- ***ProductID***: identificação do produto.



- **CategoryID**: identificação da categoria do produto.
- **State**: estado do produto.
- **NrPieces**: número de peças.
- **HolderConfiguration**: configuração da paleta. A configuração da paleta é um campo com o seguinte formato:

***ULCat-ULState,URCat-URState,DLCat-DLState,DRCat-DRState***

Estes campos tomam os valores:

- **ULCat, URCat, DLCat e DRCat**: categoria dos produtos nas posições *UL, UR, DL e DR* respectivamente.
- **ULState, URState, DLState e DRState**: estado dos produtos nas posições *UL, UR, DL e DR* respectivamente.
- **WayPoints**: conjunto de pontos de via. O conjunto de pontos de via tem o formato:

***WayPoint#1:WayPoint#2:...:WayPoint#N***

Cada campo **WayPoint#x** representa um ponto de via. O formato deste campo é:

***XRef,YRef,ZRef,RRef***

em que **XRef,YRef,ZRef e RRef** são as referências para os graus de liberdade *X, Y, Z e R*, respectivamente.

## **B.1. DA INTERFACE DE PEDIDOS PARA O SERVIDOR**

### **B.1.1. Ligação ao Servidor Concluída**

```
ArRequest>>ArServer:Ready
```

### **B.1.2. Entrada de Paleta**

```
ArRequest>>ArServer:Input:Holder:EntranceID:HolderConfiguration
```

### **B.1.3. Entrada de Paleta sem Decisão**

```
ArRequest>>ArServer:Input:WithoutDecision:EntranceID:HolderConfiguration
```

### **B.1.4. Reentrada de Paleta**

```
ArRequest>>ArServer:ReInput:Holder:EntranceID:HolderConfiguration
```

### **B.1.5. Saída de Paleta Baseada em Categoria e Estado**

```
ArRequest>>ArServer:Output:Cat-State:EntranceID:NrPieces:Category:State
```



### **B.1.6. Saída de Paleta Baseada na Identificação da Paleta**

```
ArRequest>>ArServer:Output:Holder:EntranceID:HolderID
```

### **B.1.7. Saída de Paleta Baseada na Identificação do Produto**

```
ArRequest>>ArServer:Output:Product:EntranceID:ProductID
```

## **B.2. DO SERVIDOR PARA A INTERFACE DE PEDIDOS**

### **B.2.1. Actualizar**

```
ArServer>>ArRequest:Refresh
```

### **B.2.2. Conclusão da Entrada de Produtos**

```
ArServer>>ArRequest:Input:Completed:EntranceID:HolderID:HolderConfiguration
```

### **B.2.3. Conclusão da Saída de Produtos**

```
ArServer>>ArRequest:Input:Completed:EntranceID:HolderID:HolderConfiguration
```

### **B.2.4. Erro na Entrada de Paleta**

```
ArServer>>ArRequest:Input:Error:Holder:(ErrorDescription)
```

### **B.2.5. Erro na Entrada de Paleta sem Decisão**

```
ArServer>>ArRequest:Input:Error:WithoutDecision:(ErrorDescription)
```

### **B.2.6. Erro na Reentrada de Paleta**

```
ArServer>>ArRequest:ReInput:Error:Holder:(ErrorDescription)
```

### **B.2.7. Erro na Saída de Paleta Baseada em Categoria e Estado**

```
ArServer>>ArRequest:Output:Error:Cat-State:(ErrorDescription)
```

### **B.2.8. Erro na Saída de Paleta Baseada na Identificação da Paleta**

```
ArServer>>ArRequest:Output:Error:Holder:(ErrorDescription)
```

### **B.2.9. Erro na Saída de Paleta Baseada na Identificação do Produto**

```
ArServer>>ArRequest:Output:Error:Product:(ErrorDescription)
```

## **B.3. DO SERVIDOR PARA O CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA**

### **B.3.1. Pedido de Posição da Grua**

```
ArServer>>ArControl:Position
```



### **B.3.2. Envio de Pontos de Via para Entrada de Paleta**

```
ArServer>>ArControl:Input:EntranceID:HolderID:HolderInConfiguration:WayPoint#1:WayPoint#2:...:WayPoint#N
```

### **B.3.3. Envio de Pontos de Via para Saída de Paleta**

```
ArServer>>ArControl:Output:EntranceID:HolderID:HolderOutConfiguration:WayPoint#1:WayPoint#2:...:WayPoint#N
```

## **B.4. DO SERVIDOR PARA O SIMULADOR**

### **B.4.1. Acerto da Posição Inicial da Grua**

```
ArServer>>ArSimulator:Position:X,Y,Z,R
```

### **B.4.2. Envio de Pontos de Via para Entrada de Paleta**

```
ArServer>>ArSimulator:Input:EntranceID:HolderID:HolderInConfiguration:WayPoint#1:WayPoint#2:...:WayPoint#N
```

### **B.4.3. Envio de Pontos de Via para Saída de Paleta**

```
ArServer>>ArSimulator:Output:EntranceID:HolderID:HolderOutConfiguration:WayPoint#1:WayPoint#2:...:WayPoint#N
```

## **B.5. DO CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA PARA O SERVIDOR**

### **B.5.1. Informação da Posição da Grua**

```
ArControl>>ArServer:Position:X,Y,Z,R
```

### **B.5.2. Conclusão da Entrada de Paleta**

```
ArControl>>ArServer:Input:Completed:EntranceID:HolderID:ActualPosition
```

### **B.5.3. Informação da Posição da Grua**

```
ArControl>>ArServer:Output:Completed:EntranceID:HolderID:ActualPosition
```

## **B.6. DO SIMULADOR PARA O SERVIDOR**

### **B.6.1. Informação da Posição da Grua**

```
ArSimulator>>ArServer:Position:X,Y,Z,R
```



---

**B.6.2. Conclusão da Entrada de Paleta**

ArSimulator>>ArServer:Input:Completed:*EntranceID:HolderID:ActualPosition*

**B.6.3. Informação da Posição da Grua**

ArSimulator>>ArServer:Output:Completed:*EntranceID:HolderID:ActualPosition*



## Anexo C. MENSAGENS PARA A GRUA

As mensagens são enviadas e recebidas byte a byte. Para certas mensagens poderá ser necessário enviar mais do que 1 byte. Os bytes são designados por Byte 0, Byte 1, etc.. As mensagens recebidas são apenas respostas às enviadas. O contexto é mantido para cada um dos microcontroladores escravo.

As mensagens enviadas, à exceção da mensagem *TPMPC*, têm nos quatro bits mais significativos do primeiro byte enviado a indicação do microcontrolador correspondente. Assim, o Byte 0 de cada mensagem tem o seguinte formato:

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	ID do microcontrolador				ID da mensagem			

No caso da mensagem *TPMPC* os bits correspondentes ao ID do microcontrolador tomam o valor 0.

Este byte vai, a partir daqui, ser designado por *Comando*.

### C.1. TPMPC

ID da mensagem: **0**

Mensagem enviada (1 byte):

- Byte 0: *Comando*

Resposta (1 byte):

- Byte 0: 0xAAh se a comunicação com o microcontrolador mestre foi bem sucedida ou um valor diferente caso um erro tenha ocorrido.

### C.2. TSPCB

ID da mensagem: **1**

Mensagem enviada (1 byte):

- Byte 0: *Comando*

Resposta (1 byte):

- Byte 0: 0x01h se o microcontrolador escravo estiver a funcionar e 0x00h caso contrário.

### C.3. TDSSP

ID da mensagem: **2**

Mensagem enviada (1 byte):



- Byte 0: *Comando*

Resposta (1 byte):

- Byte 0: 0x01h se os dados forem enviados correctamente e 0x00h caso contrário.

## **C.4. TDRSP**

ID da mensagem: **3**

Mensagem enviada (1 byte):

- Byte 0: *Comando*

Resposta (3 bytes):

- Byte 0: 0x01h
- Byte 1: 0xAFh
- Byte 2: 0xFAh

Estes três bytes servem para confirmar a correcta recepção de dados. Se forem diferentes os dados não estão a ser recebidos correctamente.

## **C.5. CALIBRATE**

ID da mensagem: **4**

Mensagem enviada (1 byte):

- Byte 0: *Comando*

Resposta (1 byte):

- Byte 0: 4 bits mais significativos: ID do microcontrolador escravo; os 4 bits menos significativos contêm o valor 4.

## **C.6. GoToPos**

ID da mensagem: **5**

Mensagem enviada (2 bytes):

- Byte 0: *Comando*
- Byte 1: referência.

Resposta (1 byte):

- Byte 0: valor entre 0 e 3 que indica qual o microcontrolador que atingiu a posição.

## **C.7. GETPos**

ID da mensagem: **6**

Mensagem enviada (1 byte):

- Byte 0: *Comando*



Resposta (1 byte):

- Byte 0: posição actual da junta.

## **C.8. GETPosL**

ID da mensagem: **7**

Mensagem enviada (1 byte):

- Byte 0: *Comando*

Resposta (1 byte):

- Byte 0: posição limite da junta.





## Anexo D. MANUAL DO UTILIZADOR

### D.1. CONFIGURAÇÃO DA BASE DE DADOS

Para utilizar a base de dados é necessário configurá-la no sistema. Essa configuração é feita através do *Control Panel* (ou *Painel de Controlo*) usando a ferramenta de administração *Data Sources (ODBC)* (Figura D.1).



Figura D.1 – Ícone da ferramenta de administração *Data Sources (ODBC)*

Executando esse programa irá aparecer uma janela com vários separadores. A base de dados é configurada como *System DSN* (Figura D.2). Nesse separador faz-se *Add* (Adicionar).

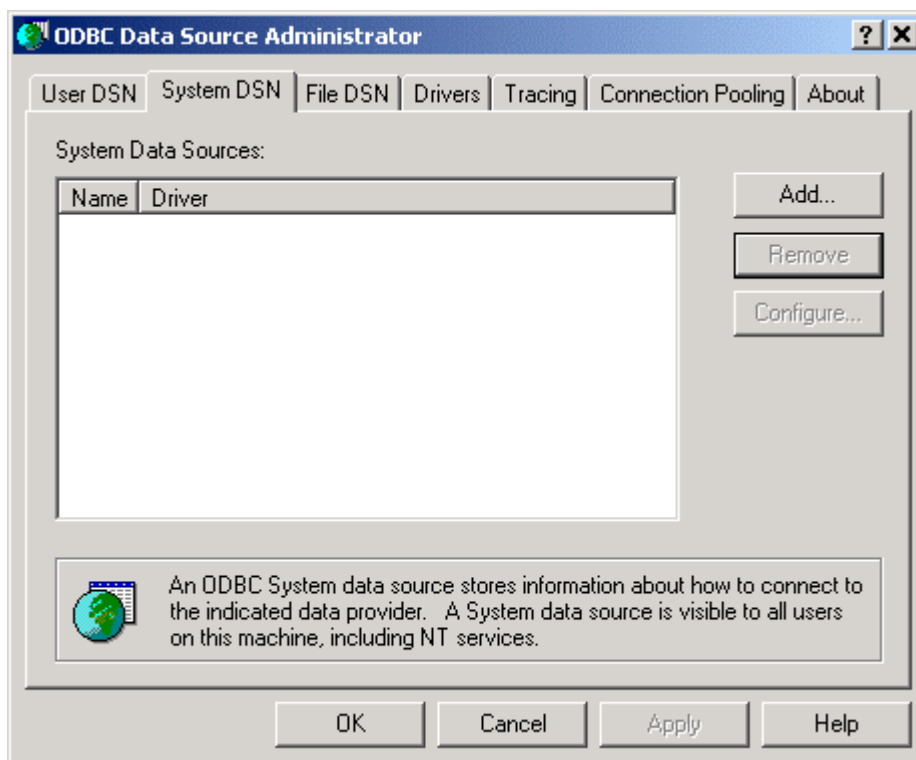
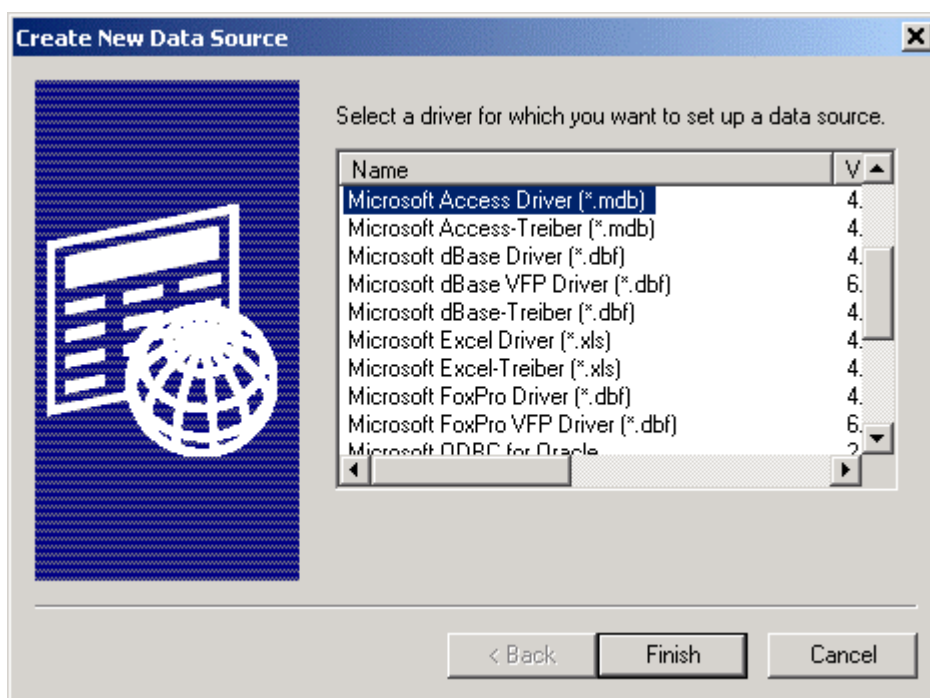


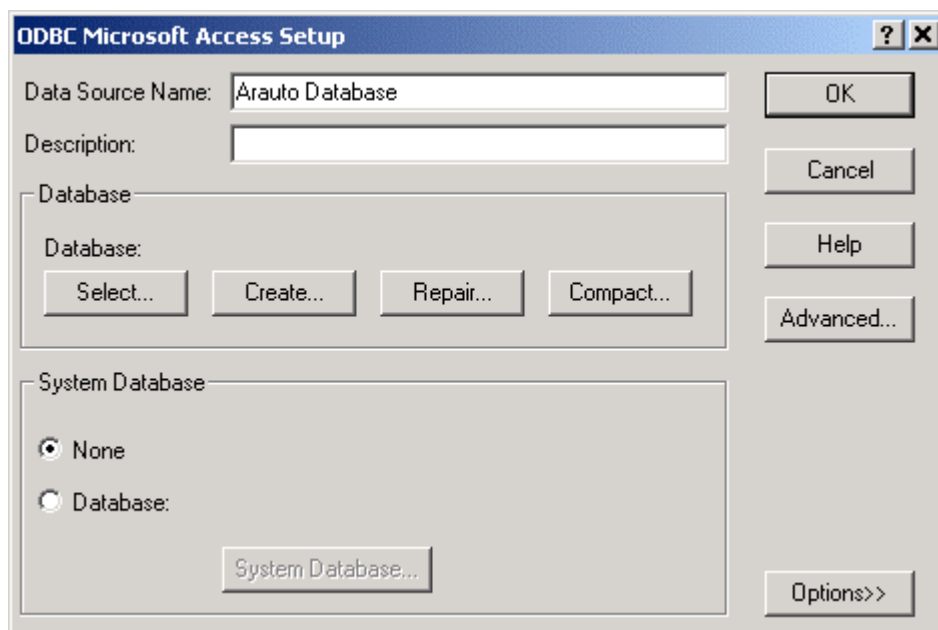
Figura D.2 –Escolha do tipo de DSN para a base de dados

Ao clicar nesse botão irá aparecer outra janela que tem o conjunto de *drivers* de base de dados diferentes (Figura D.3). Desses, escolhe-se *Microsoft Access Driver (\*.mdb)*



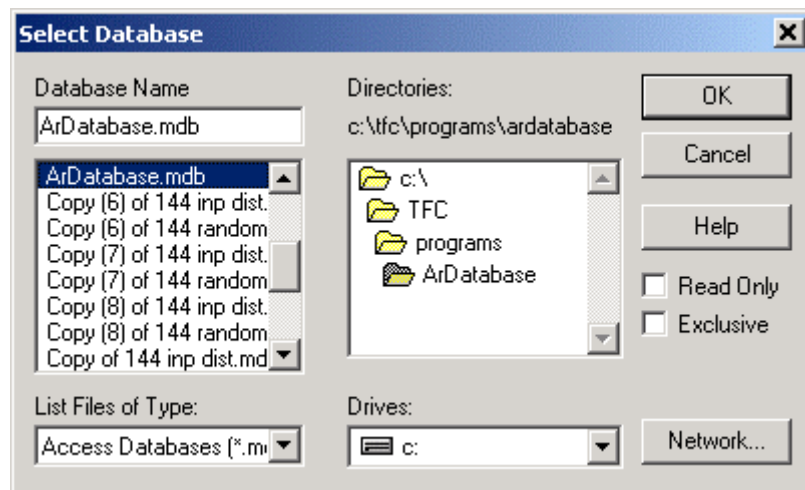
**Figura D.3 – Escolha do *driver* da base de dados**

Depois de escolhido o *driver* clicka-se em *Finish* para confirmar a escolha. Aparecerá nesse momento uma nova janela na qual se define o nome e o caminho no qual se encontra a base de dados (Figura D.4). O nome da base de dados deve ser *Arauto Database*.



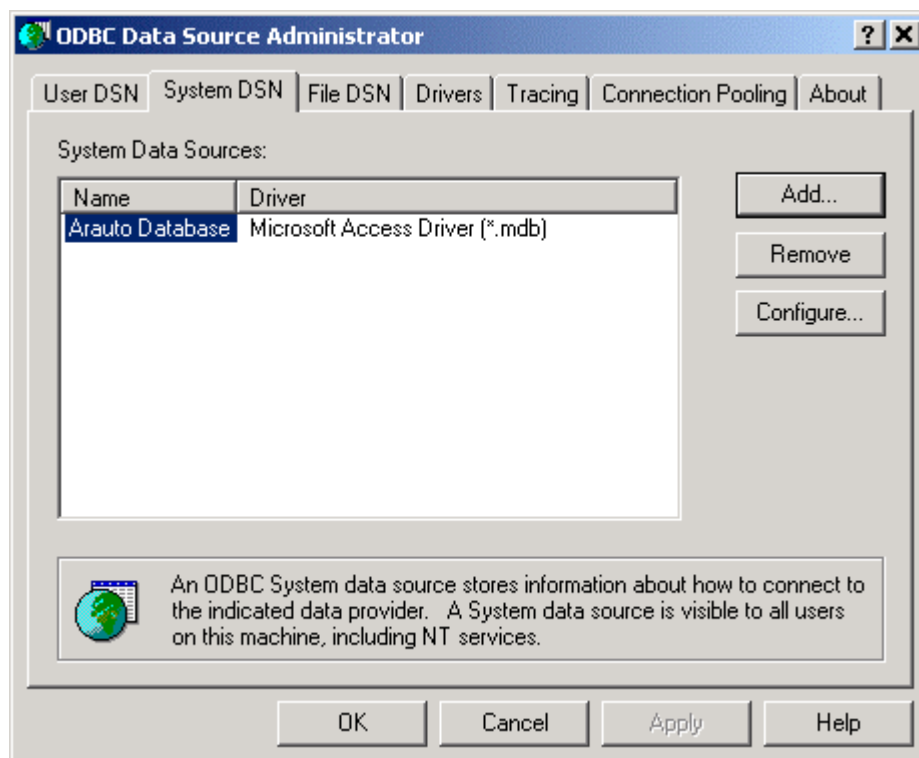
**Figura D.4 – Definição do nome e caminho da base de dados**

Clicando no botão *Select* aparecerá uma nova janela através da qual é possível procurar o caminho onde se encontra o ficheiro da base de dados (Figura D.5). A base de dados pode estar contida num computador remoto.



**Figura D.5 – Procura do caminho da base de dados**

Depois de escolhido o caminho deve clicar-se no botão *OK* para terminar a configuração e deverá aparecer no separador *System DSN* a indicação de uma base de dados com o nome *Arauto Database*, tal como se pode ver na Figura D.6.



**Figura D.6 – Estado final da configuração da base de dados**

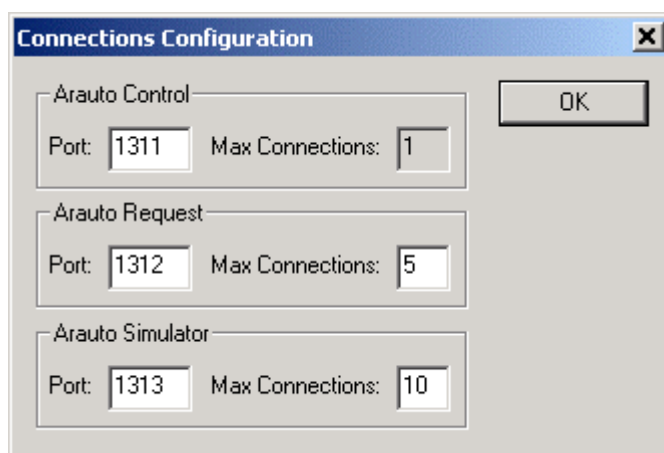
## **D.2. SERVIDOR**

O programa *Servidor* tem o ícone apresentado na Figura D.7.



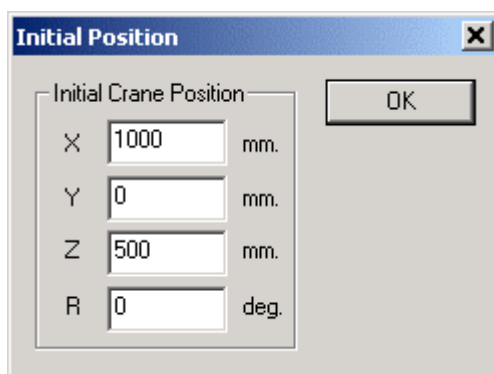
**Figura D.7 – Ícone do programa *Servidor***

Quando o programa é iniciado é apresentada uma janela onde se definem os portos de ligação e o número máximo de ligações para cada um dos módulos cliente.



**Figura D.8 – Configuração dos portos de ligação e do número máximo de ligações**

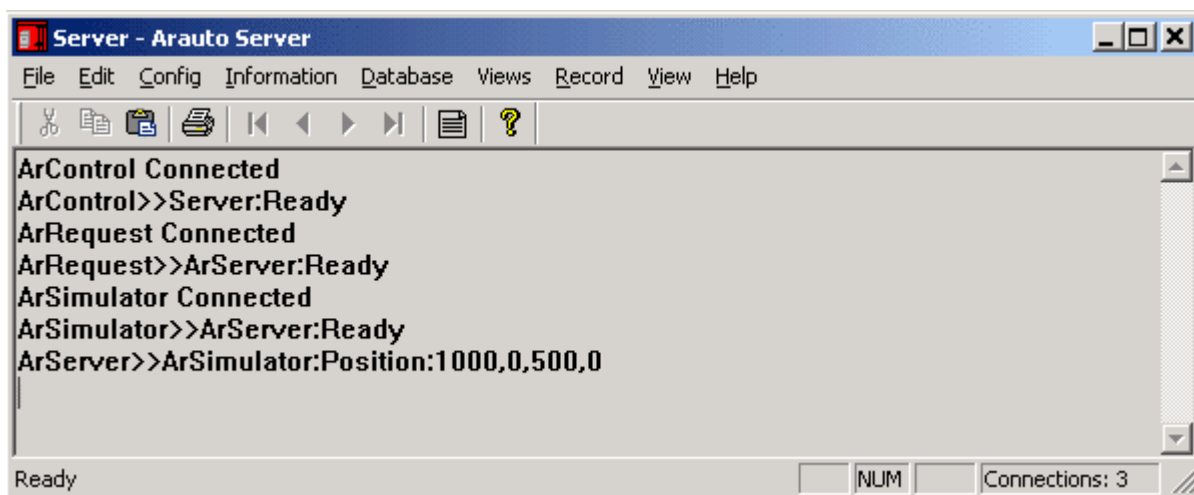
Clicando em *OK* é apresentada uma janela para definir a posição inicial da grua (Figura D.9).



**Figura D.9 – Configuração da posição inicial da grua**

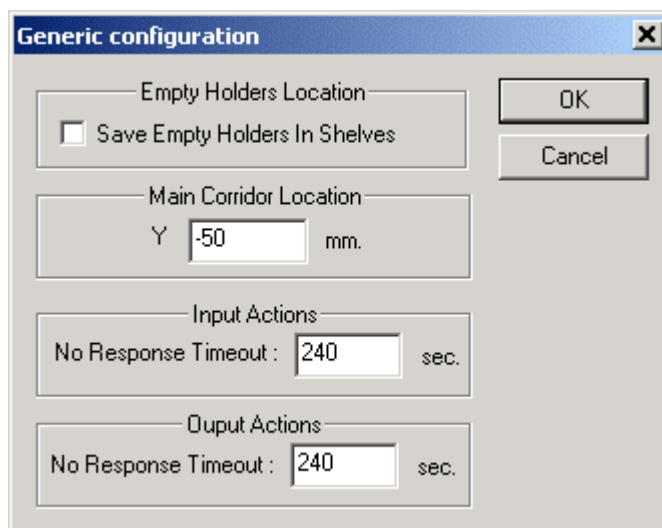
Depois de definida a posição inicial da grua o *Servidor* está preparado para receber ligações.

Na Figura D.10 pode-se observar o aspecto global do *Servidor*. A área principal da interface é destinada às mensagens trocadas entre o *Servidor* e os restantes módulos. Na mesma figura pode-se também observar as várias mensagens resultantes das ligações dos diversos módulos.



**Figura D.10 – Aspecto geral do Servidor**

Existe um conjunto de parâmetros genéricos que se deve configurar no *Servidor*. Através do menu *Config->Generic* é apresentada a janela que se pode observar na Figura D.11.



**Figura D.11 – Configuração de parâmetros genéricos**

O parâmetro *Save Empty Holders In Shelves* selecciona-se caso se pretenda que as paletes vazias sejam guardadas no armazém.

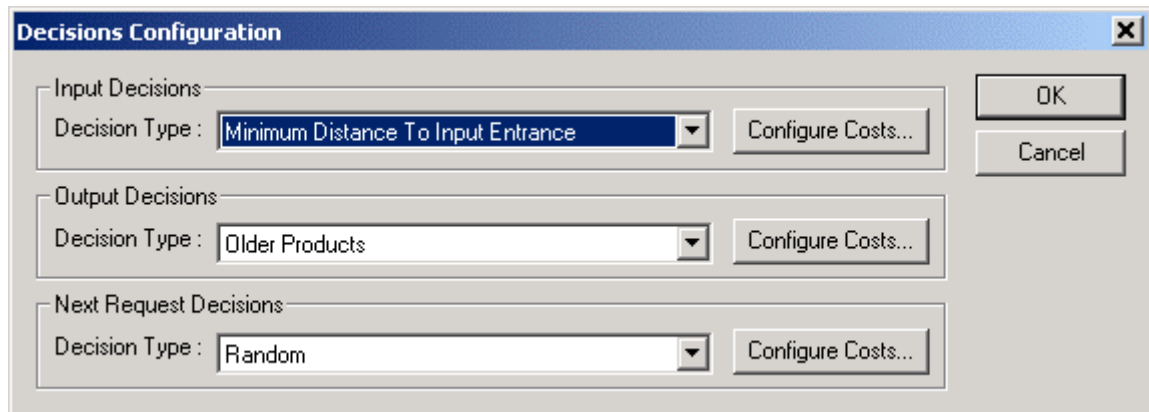
O parâmetro *Main Corridor Location* define qual a posição, em y, que a grua deve tomar quando circula no corredor principal.

Os parâmetros chamados *No Response Timeout* para *Input Actions* e *Output Actions* servem para definir qual o tempo máximo de espera para a realização de uma acção de entrada ou saída de produtos, respectivamente. Caso esses tempos sejam excedidos é apresentada uma mensagem de aviso.

É necessário também definir quais os métodos de decisão que se pretendem usar. Através do menu *Config->Decisions* é apresentada uma janela onde é possível escolher um método

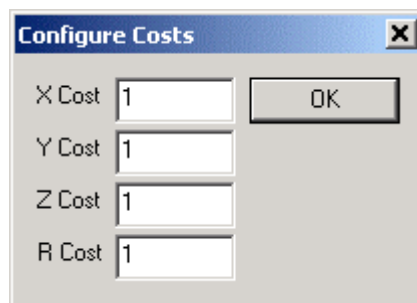


para cada tipo de decisão a tomar (Figura D.12). Para cada um dos tipos é apresentada uma lista contendo os métodos disponíveis.



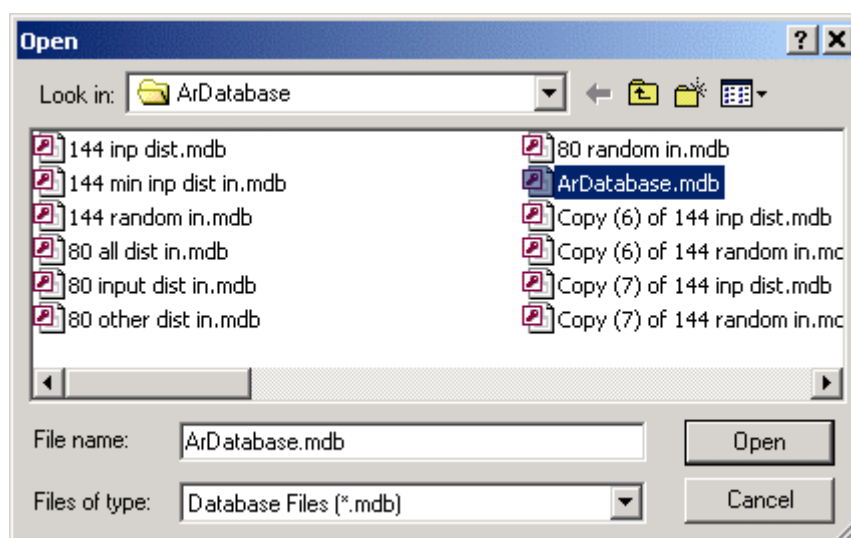
**Figura D.12 – Escolha dos métodos de decisão**

Para certos métodos é ainda possível definir os custos que estão associados à função de custo. Para isso deve clicar-se no botão *Configure Costs* e uma janela com os parâmetros correspondentes ao método é apresentada. Pode-se visualizar na Figura D.13 o caso dos métodos que usam a distância onde se definem os custos associados a cada um dos graus de liberdade.



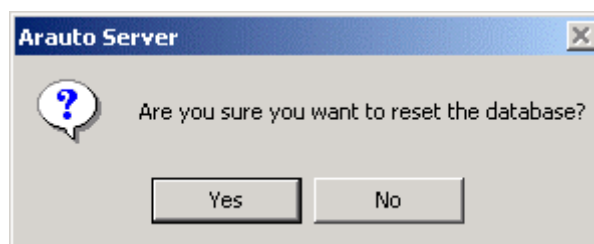
**Figura D.13 – Definição dos parâmetros de decisão**

É possível alterar a base de dados que está a ser usada. Para isso deve seleccionar-se o novo ficheiro de *Access* a ser acedido. A selecção é feita através do menu *Database->Select* numa janela idêntica à apresentada na Figura D.14.




**Figura D.14 – Seleção da base de dados**

É também possível, através do menu *Database->Reset*, reinicializar a base de dados para que fique sem produtos. É necessário confirmar essa operação, aparecendo para tal uma janela (Figura D.15)



**Figura D.15 – Confirmação da reinicialização da base de dados**

Pode-se recolher informações sobre distância percorrida, número de operações e antiguidade dos produtos no armazém, clicando no botão  da barra de ferramentas ou através do menu *Information->Distances and Antiguity*. Aparece uma janela com essas informações (Figura D.16).

É possível visualizar apenas as distâncias correspondentes à entrada ou saída de paletes. Os valores das distâncias podem colocar-se a 0 em qualquer momento, iniciando-se nova contagem a partir desse instante.

A antiguidade dos produtos é medida relativamente a um instante fornecido. Por omissão esse instante corresponde ao instante em que a janela de informações foi aberta. Na janela existe um campo que permite definir esse instante. O formato usado para a data aí colocada é *Ano/Mês/Dia-Hora:Minuto:Segundo*.



	Distances	Costs
X	0	1
Y	0	1
Z	0	1
R	0	1

Figura D.16 – Informações sobre Descrição da distância total percorrida pela grua

### D.3. SIMULADOR

O ícone do programa *Simulador* é o apresentado na Figura D.17.



Figura D.17 – Ícone do programa *Simulador*

Quando o programa é iniciado é apresentada uma janela na qual se deve introduzir o servidor e o porto ao qual se pretende efectuar a ligação.

Figura D.18 – Configuração da ligação ao servidor

Depois de o utilizador clicar em *OK* o programa é iniciado e é apresentada a janela principal em que se pode visualizar o modelo 3D do armazém (Figura D.19).



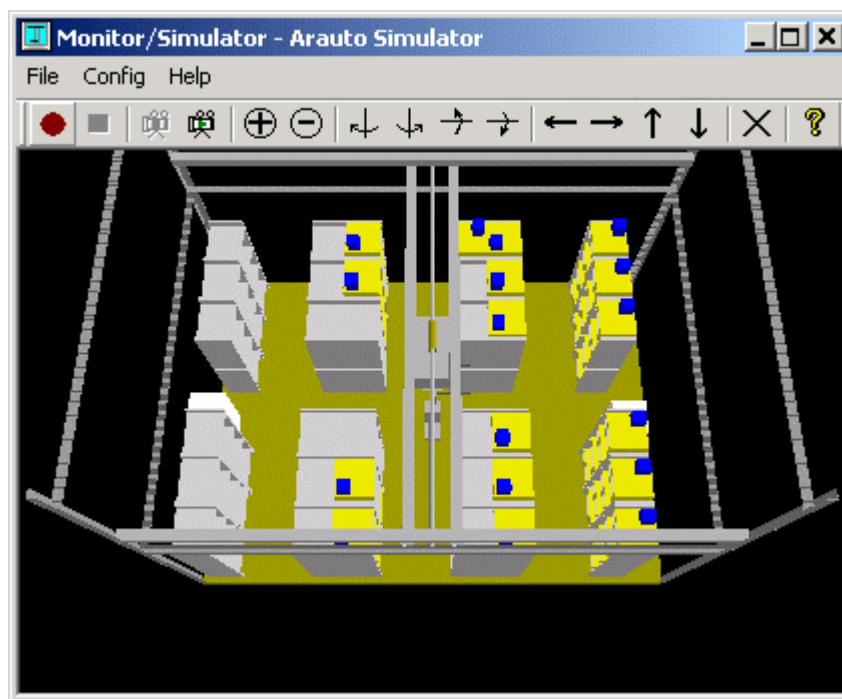


Figura D.19 – Aspecto global da interface gráfica do *Simulador*

No menu *Config->Parameters* é possível alterar parâmetros da simulação. Essa alteração é efectuada na janela apresentada na Figura D.20.

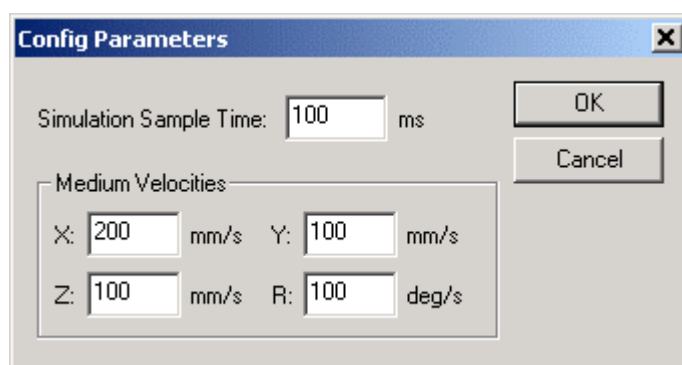


Figura D.20 – Configuração de parâmetros da simulação

O parâmetro *Simulation Sample Time* permite alterar o intervalo de tempo entre amostragens. Por exemplo, tendo esse parâmetro o valor de 100ms a imagem da simulação é actualizada 10 vezes por segundo. Nos restantes parâmetros define-se a velocidade média para cada grau de liberdade. Para que a simulação corresponda à realidade essas velocidades devem ser semelhantes às da grua real. Estes parâmetros são mantidos entre diferentes utilizações do programa.

Na aplicação existe uma barra de ferramentas que permite ao utilizador dar início à gravação da trajectória, parar essa gravação ou modificar o modo de visualização. A descrição



das funções executadas por cada um dos botões, bem como a respectiva imagem, é apresentada na Tabela D.1.
















Campo	Descrição
	Início de gravação de ficheiro contendo os pontos da trajectória. Ao clicar neste botão aparece uma janela para escolha do caminho onde se pretende gravar o ficheiro (Figura D.21).
	Paragem da gravação da trajectória no ficheiro.
	Escolha de modo de visualização com a câmara parada.
	Escolha de modo de visualização com a câmara a acompanhar o movimento.
	Aproximar a câmara.
	Afastar a câmara.
	Rodar a câmara para a esquerda.
	Rodar a câmara para a direita.
	Rodar a câmara para cima.
	Rodar a câmara para baixo.
	Movimentar a câmara para a esquerda.
	Movimentar a câmara para a direita.
	Movimentar a câmara para cima.
	Movimentar a câmara para baixo.
	Retorno da posição da câmara à posição pré-definida.

Tabela D.1 – Funções dos botões da barra de ferramentas do *Simulador*

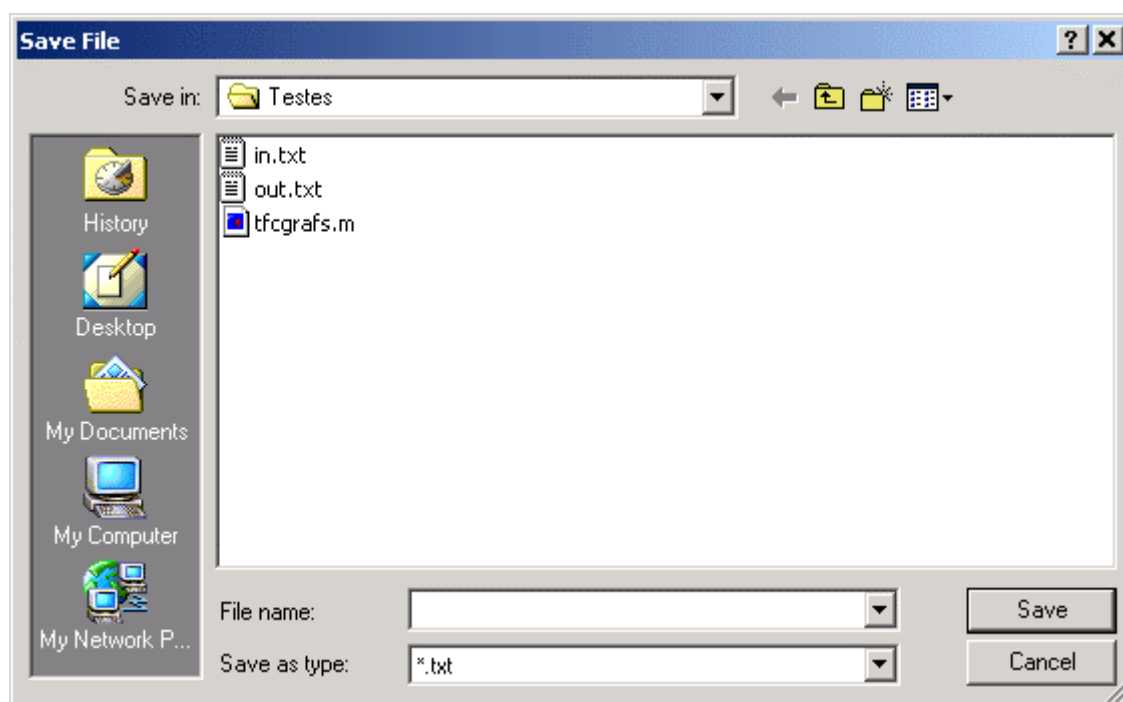


Figura D.21 – Escolha do caminho para o ficheiro a gravar

## D.4. INTERFACE DE PEDIDOS

### D.4.1. Inicialização

O ícone do programa *Interface de Pedidos* é o apresentado na Figura D.22.



Figura D.22 – Ícone do programa *Interface de Pedidos*

Quando o programa é iniciado é apresentada uma janela na qual o utilizador deve introduzir o servidor e o porto ao qual se pretende efectuar a ligação.

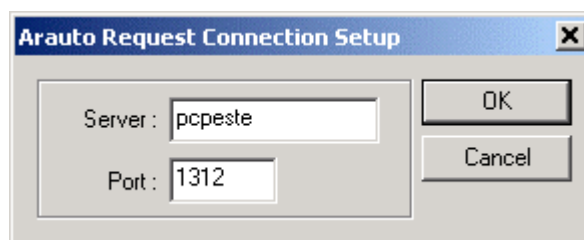


Figura D.23 – Configuração da ligação ao *Servidor*

Quando a ligação é estabelecida é apresentada a interface que permite efectuar pedidos (Figura D.24)



**Figura D.24 – Aspecto global do programa *Interface de Pedidos***

Esta interface apresenta informação relativa aos produtos e categorias existentes no armazém.

#### **D.4.2. Visualização de Informações**

Na zona apresentada na Figura D.25 visualiza-se a informação relativa às categorias de produtos existentes.

Categories				
ID	Name	UnitsInS...	UnitPrice	Weight
1	Cubo	64	100.0	20.0
2	Cilindro	0	150.0	30.0
3	Pirâmide	0	200.0	5.0
4	Esfera	0	300.0	25.0

**Figura D.25 – Visualização das categorias**

Na Figura D.26 pode-se observar a zona destinada a apresentar a informação relativa aos produtos disponíveis no armazém. Os produtos que estejam em paletes que estejam prestes a sair ou a entrar no armazém (pedidos ainda não satisfeitos) não são apresentados, visto serem considerados indisponíveis.



ID	Categ...	State	Holde...	DateIn
111	1	0	1000	2001/10/08-02:1..
83	1	0	1001	2001/10/08-02:1..
99	1	0	1010	2001/10/08-02:1..
100	1	0	1020	2001/10/08-02:1..
112	1	0	1030	2001/10/08-02:1..
85	1	0	1031	2001/10/08-02:1..
95	1	0	1100	2001/10/08-02:1..
84	1	0	1110	2001/10/08-02:1..
86	1	0	1120	2001/10/08-02:1..
96	1	0	1130	2001/10/08-02:1..

**Figura D.26 – Visualização dos produtos disponíveis**

A visualização da informação relativa aos produtos e às categorias pode ser actualizada sempre que se pretenda, clicando para isso no botão *Refresh* (Figura D.27):



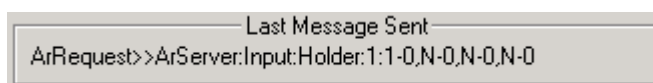
**Figura D.27 – Botão de Actualização dos dados**

No entanto, essa actualização pode ocorrer automaticamente sempre que haja alterações no armazém, seleccionando-se para isso a opção *Auto Refresh*.



**Figura D.28 – Selecção de actualização automática**

Na zona apresentada na Figura D.29 visualiza-se a última mensagem enviada para o *Servidor*.



**Figura D.29 – Visualização da última mensagem enviada ao *Servidor***

### ***D.4.3. Pedidos de Entrada***

A introdução de produtos no armazém faz-se utilizando as opções disponíveis na zona apresentada na Figura D.30.



Holder Input Request

Entrance: 1:Factory Nr. Holders: 1

	Category	State	Category	State
Up Left	None	0	None	0
Up Right	None	0	None	0
Down Left	None	0	None	0
Down Right	None	0	None	0

☐ Without decision: Shelf ID

Holder Input Submit

**Figura D.30 – Escolha de pedidos de entrada**

Deve indicar-se qual a entrada a partir da qual se pretende introduzir o produto no armazém.

Para cada posição da paleta deve definir-se a categoria e o estado do produto lá contido. Seleccionando *None* a posição correspondente é definida como vazia.

Quando se quer introduzir várias paletes com a mesma configuração pode definir-se no campo *Nr. Holders* o número de paletes nessas condições.

Caso pretenda colocar a paleta numa localização específica deve seleccionar-se a opção *Without Decision*. Nesse caso apenas é possível fazer o pedido para a introdução de uma única paleta, visto ser necessário definir a prateleira na qual se pretende colocá-la.

Quando o pedido estiver definido deve clicar-se em *Holder Input Submit* para enviar o pedido ao *Servidor*.

No caso de as paletes serem guardadas no armazém a grua vai primeiro buscar a paleta e coloca-a na entrada respectiva. Quando a paleta estiver na entrada aparece na zona destinada aos pedidos de entrada a informação relativa à paleta (Figura D.31). Devem colocar-se os produtos na paleta e clicar em *Input Ready* para indicar ao *Servidor* que a paleta está pronta a ser introduzida no armazém.

Holder Input Request

Entrance: 1:Factory Nr. Holders: 1

	Category	State	Category	State
Up Left	1:Cubo	0	None	0
Up Right	None	0	None	0
Down Left	None	0	None	0
Down Right	None	0	None	0

☐ Without decision: Shelf ID

Holder Input Submit

1:1310:1-0-N-N-N-N-N

Input Ready

**Figura D.31 – Confirmação de paleta preparada para entrar**



#### D.4.4. Pedidos de Saída

Existe uma zona destinada a efectuar pedidos de saída (Figura D.32).

Output Request

Entrance 1:Factory

By Category And State

Number of Pieces Category None State 0

Submit Output

Single Product

Product ID

Submit Output

Single Holder Products

Holder ID

Submit Output

Figura D.32 – Escolha de pedidos de saída

Na parte superior dessa zona deve indicar-se a saída pela qual se pretende retirar a(s) palete(s).

Existem três zonas destinadas, cada uma delas, a um tipo de pedido. A zona *By Category And State* é destinada aos pedidos de saída baseados na categoria e estado dos produtos. Deve indicar-se o número de produtos que se pretendem retirar bem como a respectiva categoria e estado. A zona *Single Product* é destinada a retirar um produto específico do armazém. Deve indicar-se a identificação correspondente ao produto. A zona *Single Holder Products* destina-se a retirar todos os produtos contidos numa palete específica. Em qualquer dos casos deve-se clicar no correspondente botão *Submit Output*.

#### D.4.5. Pedidos de Reentrada

Sempre que uma paleta sai do armazém a informação relativa à paleta contendo os produtos que não se pretendiam retirar é apresentada na zona *Wait for Reinsertion Holders* (Figura D.33). Caso se pretenda reintroduzir a paleta no armazém deve seleccionar-se a paleta respectiva e clicar-se em *Reinsert*. Caso contrário deve clicar-se em *Discard*.

Wait for Reinsertion Holders

EntranceID:HolderID:HolderConfiguration

1:1310:N-N,N-N,N-N,N-N

Reinsert

Discard

Figura D.33 – Reintrodução de paleta



## D.5. CONTROLADOR GLOBAL DA GRUA

O ícone correspondente ao programa *Controlador Global da Grua* é o apresentado na Figura D.34.



Figura D.34 – Ícone do programa *Controlador Global da Grua*

Quando o programa é iniciado é apresentada uma janela para configurar a ligação ao *Servidor* (Figura D.35) e para seleccionar o modo de funcionamento do programa.

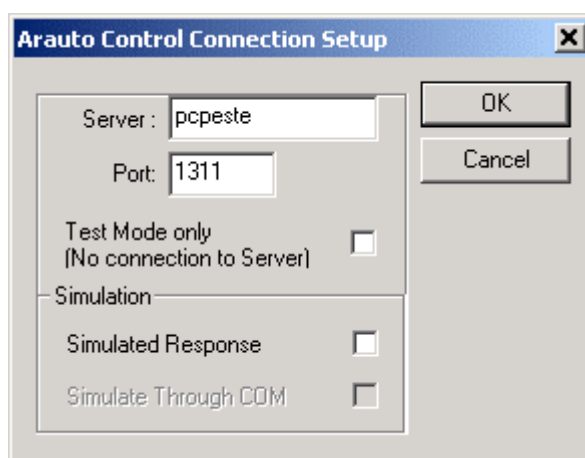


Figura D.35 – Configuração da ligação ao *Servidor* e do modo de funcionamento do programa

O programa pode funcionar apenas em modo teste, seleccionando a opção *Test Mode only*, não sendo necessário configurar o servidor nem o porto de ligação.

É possível usar o programa apenas para simulação, sendo a confirmação da conclusão do pedido enviada automaticamente para o *Servidor*.

Clicando em *OK* aparece uma janela destinada a seleccionar a porta série que se vai usar.

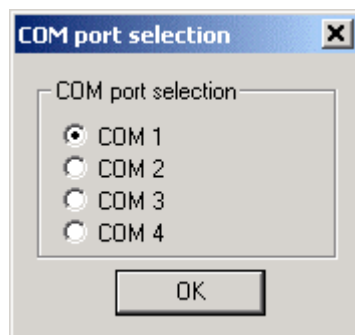


Figura D.36 – Selecção da porta série a usar





Depois de se clicar em *OK* aparece a janela principal do programa na qual é possível visualizar duas zonas (Figura D.37). A zona superior é destinada a apresentar as mensagens trocadas com o *Servidor* e a inferior as mensagens trocadas com o microcontrolador da grua.

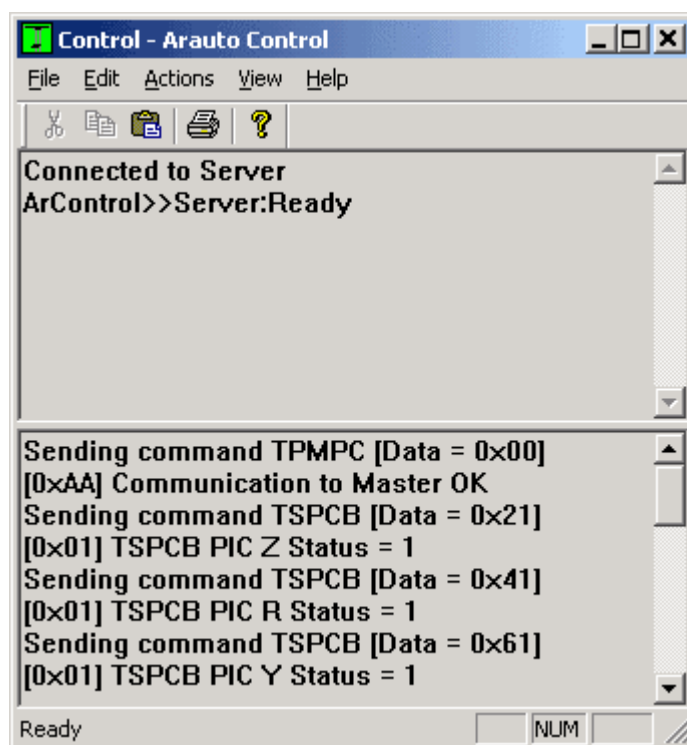


Figura D.37 – Janela principal do programa

Através do menu *Actions->Config* aparece uma janela onde se configuram as posições dos sensores e respectivo passo (Figura D.38). Esta configuração é a base do mapeamento entre os valores de posição absoluta no armazém e os valores relativos ao número de contagens dos sensores.

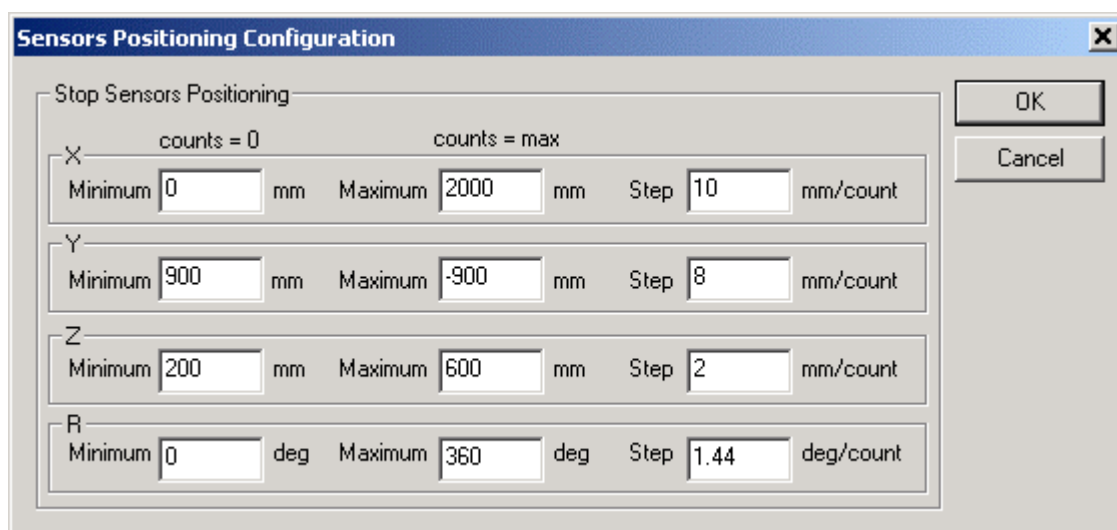


Figura D.38 – Configuração do posicionamento dos sensores



Para testar a comunicação e enviar comandos para a grua deve-se utilizar a janela apresentada na Figura D.39, acessível através do menu *Actions->Test*.

**Figura D.39 – Janela de comunicação em modo teste com a grua**

Nesta janela existem três zonas. Uma para enviar um byte à escolha directamente para o microcontrolador (*Test Byte*). Define-se o byte e clica-se em *Send Byte* para o enviar. Na zona *Test Command* é apresentada uma lista com todos os comandos disponíveis. Para certos comandos deve-se indicar qual o microcontrolador escravo para o qual se pretende enviar o comando. No caso do comando ser para definir a posição para um certo grau de liberdade deve indicar-se qual a pretendida. Na zona *Test Command To All PIC's* é possível definir um comando a enviar para todos os microcontroladores escravos. Caso esse comando seja para definir as posições, elas devem ser definidas para todos os graus de liberdade (Figura D.40).

**Figura D.40 – Definição da posição**



## Anexo E. MANUAL DO PROGRAMADOR

Poderá ser necessário definir novos métodos de decisão ou novas trajectórias para melhorar o desempenho do armazém. Este manual pretende definir os passos a tomar para efectuar essas alterações de um modo rápido. Ambas as alterações devem ser feitas ao nível do programa *Servidor*. A sua programação foi efectuada num projecto do Microsoft® Visual C++® 6.0.designado *ArautoSoftware*. Estas alterações requerem ainda a compilação do projecto.

### E.1. ADIÇÃO DE MÉTODOS DE DECISÃO

#### E.1.1. Métodos de Entrada

Os métodos de entrada estão definidos e codificados nos ficheiros *InputDecision.h* e *InputDecision.cpp*. Os passos a tomar para definir um novo método são:

No ficheiro *InputDecision.h*:

- Definir no enumerado *DecisionTypeID* um ID correspondente ao novo método. A entrada deve ser do tipo *DecisionType\_Nome*.

No ficheiro *InputDecision.cpp*:

- Na função *InitTypesList* chamar a função *InitType* que tem como parâmetros o ID do método, o nome do método (que será apresentado na lista de métodos do *Servidor*), e dois campos que indicam se o método é válido quando as paletes vazias são guardadas fora ou dentro do armazém, repectivamente.
- Definir uma nova função que implemente o método. Essa função deve devolver a identificação da prateleira escolhida (que é a mesma da paleta que lá se irá colocar). Como parâmetros de entrada poderá receber a identificação da entrada correspondente e a configuração da paleta.
- Na função *GetDecision* adicionar a entrada correspondente à chamada do novo método.
- Na função *ConfigureCosts* definir qual a janela a chamar para configurar os custos usados no método.

Depois de efectuar estas alterações deve-se compilar o projecto.

#### E.1.2. Métodos de Saída

Os métodos de saída estão definidos e codificados nos ficheiros *OutputDecision.h* e *OutputDecision.cpp*. Os passos a tomar para definir um novo método são:

No ficheiro *OutputDecision.h*:



- Definir no enumerado *DecisionTypeID* um ID correspondente ao novo método. A entrada deve ser do tipo *DecisionType\_Nome*.

No ficheiro *OutputDecision.cpp*:

- Na função *InitTypesList* chamar a função *InitType* que tem como parâmetros o ID do método, o nome do método (que será apresentado na lista de métodos do *Servidor*), e dois campos que indicam se o método é válido quando as paletes vazias são guardadas fora ou dentro do armazém, respectivamente.
- Definir uma nova função que implemente o método. Essa função deve receber como parâmetros de entrada o número de produtos a retirar, e a respectiva a categoria e o estado. Deve devolver a identificação da paleta que contém os produtos e sua configuração (nomeadamente quais os produtos nessa paleta que foram escolhidos para retirar).
- Na função *GetDecision* adicionar a entrada correspondente à chamada do novo método.
- Na função *ConfigureCosts* definir qual a janela a chamar para configurar os custos usados no método.

Depois de efectuar estas alterações deve-se compilar o projecto.

### **E.1.3. Métodos de Escolha do Próximo Pedido**

Os métodos de escolha do próximo pedido estão definidos e codificados nos ficheiros *EntranceDecision.h* e *EntranceDecision.cpp*. Os passos a tomar para definir um novo método são:

No ficheiro *EntranceDecision.h*:

- Definir no enumerado *DecisionTypeID* um ID correspondente ao novo método. A entrada deve ser do tipo *DecisionType\_Nome*.

No ficheiro *EntranceDecision.cpp*:

- Na função *InitTypesList* chamar a função *InitType* que tem como parâmetros o ID do método, o nome do método (que será apresentado na lista de métodos do *Servidor*), e dois campos que indicam se o método é válido quando as paletes vazias são guardadas fora ou dentro do armazém, respectivamente.
- Definir uma nova função que implemente o método. Essa função deve receber como parâmetros de entrada a lista de todos os pedidos em todas as entradas. Deve devolver o pedido a ser atendido.
- Na função *GetDecision* adicionar a entrada correspondente à chamada do novo método.



- Na função *ConfigureCosts* definir qual a janela a chamar para configurar os custos usados no método.

Depois de efectuar estas alterações deve-se compilar o projecto.

## **E.2. MODIFICAÇÃO DAS TRAJECTÓRIAS**

A alteração de trajectórias faz-se no ficheiro *ReferencesSequence.cpp* do projecto *ArautoServer*.

Nesse ficheiro existem duas funções que permitem alterar as trajectórias. Na função *Input* pode-se definir os pontos de via para uma operação de entrada de uma paleta. Na função *Output* a sequência de pontos para a saída de uma paleta.

Ambas as funções recebem como parâmetros de entrada a identificação do ponto de entrada/saída em que se fez o pedido e a identificação da prateleira onde se pretende colocar ou de onde se pretende retirar uma paleta. Usam como informação a posição actual da grua e a posição da entrada.

Em cada uma dessas funções é criada uma lista contendo a definição da posição dos pontos de via (tendo em conta os quatro graus de liberdade). Além disso, cada entrada da lista deve conter a posição da paleta (se está na entrada, nos garfos da grua ou na prateleira), e o tipo de câmara seleccionada para a visualização (para que a câmara acompanhe o movimento) para efeitos de simulação.

Depois das alterações serem efectuadas o projecto deve ser compilado.



---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Sérgio Paulo e Marco Oliveira, *ARAUTO - Armazéns Automáticos – Hardware. Relatório do Trabalho Final de Curso*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001
- [2] John J. Craig, *Introduction to Robotics, Mechanics and Control, Second Edition*, Addison-Wesley Publishing Company, 1989
- [3] Fred Halshall, *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992