

Simulador de Ensaio Acelerado de Pavimentos Rodoviários

Sílvia Manuel Martins Ferreira Neves

Dissertação

Orientador:

Prof. Doutor Francisco J. T. Freitas



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Opção de Automação

*“It is not the end, it is not even the beginning of the end, it is, perhaps, the end of the
beginning”*

(Winston Churchill)

Resumo

No âmbito da disciplina de Dissertação do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na opção de Automação efectuou-se o projecto de construção de software para um Simulador de Ensaios Acelerados a Pavimentos Rodoviários (SEAPR).

Os ensaios a pavimentos rodoviários têm tido interesse crescente pois, avultadas quantias de dinheiro são gastas todos os anos pelos governos dos países para manutenção e ampliação da rede de estradas.

O SEAPR é o primeiro projecto de um simulador de ensaios a pavimentos realizado em Portugal e nasce do interesse dos pólos de investigação de pavimentos da Universidade do Minho e de Coimbra. Este simulador pode ser inserido na classe dos simuladores de grande porte amovíveis pois permite testar o betuminoso e toda a estrutura adjacente e pode ser transportado para localizações diferentes caso existam instalações com as condições necessárias.

Uma vez terminada a construção do simulador tanto a nível mecânico como ao nível da solução de automação era necessário construir software para o autómato *Modicon M340 da Shneider* e um sistema de supervisão do simulador. Para tal, foi realizada uma especificação de software que permitiu identificar a principais funcionalidades que o programador teria que desenvolver e permitiu criar uma estratégia para a estruturação do programa para o PLC.

Posteriormente, iniciou-se a construção do software propriamente dita. Foram programadas funções que permitiam realizar a Instalação/Desinstalação do simulador na pista de ensaio e efectuar as primeiras verificações ao piso e ao veículo de simulação (Preparação para Ensaio).

Para controlar o software acima referido foi também criado um sistema SCADA através do programa *Vijeo Citec da Shneider*. Este permite que o operador possa manobrar o simulador de forma segura obtendo todas as informações necessárias para o efeito.

Abstract

Accelerated Pavement Testing System

Within the discipline of the Thesis of the 5th year of the MSc in Mechanical Engineering at the option of Automation it was carried out a project to build software for a Accelerated Pavement Testing System known as SEAPR.

The tests to road pavements have been increasing interest because large sums of money are spent every year by the governments of countries for maintaining and expanding the road net.

The SEAPR is the first project of a Pavement Testing Simulator carried out in Portugal and it was born due to the interest of research centers of University of Minho and Coimbra. This simulator can be in the class of large simulators which are removable, testing all the adjacent structure of the pavement and can be transported to different locations if there are facilities with the necessary conditions.

Once the construction of the simulator was done in terms of mechanical and automation solution was necessary to build software for the Modicon M340 PLC from Schneider and a SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system. In order to achieve this goal, it was build a software specification that identified the key features that the programmer would have to develop and allowed to create a strategy for structuring the program to the PLC.

Later, it was started the software program. Functions have been programmed to allow the Install/Uninstall of the simulator on the test track and make the first checks of the floor and of the vehicle of simulation (Test Preparation).

To control all the Pavement Testing System it was created a SCADA system through the program of Vijeo Citec of the Shneider. This allows the operator to maneuver the simulator safely obtaining all information necessary for this purpose.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Francisco Freitas pelo interesse que demonstrou neste projeto e por todo o conhecimento que me foi transmitido.

Ao IDMEC pela disponibilização de instalações e aos seus colaboradores com especial destaque para o Eng. Carlos Pinto, Eng. Tiago Teixeira e Sr. Joaquim Almeida por toda a disponibilidade em ajudar.

Ao INEGI e seus colaboradores pelo bom ambiente de trabalho.

Aos meus pais e irmã por todo o acompanhamento e apoio mas, também, por todos os valores que me passaram e que me construíram como pessoa.

Aos meus companheiros de curso e amigos pelos bons momentos e pela ajuda que prestaram nos mais complicados.

Índice de Conteúdos

Resumo	v
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Conteúdos	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas	xix
1 Introdução.....	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Considerações sobre Ensaios e Simuladores	2
1.3 <i>Heavy Vehicle Simulator (HVS)</i>	7
1.4 <i>Pavement Fatigue Carrousel (PFC)</i>	8
1.5 <i>Pavement Test Facility (PTF)</i>	10
1.6 <i>Accelerated Loading Facility (ALF)</i>	12
1.7 O SEAPR.....	14
1.8 Comparação entre simuladores.....	16
1.9 Objectivos da Dissertação	20
2 O SEAPR.....	23
2.1 Descrição geral do SEAPR.....	23
2.2 Movimento de Tração.....	25
2.3 Movimentos Auxiliares	28

2.4	Pista de Ensaio	34
3	Especificação de Software	37
3.1	Importância da Especificação de Software	37
3.2	Considerações gerais sobre Especificação de Sistemas	39
3.3	Métodos de Especificação de Software	41
3.4	Especificação de Software do SEAPR.....	45
4	Programação do PLC (Programmable Logic Controller)	54
4.1	Schneider Electric's Modicon M340	54
4.2	Unity Pro S.....	56
4.3	Estrutura de Comando por PLC	56
4.4	Estruturação da Programação.....	79
4.5	Blocos Combinacionais.....	81
4.6	Blocos Sequenciais	102
5	Programação do Sistema SCADA	109
5.1	Vijeo Citect	109
5.2	Programação do SCADA	111
6	Conclusões	118
7	Bibliografia	123
Anexo A		125

Índice de Figuras

Figura 1-1 - Simulador de pequena escala do LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)	3
Figura 1-2 - Simulador de grandes dimensões (Kansas Accelerated Testing Laboratory)	3
Figura 1-3 - “Multi-depth deflectometer” inserido no piso	4
Figura 1-4 - Distribuição Mundial dos Simuladores de Ensaio Acelerado de Pavimentos Rodoviários	5
Figura 1-5 - HVS em trabalho de campo	7
Figura 1-6 - Sistema de ensaio do HVS.....	8
Figura 1-7 - Pavement Fatigue Carrousel (Nantes)	9
Figura 1-8 - Imagem de pormenor do Pavement fatigue Carrousel	10
Figura 1-9 - Pavement Test Facility	11
Figura 1-10 - Accelerated Loading Facility.....	13
Figura 1-11 - ALF em ensaio com ambiente controlado	13
Figura 1-12 - SEAPR.....	14
Figura 2-1 - O veículo de simulação SEAPR	24
Figura 2-2 - hidráulico de comando (simplificado) do movimento de Tração.....	25
Figura 2-3 - Circuito de lavagem.....	26
Figura 2-4 - Circuito hidráulico do sistema de controlo da cilindrada	27
Figura 2-5 - Movimento wander e de movimento de carga vertical (a cor de laranja)	29
Figura 2-6 - Circuito hidráulico do Movimento Wander.....	29
Figura 2-7 - Circuito hidráulico de carga vertical	31

Figura 2-8 - SEAPRR e o seu sistema de carrilamento.....	32
Figura 2-9 - Esquema do SEAPR descarrilado	33
Figura 2-10 - Carrilamento efectudado	33
Figura 2-11 - Circuito hidráulico do Sistema de Carrilamento	34
Figura 2-12 - Pistas de Ensaio.....	34
Figura 2-13 - Representação gráfica de uma pista (com identificação dos trechos constituintes)	35
Figura 3-1 – Redes de Petri	44
Figura 3-2 - Esquema do procedimento para acesso ao software de controlo e entrada nos modos	49
Figura 3-3 - Esquema do processo de Instalação	50
Figura 3-4 - Esquema do processo de Desinstalação	51
Figura 3-5 - Esquema de funcionamento do modo de Preparação para Ensaio.....	52
Figura 4-1 - Exemplo de utilização dos PLCs Modicon M340 numa rede de dispositivos.....	55
Figura 4-2 - Estrutura de Comando do Movimento de Tracção	58
Figura 4-3 - Configuração do módulo de Saídas Analógicas.....	59
Figura 4-4 - Zona Morta introduzida pelo funcionamento da válvula	59
Figura 4-5 - Zona Morta introduzida pelo sistema de comando hidráulico da cilindrada	60
Figura 4-6 - Histerese do sistema de comando da cilindrada.....	60
Figura 4-7 – Comando das válvulas proporcionais ao longo da pista.....	64
Figura 4-8 - Estrutura de comando do movimento <i>wander</i>	67

Figura 4-9 - Configuração da carta de entradas analógicas do transdutor do Movimento Wander do Pneu	68
Figura 4-10 - Estrutura de comando do Movimento de Carga Vertical	70
Figura 4-11 – Descida livre do pneu de ensaio.....	70
Figura 4-12 – Pneu de ensaio a exercer carga sobre o pavimento	71
Figura 4-13 - Subida livre do pneu de ensaio	71
Figura 4-14 - Perfil de pressões nas câmaras superiores dos cilindros para uma descida e subida com aplicação de carga.....	74
Figura 4-15 - Estrutura de Comando do Sistema de Carrilamento.....	77
Figura 4-16 - Estrutura de Comando da monitorização do Veículo de Simulação e Pista	79
Figura 4-17- Bloco de Leitura de registos do <i>Soft-Starter</i>	81
Figura 4-18 - Interpretação dos dados recebidos do <i>soft-starter</i>	82
Figura 4-19 - <i>Grafcet</i> principal de Comando do <i>soft-starter</i>	82
Figura 4-20 - Bloco de escrita de registos do <i>soft starter</i>	83
Figura 4-21 - Formação da MW de escrita EMIS_1	83
Figura 4-22 - Atuação do motor M2.....	84
Figura 4-23 - Ordem de arranque para o motor M1	85
Figura 4-24 - Avaria do motor M2 e paragem do motor M1.....	85
Figura 4-25 - Atuação do motor M3 e deteção de avarias.....	86
Figura 4-26 - Reconhecimento da frente do veículo consoante a pista em que está instalado.....	87
Figura 4-27 – Bloco de Função “Ramp” para criar uma velocidade continuamente variável (comando progressivo)	87

Figura 4-28 - Comando da cilindrada sempre levado a zero excepto se forem cumpridas condições de arranque	88
Figura 4-29 - Detecção de movimento vertical do pneu	88
Figura 4-30 - Detecção de falhas no Movimento Vertical do Pneu	89
Figura 4-31 - Identificação do Limite Máximo Superior	90
Figura 4-32 - Verificação da Rigidez do Pneu e identificação do contacto do Pneu com o chão	91
Figura 4-33 - Comparação do valor de carga real com o exigido e ajuste da referência	92
Figura 4-34 - Identificação de movimento <i>wander</i>	92
Figura 4-35 - Detecção de falhas no movimento <i>wander</i>	93
Figura 4-36 - Pedido de execução de movimento de carga vertical até à posição segura	94
Figura 4-37 - Autorização do movimento de carga vertical e sinalização de movimento <i>wander</i> cumprido	94
Figura 4-38 - Início do procedimento de calibração	95
Figura 4-39 - Movimento do pneu ao extremo esquerdo e direito.....	95
Figura 4-40 - Descida das rodas de trás	96
Figura 4-41 - Inversão da ordem de comando em caso de falha no movimento.....	97
Figura 4-42 - Medição dos valores dos <i>encoders</i> e escolha do mais pequeno.....	98
Figura 4-43 - Identificação do índice do vetor que foi escolhido para os cálculos.....	98
Figura 4-44 - Identificação do valor da posição em milímetros	98
Figura 4-45 - Realização da derivada da posição (velocidade).....	99

Figura 4-46 - Configuração da carta de entradas digitais do transdutor do movimento <i>wander</i>	100
Figura 4-47 - Leitura da posição vertical do pneu em milímetros.....	100
Figura 4-48 - Bloco de Transformação de 16 bits numa <i>word</i>	101
Figura 4-50 - Bloco de transformação de uma <i>word</i> para um <i>Unsigned Integer</i>	102
Figura 4-51 - Esboço da consola de operador a usar no SEAPR.....	102
Figura 4-52 - <i>Grafcet</i> de início para escolha do modo em que o sistema deve funcionar	103
Figura 4-52 - <i>Grafcet</i> do Modo de Preparação para Instalação - escolha da pista	104
Figura 4-53 – Primeira parte do <i>Grafcet</i> de Preparação da Instalação para a pista A	105
Figura 4-54 - Segunda parte do <i>Grafcet</i> da Preparação para Instalação na pista A ...	105
Figura 4-55 - <i>Grafcet</i> da Preparação da Desinstalação na pista A	106
Figura 4-56 - <i>Grafcet</i> da Preparação para Ensaio.....	108
Figura 5-1 - “Editor de Projeto” do Vijeo Citect.....	110
Figura 5-2 – “Explorador do Projeto” do Vijeo Citect	110
Figura 5-3 – “Construtor de gráficos” do Vijeo Citect.....	111
Figura 5-4 - <i>Setup</i> de servidores do <i>software</i> Vijeo Citect.....	112
Figura 5-5 - Configuração das comunicações entre o Vijeo Citect e o Modicon M340	112
Figura 5-6 - Extrato do programa de transformação de words em bits e vice-versa ..	113
Figura 5-7 - Janela de abertura com especial enfoque para a navegação entre páginas	114
Figura 5-8 - Exemplo do evento de abertura da página de Preparação para Instalação	114

Figura 5-9 - Página usada para realizar a Instalação	115
Figura 5-10 - Página utilizada para realizar a Desinstalação	116
Figura 5-11 - Página utilizada para realização da Preparação para um Ensaio.....	117

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela resumo do HVS	8
Tabela 2 - Tabela resumo do <i>Pavement Fatigue Carrousel</i>	10
Tabela 3 - Tabela resumo do PTF.....	12
Tabela 4 - Tabela resumo do ALF	14
Tabela 5 - Resumo das características técnicas do SEAPR.....	15
Tabela 6 - Tabela de comparação quanto ao tipo de simulador.....	16
Tabela 7 - Tabela de comparação dos simuladores relativamente à sua estrutura	17
Tabela 8 - Tabela de comparação das características técnicas dos simuladores	18
Tabela 9 - Tabela de comparação de alguns dados relativos ao ensaio realizado pelos simuladores.....	19
Tabela 6 - Tabela resumo do Sistema de Tração	28
Tabela 7 - Tabela resumo do <i>Modelo Essencial</i>	42
Tabela 8 - Resumo do Modelo de Implementação	43
Tabela 9 - Tabela resumo sobre o Modicon M340.....	55
Tabela 10 - Principais características do módulo de contagem BMX EHC 0200 da Schneider	61

1 Introdução

As estradas, ou vias de comunicação rodoviária, têm uma importância reconhecida no desenvolvimento económico das regiões onde estas se encontram implantadas. A transação de bens ainda continua a ser realizada, em grande parte, através das rodovias que custam avultadas somas de dinheiro aos governos dos países.

Este capítulo introduz o leitor ao tema de ensaios “**acelerados de pavimentos rodoviários**”. Apesar do objectivo desta dissertação ser o desenvolvimento de software que permita a realização destes ensaios, a concretização desta tarefa tem de ser suportada por adequado conhecimento técnico sobre este tema.

Assim, neste capítulo o leitor irá tomar conhecimento da tecnologia utilizada para a realização de ensaios e dos objectivos propostos para esta dissertação.

1.1 Contextualização

No âmbito da disciplina de Dissertação, do 5º ano do curso de Engenharia Mecânica (opção de Automação), foi proposto um projecto para o desenvolvimento de software para o controlo de um *Sistema de Ensaio Acelerado de Pavimentos Rodoviários* (SEAPR) protótipo que foi desenvolvido pelo IDMEC, Instituto de Engenharia Mecânica, para os grupos de investigação em pavimentos rodoviários das Universidades de Coimbra e do Minho.

A construção de estradas tem grande relevância para a dinamização económica das sociedades. Assumindo que, nos próximos anos, o transporte de mercadorias continuará a ser realizado maioritariamente através de estradas, a exigência quanto ao aumento da sua vida, mantendo o necessário controlo de custo, irá aumentar (N. F. Coetzee, 1996).

O estudo das evoluções tecnológicas nas práticas de construção de pavimentos rodoviários e na aplicação de materiais betuminosos ou outros novos é, hoje em dia, realizado através da análise de dados recolhidos durante a simulação de tráfego sobre esses pavimentos.

Por exemplo, tem vindo a ser estudada a introdução de camadas de materiais desde o solo nativo até ao betuminoso para reduzir o ruído ou a poluição (http://nr2c.fehrl.org/?m=23&id_directory=225, *New Roads Concepts*- página 18), assim como, a inserção de novos materiais aplicados nas próprias misturas para a construção de betuminosos. É o caso de partículas resultantes da reciclagem de pneus usados em veículos automóveis (*Ecoflex*, 2005). Ainda que com vantagens claras para o ambiente, estas inovações têm de oferecer garantias em termos de performance que só podem ser comprovadas através de análise de dados concretos.

É através de "simuladores de tráfego" que se podem obter este tipo de dados, já que, é possível acelerar as condições de degradação de um pavimento por simulação acelerada experimental com solicitações mais ou menos exigentes. Estes simuladores têm uma particular importância na avaliação de qualidade de pavimentos a aprovar por entidades reguladoras de tráfego rodoviário, mas têm igualmente um papel essencial na investigação e desenvolvimento de novos conhecimentos associados a esta área tecnológica.

A pedido do *Laboratório de Mecânica dos Pavimentos* (LPav) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra e do *Laboratório de Pavimentos Rodoviários* do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho iniciou-se o estudo de um Simulador para o Ensaio Acelerado de Pavimentos Rodoviários (SEAPR), o primeiro a ser construído e colocado a funcionar em Portugal, à escala real.

Depois de ser tema para alguns projectos de fim de curso em Engenharia Mecânica na FEUP (Abílio Araújo, 2007) e de uma evolução contínua, foi seleccionada uma proposta de solução construtiva para o 1º SEAPR português. Atualmente, encontra-se construída a sua solução mecânica estrutural, foram desenvolvidos os meios de acionamento e comando de potência e a solução de automação para o comando automático do veículo que serve de base ao sistema de ensaio. Resta, assim, o desenvolvimento do software de comando e de supervisão de modo a que o simulador possa realizar a tarefa para a qual foi proposto.

1.2 Considerações sobre Ensaios e Simuladores

Um ensaio consiste na sujeição de um pavimento a uma solicitação de carga e descarga a uma taxa específica, e sob condições climatéricas determinadas, com o objectivo da recolha de dados contínua sobre a degradação do piso e da sua estrutura.

Durante um ensaio pode não só ser avaliada a camada de betuminoso que está em contato com a solicitação de carga mas, também, toda a estrutura de inertes subjacente.

Caso se pretenda efetuar o ensaio somente à camada superior do pavimento este pode ser realizado por simuladores de pequena dimensão e custo reduzido (Figura 1-1).



Figura 1-1 - Simulador de pequena escala do LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

No entanto, quando se pretende um estudo experimental sobre a estrutura subjacente e o betuminoso que constituem o pavimento, são necessários simuladores de escala superior, com maiores capacidades de carga, maiores velocidades e pistas de ensaio de maior comprimento, onde a solicitação de carga é aplicada através de um pneu de dimensão real, nomeadamente os utilizados em camiões, ou em aeronaves.



Figura 1-2 - Simulador de grandes dimensões (Kansas Accelerated Testing Laboratory)

Um ensaio pode ter como objectivo o estudo da resistência à deformação permanente (sulco provocado pelo pneu), a análise da resistência à fadiga por parte das diversas camadas

da sua estrutura ou o estudo dos estados de tensão a que essas camadas estão sujeitas, por exemplo (S. F. Brown, 1999).

A zona do pavimento em que o pneu de ensaio passa *a velocidade constante* é o “trecho de ensaio”, pois é neste trecho que devem ser retirados os dados experimentais para realizar posteriores análises.

Para obter os dados necessários para os referidos estudos, o pavimento deverá estar munido de alguns elementos de sensorização, por exemplo, “medidores de perfil” (*profilometer*) que permitem quantificar a rugosidade de uma superfície, “células de carga” para medir as forças aplicadas nas diversas camadas do pavimento, “sensores de deformação em profundidade” (*multi-depth deflectometers*) e “termopares” para medir a temperatura (Thomas L. Weinmann, ano desconhecido).



Figura 1-3 - “Multi-depth deflectometer” inserido no piso

Dependendo do tipo de simulador, e nomeadamente da sua dimensão, podemos ter simuladores localizados em ambiente aberto (ar livre) com capacidade de se moverem (amovíveis) e simuladores fixos localizados no interior de instalações (em laboratório). No primeiro caso, em geral, não é possível no simulador criar condições climáticas especiais, dada a sua grande dimensão e serem ao ar livre. Nos segundos casos as condições climáticas podem ser controladas na globalidade da instalação, ou através de uma cobertura que isola o pavimento sob ensaio do restante espaço. A temperatura e a humidade da pista são relevantes para o ensaio pois influenciam os resultados obtidos.

Como podemos observar pela Figura 1-4 o número de simuladores de larga escala, em todo o mundo, não ultrapassa as três dezenas, o que mostra que a capacidade de realizar estudos e tirar benefícios efectivos deste tipo de infra-estruturas ainda não está difundida por muitos países, existindo, mesmo assim, alguma variedade nas capacidades dos simuladores de condições de tráfego que serão identificadas posteriormente.



Figura 1-4 - Distribuição Mundial dos Simuladores de Ensaio Acelerado de Pavimentos Rodoviários (http://www3.uta.edu/faculty/sroman/AFD40/index_files/world.html)

Um simulador à escala real, genericamente, é constituído por um veículo que realiza a solicitação de uma carga através de um pneu de ensaio sobre o pavimento a estudar. O pavimento a ensaiar constitui assim uma “pista” que pode ter configuração circular, ou rectilínea. Os simuladores com pistas circulares permitem que os veículos de simulação possam circular sempre no mesmo sentido, e até atingir maiores velocidades, pois contêm trechos circulares ou ovais. No entanto, necessitam em geral de mais espaço disponível para a sua instalação e são forçosamente fixos ao local de origem. Os simuladores com pistas lineares ocupam, em geral, menos espaço e, portanto, são mais suscetíveis de serem inseridos em laboratórios. No entanto, as sucessivas passagens obrigam a inversões sucessivas de sentido do movimento de ensaio. Assim, as pistas lineares têm obrigatoriamente que incluir trechos onde há movimento de aceleração e desaceleração, bem como os *trechos de ensaio* onde se tem movimento a velocidade constante. Assim, os trechos de aceleração e desaceleração não são válidos para obter resultados. Apenas o trecho onde a velocidade é constante pode fornecer dados para análise.

Os pavimentos que se pretendem ensaiar podem, em muitos casos, não ser possíveis de construir no local onde está instalado um simulador. Assim, nesses casos é importante que seja o simulador a descolar-se para o local onde o pavimento está construído.

Para resolver este requisito, existem em alternativa aos já referidos "simuladores fixos" os "simuladores amovíveis". Estes últimos são essencialmente veículos de simulação que facilmente se podem mover de um ponto geográfico para outro enquanto os primeiros têm de se manter na nave industrial onde estão instalados.

Os ensaios de fadiga, que podem levar um pavimento à rotura, devem ser realizados em simuladores fixos, enquanto ensaios de carga simples, para fins de aceitação de qualidade, são mais adequados ser realizados por simuladores amovíveis.

Os veículos de simulação movimentam não só o pneu de ensaio ao longo de uma linha sobre a pista, mas, também em linhas paralelas já que dispõem de movimento lateral, designado por "*wander*". As cargas são aplicadas ao pneu, em geral, através de sistemas hidráulicos ou simplesmente através de cargas gravíticas.

As passagens do pneu de ensaio ao longo da pista podem ser unidireccionais ou bidireccionais, isto é, o contato entre a pista e o pneu pode acontecer apenas num sentido do movimento ou nos dois. As passagens unidireccionais provocam um aumento de tempo do ensaio, que se pretende acelerado. No entanto, aumentam a correspondência entre a simulação e a realidade da solicitação dos pavimentos.

Os simuladores aplicam, em geral, uma carga vertical sobre o pavimento, que representa a ação de um pneu rolante sobre um pavimento. Em poucos simuladores são criadas, para além das cargas verticais, cargas de corte, que representam a solicitação acrescida por pneus tratores.

Conforme o estudo que se queira realizar, os veículos de simulação podem usar um pneu simples ou duplo de camião, mas, também há casos em que são usados eixos completos ou, em vez de pneus de camião, são usados pneus de aeronave.

1.3 Heavy Vehicle Simulator (HVS)

Um dos primeiros APVs (Accelerated Pavement Vehicle) data de 1978 e foi desenvolvido pelo *Council for Scientific and Industrial Research* (CSIR) para o governo da África do Sul. Já realizou mais de 400 ensaios e ainda está em funcionamento continuando a ser uma ferramenta importante na engenharia de vias, ajudando a cortar nos custos das obras (<http://www.dynatest.com/pdf/HVS.pdf>).



Figura 1-5 - HVS em trabalho de campo

Este simulador é capaz de ensaiar até uma carga máxima de 200 kN, que pode ser aplicada por um pneu normal de caminhão ou até por um pneu de avião, este para testar pavimentos de pistas aeroportuárias.

Neste simulador, o sistema de movimentação do pneu de ensaio está inserido num caminhão e, portanto, é considerado um *simulador amovível*.

O seu acionamento é hidráulico e o movimento do pneu pode ser unidirecional ou bidirecional conforme se pretenda.

A velocidade máxima durante o ensaio é de 10,4 km/h (6.2 MPH) e está preparado para efectuar até cerca de 18.000 ciclos por dia no modo bidireccional. O curso do simulador é de 8m (26.2 ft.) e a largura (*“wander”*) é de cerca de 1,5m (4.9 ft.).

Uma vez estacionado o caminhão no local de ensaio, este não poderá mover-se mais até ao seu término devido ao conjunto de instrumentação frágil empregue, que está interligada com o próprio caminhão de ensaio.

Para recolha de dados são usados sensores de deformação de profundidade (*Multi-Depth Deflectometers*), detectores de piso (*Road Surface Detectors*), medidores de fendas (*Crack Activity Meter*), termopares e é realizado um adequado acompanhamento fotográfico da superfície do pavimento (<http://www.dynatest.com/pdf/HVS.pdf>).



Figura 1-6 - Sistema de ensaio do HVS

Seguidamente apresenta-se o quadro resumo deste dispositivo.

Tabela 1 - Tabela resumo do HVS

Tipo de Simulador	Amovível
Potência Instalada	N.D.
Carga Máxima	200 kN
Velocidade Máxima	10,4 km/h
Número Médio de Ciclos	750 ciclos/h
Pista de Ensaio	linear (8 m)

N.D.- Não disponível

1.4 *Pavement Fatigue Carrousel (PFC)*

Depois de apresentado um simulador de configuração linear, passa-se a descrever um APV com pista de geometria circular e de origem Francesa.

No início dos anos 80, a Divisão das Estradas Francesas decidiu construir um APV para testar à escala real, os pavimentos submetidos a tráfego de pesados. Assim, surge em

Nantes o primeiro centro de ensaios de betuminosos construído em França. Pelas suas características, permite reproduzir cerca de um ano de tráfego intenso em apenas uma semana atingindo uma velocidade máxima de 100km/h (<http://www.lcpc.fr/en/presentation/moyens/manege/index.dml>).

O ensaio tem como objectivo principal testar a estrutura do pavimento. No entanto, também permite retirar conclusões sobre a sua manutenção ou sobre as técnicas de reforço mais indicadas para cada piso.

Através de instrumentação adequada são guardadas informações que permitem conhecer a evolução da condição de fadiga e estado superficial da estrada, assim como, a durabilidade de novos materiais, a resistência de pneus ou até testar configurações de pneus num trem ou semi-reboque, por exemplo.

O centro de testes consiste em três pistas circulares, cada uma com uma estrutura de quatro braços onde se pode encontrar o pneu de ensaio (Figura 1-7).



Figura 1-7 - Pavement Fatigue Carousel (Nantes)

O dito carrossel, é propulsionado por um motor de 750kW e cada braço tem uma envergadura de 20m.

Com a ajuda de um sistema de suspensão de baixa rigidez são aplicadas cargas ao pavimento. Estas podem ser ajustadas entre 45 e 135 kN.

A pista de testes tem um raio de 17,5 m e uma largura de 6 m. Como os braços permitem o movimento radial do pneu de ensaio este pode trabalhar em diferentes raios ao longo de um ensaio.

Uma das pistas tem uma parte mais profunda onde a humidade do piso é controlada. Deste modo é possível manter um certo nível de água no pavimento durante todo o ensaio sendo importante para retirar conclusões ao nível da relevância das condições climáticas para os resultados do ensaio (<http://www.lcpc.fr/en/presentation/moyens/manege/index.dml>).



Figura 1-8 - Imagem de pormenor do Pavement fatigue Carrousel

Tabela 2 - Tabela resumo do *Pavement Fatigue Carrousel*

Tipo de Simulador	Fixo, exterior
Potência Instalada	750 kW
Carga Máxima	135 kN
Velocidade Máxima	100 km/h
Número Médio de Ciclos	N.D.
Pista de Ensaio	circular

1.5 *Pavement Test Facility (PTF)*

Após uma apresentação de dois APVs bastante diferentes em termos de configuração, mas ambos para utilização externa, iremos agora apresentar um simulador que apresenta movimento linear mas em que o ensaio decorre em ambiente laboratorial.

O PTF é de origem Inglesa, construído em 1984 pelo *UK Transport Research Laboratory* (TRL), e é composto por um veículo de simulação e uma pista linear com 25 m de comprimento e 10 m de largura (http://www.trl.co.uk/facilities/pavement_testing/).

A instrumentação usada permite a medição da tensão e da deformação do pavimento. Este pode ser aquecido por radiação de infravermelhos que é controlada com recurso a termopares.

Por cima da pista está montada uma estrutura que permite o movimento longitudinal do pneu de ensaio.

Este aparelho permite o funcionamento 24 horas por dia e pode realizar cerca de 1000 ciclos por hora. O movimento principal do pneu é longitudinal mas, caso seja pretendido, poderá também deslocar-se lateralmente.

A velocidade máxima é de 20 km/h exercendo uma carga que pode variar entre os 23 e os 100 kN.

Este sistema não usa um mas dois pneus de ensaio colocados lado a lado com é possível observar na Figura 1-9.



Figura 1-9 - Pavement Test Facility

Segundo o *UK Transport Research Laboratory*, responsável pelo desenvolvimento e produção do simulador, a utilização de ensaios acelerados a pavimentos permitiu a criação de novas misturas betuminosas de relevante interesse comercial e a inclusão de materiais reciclados. Tudo isto sem prejudicar a performance do piso, permitindo respostas em tempo diminuto (http://www.trl.co.uk/facilities/pavement_testing/).

Tabela 3 - Tabela resumo do PTF

Tipo de Simulador	Fixo, interior
Potência Instalada	N.D.
Carga Máxima	100 kN
Velocidade Máxima	20 km/h
Número Médio de Ciclos	1000 ciclos/h
Pista de Ensaio	linear (25 m x 10 m)

1.6 Accelerated Loading Facility (ALF)

O ALF é usado para simular o tráfego durante a vida de um pavimento em apenas alguns meses (Bueche N., depois de 2007).

O pavimento é testado efectuando movimento de “vaivém” de um eixo com um ou dois pneus. A carga é exercida através de uma suspensão amortecida por um acumulador pneumático e o movimento é unidireccional para melhor simular as condições de trânsito. No entanto, há a possibilidade de efectuar movimento lateral para testar toda a largura do piso.

Como meio de propulsão este veículo possui um motor eléctrico de 11kW que é uma potência relativamente baixa comparando com as outras máquinas de teste anteriormente descritas.

Apesar de neste momento o ALF se encontrar na Suíça, na EPFL *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, originalmente este simulador foi construído na Austrália. Em 24 anos, já foi usado em mais de 250 ensaios e fez cerca de 32 milhões de passagens sobre diferentes pavimentos.



Figura 1-10 - Accelerated Loading Facility

Como é possível observar na Figura 1-11, o ensaio decorre sob uma cobertura para se conseguir uma atmosfera controlada no segmento de betuminoso a testar.



Figura 1-11 - ALF em ensaio com ambiente controlado

Segundo dados do *LABoratoire des VOies de Circulation* (LAVOC), da *École Polytechnique Federale de Lausanne*, na Suíça, esta máquina tem incorporado um sistema de climatização do pavimento sendo usadas gamas de temperatura de trabalho entre os 15°C e os 40°C.

A pista tem um comprimento total de ensaio de 5.4m e uma largura de 13m para que possam ser depositados diferentes tipos de betuminosos. Porém, o comprimento efectivo de ensaio é 4.5m visto que 1.5m são usados para a travagem e aceleração. Considera-se como trecho de ensaio 4.5m de pista, mas apenas 2 m são de velocidade constante (Bueche N., depois de 2007).

Para terminar apresenta-se a tabela resumo do ALF com os seus principais dados.

Tabela 4 - Tabela resumo do ALF

Tipo de Simulador	Fixo, interior
Potência Instalada	11 kW
Carga Máxima	140 kN
Velocidade Máxima	10 km/h
Número Médio de Ciclos	2000 ciclos/h
Pista de Ensaio	linear (4,5 m x 13 m)

1.7 O SEAPR

O SEAPR é o primeiro *Simulador de Ensaio Acelerado de Pavimentos Rodoviários* construído em Portugal para realizar ensaios à escala real numa nave industrial.

A concepção e construção deste simulador foram confiadas ao IDMEC (Instituto de Engenharia Mecânica da FEUP). É um simulador que, sendo fixo e instalado em ambiente industrial, foi concebido de modo a poder facilmente ser transportável para um outro local de ensaio. Sendo um simulador solicitado por dois grupos de investigação universitários, será essencialmente dedicado a trabalhos de apoio a investigação científica e tecnológica.

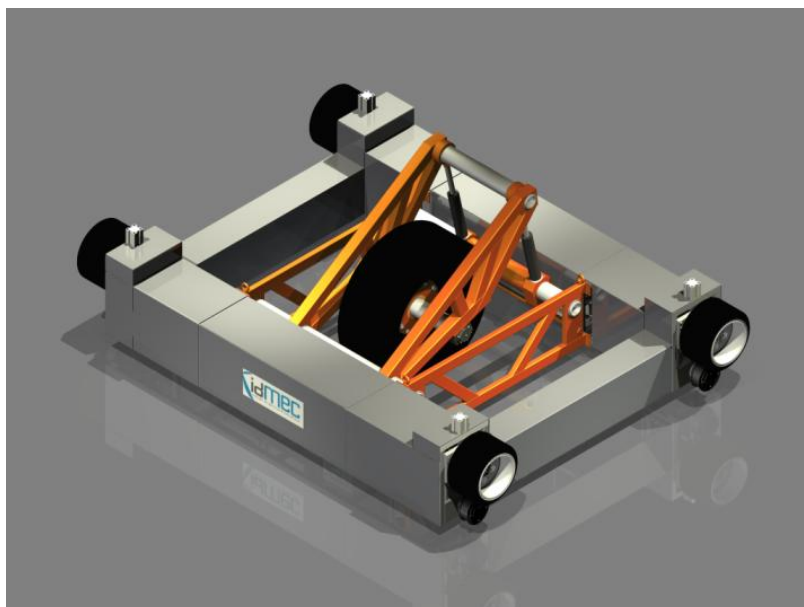


Figura 1-12 - SEAPR

A configuração deste simulador é linear, com o movimento de vaivém suportado sobre carris laterais. Todos os movimentos são realizados por actuadores hidráulicos sendo a potência elétrica de acionamento instalada de 25kW. Isto permite-lhe atingir uma velocidade

máxima de 20 km/h tendo uma massa de aproximadamente 2000 kg. O esforço de tracção é efectuado através de quatro pneus rígidos colocados sobre os carris laterais.

A carga máxima que este simulador pode aplicar sobre o pavimento é de 95 kN e a amplitude do movimento lateral do pneu de ensaio (pneu que está no centro Figura 1-12), também conhecido como movimento *wander*, é de ± 250 mm.

A sua estrutura modular permite alguma flexibilidade das suas características. Assim, pode ser usado um pneu de ensaio simples ou duplo não tractor através da simples troca do módulo central (a cor de laranja na Figura 1-12).

Embora necessite de uma nave industrial com condições específicas, o SEAPR foi construído com a preocupação de poder ser transportado para diferentes locais onde a infraestrutura do simulador tenha sido previamente construída.

Partindo desta característica específica do SEAPR, a nave industrial onde o SEAPR irá ser instalado terá efectivamente duas pistas de ensaio. Isto permite realizar ensaios numa pista enquanto se procede à preparação do pavimento de um novo ensaio na outra. Cada pista de ensaio tem o comprimento total de 40m dos quais apenas 28 constituem a parte da pista de ensaio onde a velocidade de passagem é constante. Dado o grande comprimento de pista efectiva de ensaio, podem ser definidos ao longo destes comprimentos diferentes *trechos de ensaio*, por exemplo com 4m de comprimento cada, sendo, assim, ensaiadas diferentes estruturas betuminosas ao mesmo tempo. Durante a realização de um ensaio as condições de temperatura e humidade poderão ser controladas através da utilização de uma cobertura que isola a pista do restante ambiente da nave.

Tabela 5 - Resumo das características técnicas do SEAPR

Tipo de Simulador	Fixo*, interior
Potência Instalada	25 kW
Carga Máxima	95 kN
Velocidade Máxima	20 km/h
Número Médio de Ciclos	370 ciclos/h
Pista de Ensaio	linear (40 m x 3 m)

* - Transportável para outra localização

1.8 Comparação entre simuladores

Uma vez efetuada a descrição de cada máquina, será não menos interessante comparar os diversos simuladores referidos. Por ser um pouco diferente de todos os outros simuladores excluiu-se a comparação com o Pavement Fatigue Carrousel.

1.8.1 Tipo de simulador

Os simuladores em comparação são todos de configuração linear. No entanto, o HVS é um simulador amovível, isto é, pode mover-se de um local de ensaio para outro pelos seus próprios meios.

Tabela 6 - Tabela de comparação quanto ao tipo de simulador

Simulador	Configuração do Simulador	Mobilidade	Local de ensaio
HVS (África do Sul)	Linear	Amovível	Ambiente aberto
PTF (Inglaterra)	Linear	Fixo	Laboratório
ALF(Suiça)	Linear	Fixo	Laboratório
SEAPR(Portugal)	Linear	Fixo/Transportável	Laboratório

O SEAPR foi pensado para ser utilizado em locais diferentes e pode ser transportado de uma instalação para outra com relativa facilidade. Já os restantes simuladores, devido às suas dimensões e dificuldade de instalação, têm de permanecer nos locais de origem.

O ensaio em laboratório é vantajoso para as actividades de investigação e desenvolvimento de novos materiais e estruturas de inertes dos pavimentos a que estão associados o SEAPR, ALF e PTF. O HVS está dotado para o ensaio de pavimentos nos locais em que estes já estão em uso ou onde estão a ser construídos.

O fato do HVS realizar ensaios em ambiente aberto torna o controlo das condições climáticas bastante mais difícil. Na verdade, como a finalidade deste simulador é ensaiar o pavimento num determinado local, com um determinado clima natural, a dificuldade na criação de atmosferas controladas não é relevante.

Para os restantes, cujo objectivo é permitir a recolha de dados dos pavimentos a ensaiar sob diferentes condições de carga, velocidade, temperatura, humidade, entre outras o

laboratório é o sítio indicado. No caso do ALF e do SEAPR são usadas coberturas colocadas por cima da pista e do veículo de simulação que permitem criar as condições de clima indicadas para o ensaio.

1.8.2 Estrutura

O SEAPR é um pouco inovador neste parâmetro. O seu veículo de simulação move-se conjuntamente com o pneu de ensaio durante o movimento longitudinal o que, não acontece com os outros simuladores. Isto é possível devido à preocupação de construir um veículo de simulação de pequenas dimensões e de massa reduzida.

Tabela 7 - Tabela de comparação dos simuladores relativamente à sua estrutura

Simulador	Estrutura do Simulador	Dimensões do Simulador (comprimento×largura [m])
HVS (África do Sul)	Inserida num camião	22,56×3,73
PTF (Inglaterra)	Pneu simples ou duplo que se desloca por baixo de estrutura suporte	N.D
ALF (Suíça)	Eixo que se desloca num carril	28,65×3,66
SEAPR(Portugal)	Veículo de simulação de estrutura modular que se desloca sobre carris	3×3

No HVS e no PTF o pneu de ensaio aparece associado a uma pequena estrutura que liga o pneu ao resto do simulador. Durante o ensaio apenas o pneu e a sua estrutura de suporte se deslocam para a realização dos ciclos do ensaio. No caso do ALF existe um eixo onde estão inseridos os pneus de ensaio. Durante os movimentos de vaivém apenas esse eixo se move.

O fato do SEAPR ter um veículo de simulação que se move com o pneu durante o ensaio permite que este simulador tenha uma pista de maior comprimento onde podem ser feitos ensaios a diferentes pavimentos ao mesmo tempo. Uma possível desvantagem desta utilização é que a passagem do pneu não ocorre longitudinalmente com os trechos dos diferentes betuminosos (como acontece na solicitação real) mas, transversalmente.

No simulador português, para realizar movimento *wander* apenas o pneu de ensaio se move. No ALF e no PTF e no ALF toda a estrutura do simulador se tem de mover. Isto permite uma maior amplitude do movimento *wander*. Esta característica permite também a

estes dois simuladores utilizarem pistas de largura bastante superior à do SEAPR, onde podem ser depositados vários pavimentos diferentes encurtando o tempo de intervalo para a realização de novo ensaio a outro piso.

O SEAPR dispõe de duas pistas na sua nave industrial. Assim, numa poderá estar a ser realizado um ensaio e a outra pode estar a ser preparado um novo pavimento. Portanto, para começar um novo ensaio só é necessário retirar o seu veículo de simulação de uma pista e instalá-lo na outra.

1.8.3 Caraterísticas Técnicas

Cada simulador tem um conjunto de caraterísticas quer por causa da sua estrutura quer pelo tipo de ensaios para que foram criados.

Tabela 8 - Tabela de comparação das características técnicas dos simuladores

Simulador	Velocidade Máxima	Capacidade de Carga sobre o solo	Potência Instalada	Acionamento
HVS (África do Sul)	10,4 km/h	200 kN	N.D.	Hidráulico
PTF (Inglaterra)	20 km/h	100 kN	N.D.	N.D.
ALF (Suíça)	10 km/h	140 kN	11 kW	Elétrico
SEAPR (Portugal)	20 km/h	95 kN	25 kW	Hidráulico

O SEAPR e o HVS são acionados hidraulicamente. No ALF o acionamento é realizado através de, pelo menos, um motor elétrico. No SEAPR a solução hidráulica é inevitável devido às acelerações e desacelerações que o veículo de simulação tem de realizar durante o ensaio. O sistema de tração, que possui motores hidráulicos, permite que o SEAPR tenha a disponibilidade de binário necessária para o arranque após inversão de sentido. Por causa de todo o veículo de simulação se ter de mover para a realização de um ensaio o SEAPR aparece como o simulador com maior potência instalada conhecida dentro destes quatro simuladores em estudo. No entanto, se o SEAPR for comparado com o Pavement Fatigue Carrousel (Simulador Francês apresentado anteriormente) que tem uma potência instalada de 750 kW poder-se-á concluir que qualquer um destes simuladores é de baixa potência.

1.8.4 Ensaio

Um ensaio é caracterizado pela carga aplicada, pela velocidade máxima, mas também pelo número e tipo de pneus que o executam e pelas condições climatéricas em que este é executado.

Tabela 9 - Tabela de comparação de alguns dados relativos ao ensaio realizado pelos simuladores

Simulador	Nº de Pneus	Dimensão da Pista de Ensaio (comprimento×largura [m])	Nº médio de ciclos
HVS	Um simples	10×N.D.	750/h
PTF	Um simples ou duplo	25×10	1000/h
ALF	Um simples ou duplo	4,5×13	2000/h
SEAPR	Um simples ou duplo	40×3	370/h*

* Previsto

O HVS apenas realiza ensaios com um pneu, já o PTF ensaia com um pneu duplo e o ALF utiliza um eixo que também permite realizar o ensaio com um pneu simples ou duplo. O SEAPR está preparado para ensaiar pavimentos com um pneu simples ou duplo através da troca do seu módulo central onde está alojado o pneu de ensaio. Pode então concluir-se que o ALF e o SEAPR são os simuladores mais versáteis do grupo. Embora o ensaio com um pneu possa ter algumas vantagens, nomeadamente, utilizar menos largura de pista este factor não é propriamente decisivo para o ensaio.

Analisando as colunas das dimensões da pista de ensaio e do número de ciclos por dia, pode inferir-se que uma pista de menor comprimento permite a realização de maior número de ciclos por hora porém, nas pistas de maior comprimento a deposição de diferentes betuminosos ao longo da sua extensão pode permitir realizar vários ensaios ao mesmo tempo.

Embora não sejam conhecidos os dados do número real de ciclos real por hora que o simulador Português pode efectuar, realizando alguns cálculos em que foi considerada a velocidade máxima do SEAPR (20km/h) e uma capacidade de aceleração e desaceleração de $2,56 \text{ m/s}^2$ este simulador conseguiria realizar cerca de 385 ciclos por hora. Este número encontra-se um pouco abaixo dos seus concorrentes no entanto, o SEAPR tem o maior comprimento de pista podendo, assim, retirar a vantagem de realizar vários ensaios a pavimentos de uma só vez. Destaca-se também que o valor de velocidade máxima (20km/h) foi estimado para quando também estiver a ser exercida a carga máxima de ensaio. Assim,

com outras condições de carga a velocidade máxima irá aumentar e pode ser feito um maior número de ciclos por hora.

1.9 Objectivos da Dissertação

O objectivo desta dissertação é a concepção e implementação de software de controlo e supervisão para permitir o correcto funcionamento de um veículo de simulação para um *simulador acelerado de pavimentos rodoviários*. No entanto, este poderá ser dividido em pequenos objectivos mais facilmente compreensíveis.

Em primeiro lugar, será necessário efectuar uma especificação do software. Esta tarefa é essencial pois permite, na fase de desenvolvimento, uma poupança de tempo e recursos importante.

A par da construção do documento acima referido, é necessário definir claramente um ensaio. Isto é, decidir as dimensões da ou das pistas de ensaio, determinar o procedimento que tem de ser seguido e estipular as condições mínimas necessárias para que este ocorra.

Apesar do grosso da construção mecânica do sistema já ter sido efectuada, alguns pormenores ligados à adaptação do veículo à pista de ensaio, tais como modo de alimentação, instalação de uma UPS (Universal Power Supply) e inserção de comunicação sem fios ainda, introdução de uma consola de operador e de um sistema de detecção de fontes de alimentação terão de ser ultimados.

O objectivo principal será a construção de um programa para o PLC (Programmable Logic Controller) que incorpora o veículo. Este programa deve garantir o bom funcionamento do veículo, como garante da solicitação de carga, de um modo essencialmente autónomo, já que um ensaio pode ter uma duração de alguns meses. O simulador deverá, também, incluir uma interface com o sistema SCADA (Supervisory Control And Data Aquisition) que proporcionará a interface entre o utilizador e a máquina de ensaio.

Por fim, será necessário programar o sistema de supervisão de modo a dar ao operador todas as ferramentas necessárias para interagir com o veículo e, ao mesmo tempo, para poder receber do simulador as informações mais importantes sobre o seu estado.

Resumo do Capítulo

O SEAPR é um projecto que tem vindo a ser desenvolvido já há alguns anos pelo IDMEC e que demonstra a crescente importância de realizar as escolhas acertadas na construção de estradas.

Apesar de não haver mundialmente muitos simuladores de ensaios de pavimentos, os que já estão em funcionamento podem assumir variadas geometrias e ter maneiras de trabalho muito diversificados.

O SEAPR é o primeiro simulador de escala real construído em Portugal para o estudo de pavimentos rodoviários numa nave industrial. Comparativamente com os seus pares apresenta algumas soluções de construção inovadoras.

O objectivo deste trabalho passa por compreender o funcionamento de todos os órgãos mecânicos de modo a realizar a construção de um software para o autómato que comanda o veículo de simulação e um sistema de supervisão. Deve ter-se em conta a função específica deste e as operações que deve cumprir.

2 O SEAPR

Neste capítulo irá descrever-se em pormenor o SEAPR e os subsistemas que o constituem, assim como irá ser apresentada a configuração da pista onde o veículo de simulação deverá estar instalado.

2.1 Descrição geral do SEAPR

Como foi referido no capítulo anterior, o SEAPR foi criado para satisfazer as necessidades de dois núcleos de investigação universitários na área de pavimentos rodoviários. Assim, um dos requisitos que estava inerente era a capacidade de ser transportável, de modo a poder tanto ser utilizado por um grupo universitário como pelo outro nas suas instalações. Este requisito foi satisfeito através da criação de um veículo de simulação compacto, em que todos os elementos do sistema estão incorporados no próprio veículo. No entanto, devido à configuração linear do sistema de ensaio, o veículo de simulação teria que realizar acelerações e desacelerações que envolvem forças maiores quanto maior for a massa do veículo.

A solução encontrada para este conjunto de requisitos foi dotar o veículo de um sistema de acionamento hidráulico, pois este permite binário máximo em torno do ponto de inversão da marcha. Esta característica é essencial para se garantir aceleração capaz de cumprir uma determinada velocidade no fim da zona de aceleração (Abílio Araújo, 2007). Podem ainda referir-se as tradicionais vantagens da óleo-hidráulica nomeadamente em termos da ampla variação contínua de velocidade e a sua grande robustez e fiabilidade.

Assim, surge um veículo de chassis modular rígido capaz de suportar as cargas e as vibrações intrínsecas a um ensaio e onde os restantes componentes hidráulicos e elétricos estão inseridos.

Neste sistema de ensaio o veículo de simulação tem quatro rodas que realizam esforço de tração sobre carris. No seu centro encontra-se o pneu de ensaio através do qual pode ser

aplicada uma carga vertical até 100 kN sobre o pavimento. A reação a esta carga é suportada por 4 rodas de reação colocadas por baixo da superfície do carril.

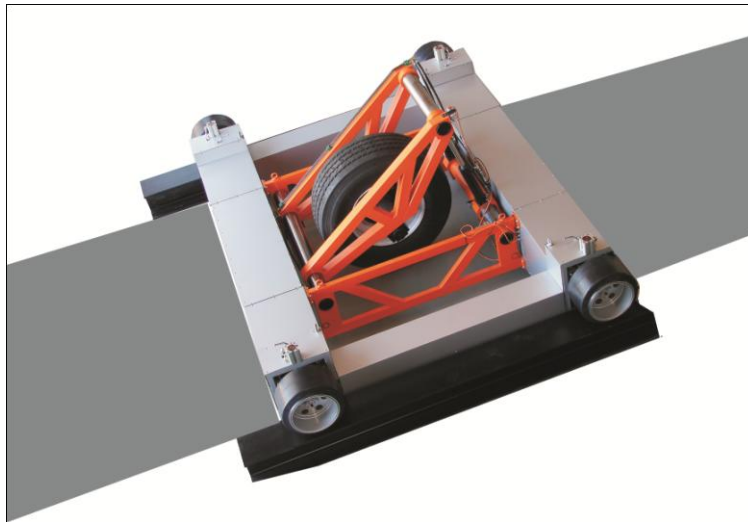


Figura 2-1 - O veículo de simulação SEAPR

Para cumprir a sua função, o simulador deve assegurar a realização de diferentes movimentos. Estes podem ser divididos em dois conjuntos:

- Movimento de Tração
- Movimentos Auxiliares

O *movimento de tração* também pode ser referido como *principal* pois a ele estão afetos um pouco mais de 20 kW de potência dos 25 kW instalados. Os *movimentos auxiliares*, têm requisitos de potência muito inferiores e nunca têm funcionamento simultâneo, razão pela qual partilham a mesma fonte de energia auxiliar e, portanto, podem ser inseridos num mesmo conjunto de movimentos. Deste fazem parte:

- o *movimento de carga vertical* do pneu de ensaio;
- o *movimento wander* do pneu de ensaio;
- o *movimento de carrilamento* das rodas de tração.

O *movimento de carga vertical* do pneu de ensaio tem como função aplicar uma determinada carga vertical do pneu sobre o pavimento durante o ensaio e ajustá-la, caso seja necessário.

O *movimento wander* do pneu de ensaio permite o deslocamento lateral do pneu de ensaio para que a carga vertical do pneu não seja realizada somente sobre uma linha, mas sim sobre uma área a ensaiar.

O movimento de carrilamento das rodas de tração permite satisfazer o requisito da transportabilidade, pois é o responsável pela instalação ou desinstalação do veículo de simulação nos carris da pista de ensaio.

2.2 Movimento de Tração

O movimento de tração permite o deslocamento longitudinal do veículo sobre os carris da pista de ensaio.

Cada uma das rodas é acionada por um motor hidráulico, de 50cc, que é capaz de disponibilizar um binário máximo de 136 N-m, o que permite ao veículo acelerar até atingir uma velocidade máxima de 20 km/h.

Os pneus que asseguram a tração são *pneus sólidos*, não têm câmara-de-ar, para maior resistência ao desgaste e à deformação.

O circuito de acionamento constitui uma transmissão hidrostática rotativa “dupla”, em circuito fechado, sendo cada dois motores hidráulicos movidos, em paralelo, por uma bomba de cilindrada variável, com comando electro-hidráulico. O seu accionamento é assegurado por um motor eléctrico, mergulhado em óleo, de 20kW a rodar as 3000 rpm, sendo as duas bombas hidráulicas de cilindrada variável de 14 cc funcionando a uma pressão máxima de 200 bar (Figura 2-2). Com esta solução é conseguida uma construção compacta e, sobretudo, de massa reduzida.

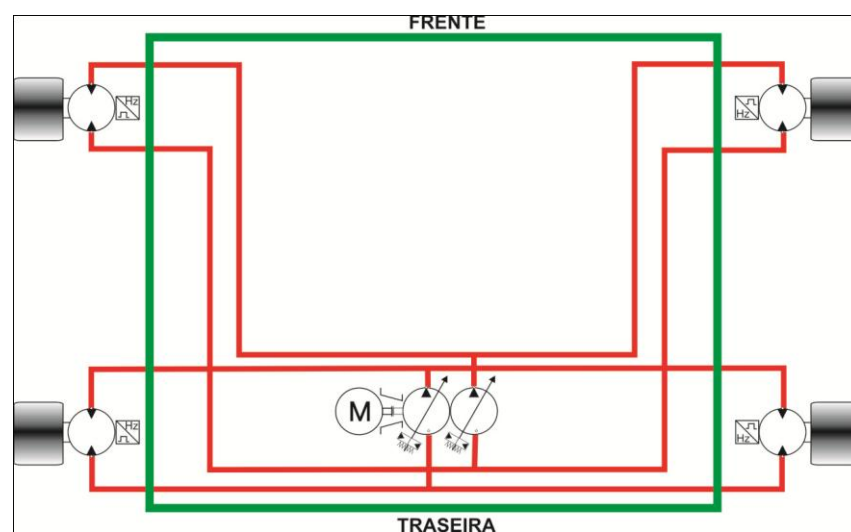


Figura 2-2 - hidráulico de comando (simplificado) do movimento de Tração

Cada bomba alimenta um par de motores, isto é, uma bomba alimenta os dois motores da frente e a outra os dois motores de trás. Os motores que estão alimentados por uma bomba encontram-se ligados em paralelo para que possa haver uma equilibragem de binário/caudal.

Os circuitos de alimentação dos motores hidráulicos funcionam em circuito fechado e são dotados de uma potência hidráulica elevada. Portanto, é necessário considerar o arrefecimento e regeneração do óleo no circuito fechado. Para tal usa-se um *circuito de compensação* e um *circuito de lavagem*. O primeiro requer uma bomba de compensação que permite compensar as fugas existentes quer nas bombas quer nos motores, evitando assim a possibilidade de cavitação no circuito fechado. O segundo consiste na utilização de uma válvula de pilotagem hidráulica que liga a parte do circuito que está sob menor pressão ao tanque, fazendo assim com que “todo” o caudal da bomba de compensação seja utilizado, também, na regeneração do caudal do circuito fechado. De referir que antes de sair esse óleo tem de passar por uma válvula limitadora de pressão para garantir pressão mínima no circuito (Figura 2-3).

Em caso de falha na alimentação de electricidade, ou por motivos de segurança, esta máquina possui quatro válvulas manuais (V16 na Figura 2-3) que, quando abertas, fazem com que o circuito principal (de tração) fique livre. Isto permite que a máquina seja manejada por forças exteriores, nomeadamente manuais.

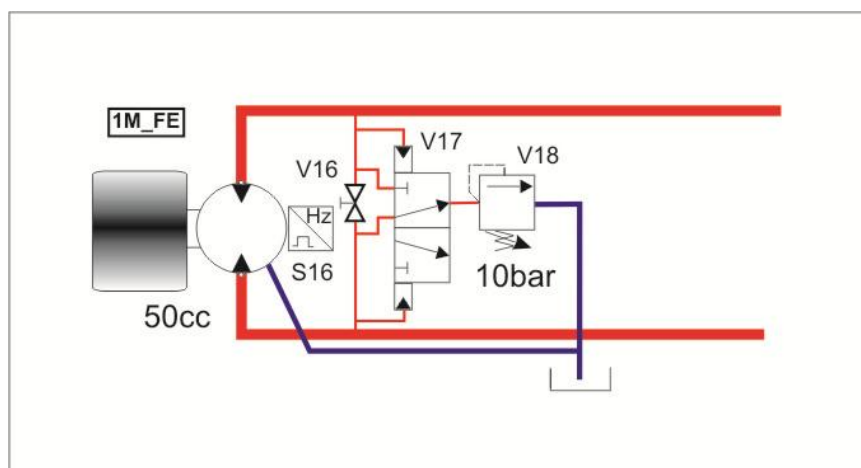


Figura 2-3 - Circuito de lavagem

O comando de cilindrada das bombas é efectuado por pilotagem hidráulica (pressão hidráulica). Um circuito auxiliar e duas válvulas proporcionais reguladoras de pressão permitem o comando do aumento ou diminuição da cilindrada, por aumento ou diminuição da pressão hidráulica de comando). Este circuito auxiliar é composto por uma bomba de baixo caudal (2 cc) a funcionar a uma pressão máxima de 40 bar (fig. 2-4). Uma das válvulas

proporcionais é responsável pelo comando da cilindrada num sentido do movimento e a outra no outro sentido.

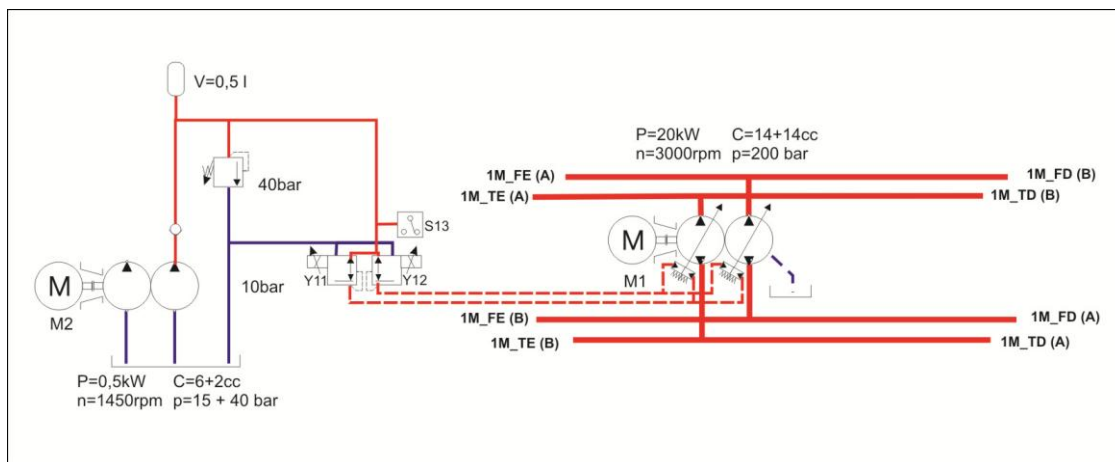


Figura 2-4 - Circuito hidráulico do sistema de controlo da cilindrada

Antes de se efetuar qualquer ação de comando sobre o sistema de tração é necessário ligar o circuito de compensação. Este é constituído por uma bomba hidráulica de 6 cc, funcionando a uma pressão máxima de 15 bar (Figura 2-4) que permite a compensação de fugas e cria uma pressão mínima de 10 bar no circuito principal evitando a cavitação, pressão esta que é definida pelo *circuito de lavagem*.

Tanto a compensação como o comando de cilindrada são accionados por um motor eléctrico de 0,5 kW a 1450 rpm ligado às bombas em tandem.

Ao nível de sensorização, cada roda do veículo tem associado um *encoder incremental* para medir a posição, velocidade e aceleração do veículo de ensaio. Por cada trem de rodas existe um transdutor de pressão para se poder medir o binário que está a ser aplicado às rodas.

Em caso de uma variação brusca do comando da cilindrada existe um pequeno acumulador de 0,5 l que garante o caudal instantâneo necessário à execução do pedido.

Tabela 10 - Tabela resumo do Sistema de Tração

Motor eléctrico 1	20 kW@3000rpm	
Circuito Principal	Bombas hidráulicas	14 cc @200bar
	Motores hidráulicos	50cc
Motor eléctrico 2	0,5 kW@1450rpm	
Circuito de Compensação	Bomba hidráulica	6cc@15bar
Circuito de Comando da Cilindrada	Bomba hidráulica	2cc @45 bar

2.3 Movimentos Auxiliares

Os circuitos hidráulicos auxiliares que serão apresentados nesta secção estão dependentes de uma mesma fonte de energia eléctrica e hidráulica.

Assim, um motor eléctrico de 0,75 kW a 1450 rpm com uma bomba de 1,9 cc a 120 bar irá alimentar:

- o *circuito de wander*;
- o *circuito de carga vertical*;
- o *circuito de carrilamento*.

Todos estes movimentos têm a particularidade de não necessitar de funcionar “em simultâneo”, daí poderem partilhar a mesma fonte de energia.

2.3.1 Movimento *Wander*

Ao sistema que permite a movimentação lateral do pneu de ensaio é dado o nome de *wander*. Este movimento só pode ser realizado quando o pneu se encontrar sem contacto com o piso.

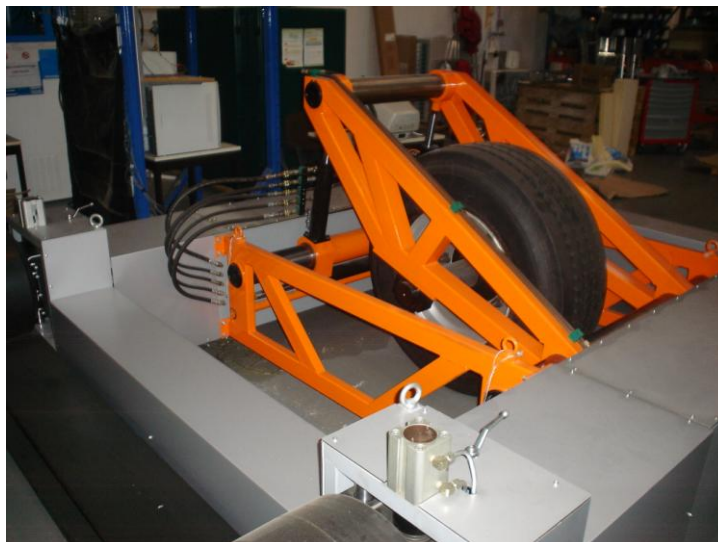


Figura 2-5 - Movimento wander e de movimento de carga vertical (a cor de laranja)

Para que haja igualdade de velocidade em ambos os sentidos de movimento e sincronismo, são utilizados dois cilindros hidráulicos simétricos ligados “em série”, tendo as hastes fixas e os corpos móveis. O controlo destes é efectuado por uma válvula convencional (“tudo ou nada”) de quatro orifícios e três posições. Associada a esta, está também, uma válvula de descarga que liga os dois cilindros à fonte hidráulica de modo a que possa ser feita a compensação de fugas e a calibração dos cilindros (Figura 2-6).

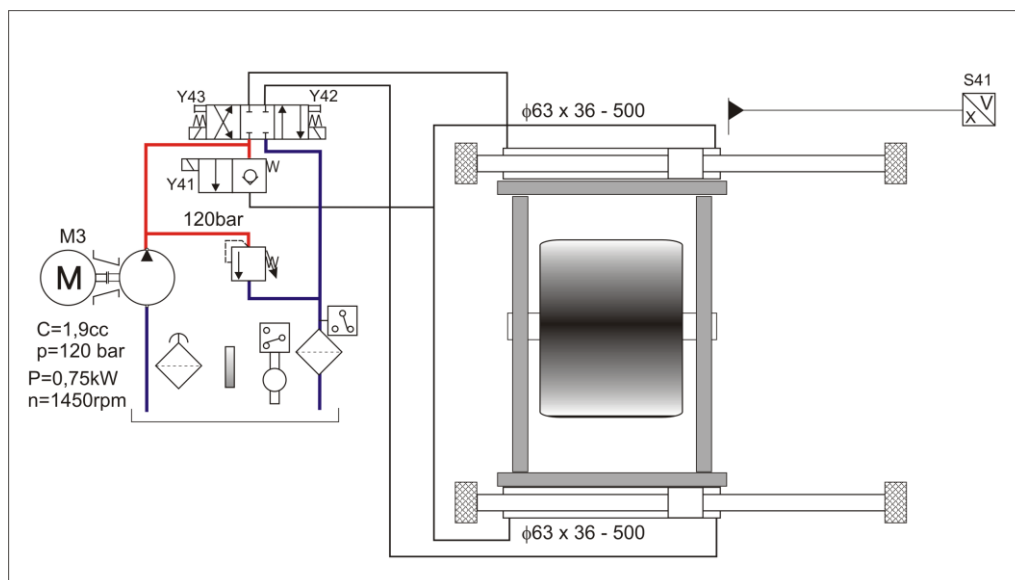


Figura 2-6 - Circuito hidráulico do Movimento Wander

Uma vez que o movimento wander define a posição transversal do pneu é de todo o interesse esta ter medição contínua por meios eléctricos. Para tal é utilizado um transdutor de posição potenciométrico de cabo.

2.3.2 Movimento de Carga Vertical

Neste movimento de carga vertical podem ser destacadas quatro estados:

- O estado de *paragem superior*, no qual os actuadores estão sob a carga gravítica do pneu;
- O estado do *movimento gravítico*, quando o pneu se move sem efetuar qualquer carga sobre o pavimento;
- O estado do *movimento de carga/descarga*, quando o pneu se move estando a pressionar o pavimento;
- O estado de “*manutenção de carga*”, com movimento vertical “livre” do pneu.

Portanto, existe um primeiro estado em que o pneu deve ser mantido numa posição estacionária, sob uma carga gravítica. Esta posição deve ser mantida por tempo indeterminado, pelo que não pode haver qualquer fuga interna de fluido hidráulico.

No segundo estado, realiza-se o movimento de descida, ou subida, em que o circuito hidráulico está sujeito à carga gravítica do pneu, que é negativa. Durante esta fase a velocidade de descida ou subida do pneu deve ser sempre particularmente lenta. Durante a descida não deverá ocorrer um aumento de velocidade devido ao peso do pneu.

No terceiro estado, pretende-se aumentar, ou diminuir, o esforço de carga sobre o piso, sendo portanto a carga fortemente positiva. No entanto, a carga é elástica devido à compressibilidade do pneu. Se a carga deixar de ser elástica, é porque o pneu “rebentou” ou “furou” e, portanto, passa a ser rígida.

No quarto, e último estado, em que a carga hidráulica se encontra no intervalo desejado de carga, esta deve manter-se mesmo que exista algum movimento vertical do pneu criado pela eventual “ondulação do piso”, quando o pneu se encontrar em rolamento sobre o piso.

Através de dois cilindros hidráulicos, que estão sujeitos a esforço essencialmente de tração, pode ser efectuada, através de uma alavanca de relação 1:2, uma carga máxima de 100 kN sobre o piso, carga essa medida por um transdutor de pressão.

O comando do movimento é efectuado por uma válvula convencional de quatro orifícios e três posições. Quando o pneu se encontra parado sob acção de uma carga gravítica

nenhuma das válvulas se encontra atuada. A posição é assegurada pelas duas válvulas de retenção (Figura 2-7) colocadas antes da válvula de comando.

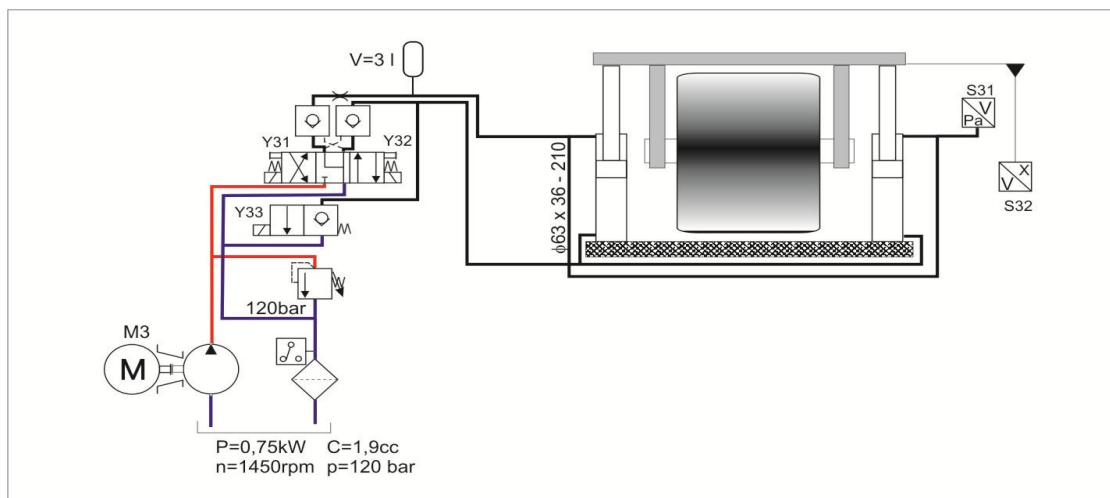


Figura 2-7 - Circuito hidráulico de carga vertical

A descida do pneu apenas sob acção de força gravítica implica a atuação do solenóide Y32 que, fará com que a câmara superior dos cilindros fique ligada à linha de pressão. Apesar da carga gravítica ser favorável ao movimento de descida, a velocidade de descida é garantidamente controlada, pois a válvula de retenção colocada na linha das câmaras inferiores dos cilindros só comuta (por pilotagem hidráulica) quando a pressão nas câmaras superiores é maior que a pressão nas câmaras inferiores.

Quando o pneu entra em contacto com o solo não faz sentido que as câmaras inferiores dos cilindros, antes usadas para controlar o movimento, continuem sob alguma pressão. Assim, a linha hidráulica que está ligada à câmara inferior dos cilindros é ligada ao tanque através da atuação do solenóide Y33 (Figura 2-7). No entanto, para se realizar uma redução de carga que o pneu de ensaio exerce sobre o piso, a válvula de comando tem de ser atuada pelo solenóide Y32 e a válvula de descarga deverá deixar de estar atuada.

Estando a carga sobre o solo conforme o pedido, a válvula de comando deve deixar de ser atuada e a válvula de descarga deve assegurar que a pressão nas câmaras inferiores dos cilindros é nula. A pressão que garante a carga correta sobre o solo é mantida pela válvula de retenção. No entanto, a passagem do pneu de ensaio ao longo da pista irá provocar pequenas oscilações e consequentemente alguns choques hidráulicos no circuito. Para que tal não aconteça, foi introduzido um acumulador hidráulico de três litros com uma pressão de enchimento de 70 bar que poderá ser ajustada conforme pretendido. Assim, caso haja algum choque em que a pressão suba ou desça abruptamente, o acumulador irá absorver ou libertar

óleo e evitar vibrações. No entanto, em condições de carga inferiores à pressão de enchimento do acumulador, este sistema não é operacional.

Para conhecer a posição e a carga aplicada ao pneu de ensaio é usado um transdutor de posição potenciométrico (S32) e um transdutor de pressão (S31), respectivamente.

2.3.3 Sistema de Carrilamento

O SEAPR foi projetado com a preocupação de poder ser instalado em diferentes locais. Apesar de não ser um *simulador móvel*, este pode ser transportado para diferentes locais, desde que reúnam as condições para a sua instalação. Esta propriedade é conseguida através das dimensões reduzidas do seu veículo de simulação, capaz de ser colocado sobre um camião, da sua reduzida massa (cerca de 2000 kg), mas também através da capacidade de fácil instalação e desinstalação conseguida pelo *sistema de carrilamento*.

O *carrilamento*, essencialmente, é conseguido através da capacidade de movimentação vertical das *rodas de tração* relativamente às *rodas de reação*, permitindo assim desacoplar o veículo dos carris com grande facilidade.

Para que o *carrilamento* seja assegurado sem necessidade de energia, os pneus de tração são mantidos em contacto com o carril por força de molas. O descarrilamento é, então, assegurado por cilindros hidráulicos (Figura 2-8).



Figura 2-8 - SEAPRR e o seu sistema de carrilamento

Os cilindros hidráulicos de carrilamento têm, inseridos na haste que está ligada à suspensão da roda de tração, uma mola. Quando os cilindros se encontram na posição

recuada, a mola encontra-se comprimida pela força do actuador e o espaço entre o pneu e o carril aumenta permitindo o carrilamento da máquina, isto é, a inserção da máquina na pista Figura 2-9.

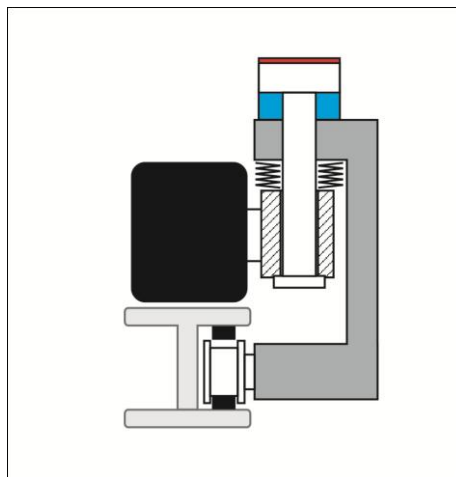


Figura 2-9 - Esquema do SEAPR descarrilado

Se o cilindro estiver na posição mais avançada, o pneu terá necessariamente que estar a apoiar no carril e a mola está comprimida devido ao peso próprio da máquina que obriga a roda de reação inferior a pressionar o carril superior. Assim se assegura que a roda de reação inferior se encontra *carrilada* na guia respectiva (Figura 2-10).

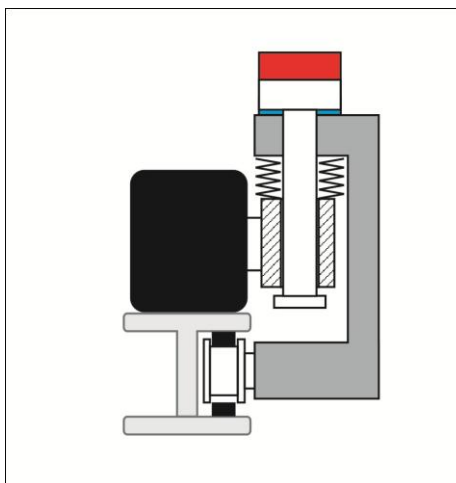


Figura 2-10 - Carrilamento efectudado

Para identificar a correta posição dos cilindros foram instalados dois sensores de fim de curso em cada um deles.

O movimento dos cilindros hidráulicos é comandado por uma válvula convencional 4/3 com uma válvula de retenção associada para evitar fugas de óleo da câmara inferior quando o cilindro se encontra na posição superior (Figura 2-11).

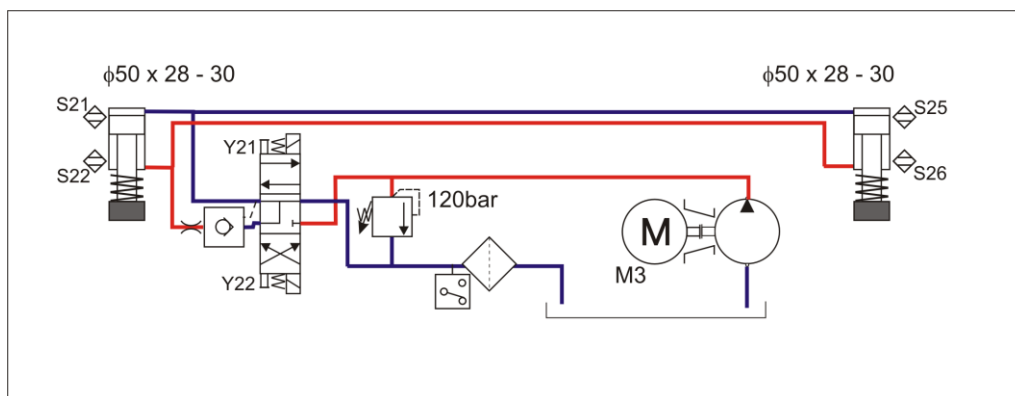


Figura 2-11 - Circuito hidráulico do Sistema de Carrilamento

O movimento de carrilamento é realizado por cada par de rodas, isto é, podem ser atuados o par dianteiro e o par traseiro em separado.

2.4 Pista de Ensaio

Para a realização de um ensaio é necessário que o pneu de ensaio colocado no veículo de desloque sobre uma pista. Neste caso, está prevista a construção de duas pistas para que a sucessão de ensaios seja mais rápida podendo estar uma pista em renovação de pavimento enquanto se testa um ou mais pavimentos na outra.

Como a dispositivo de carril de alimentação eléctrica de potência estará sempre, por motivos de segurança do lado da parede da nave industrial onde estão as pistas, o simulador terá necessidade de identificar as pistas para reconhecer se é a traseira ou frente a primeira a carrilar. Assim, definiu-se a pista A e a B.

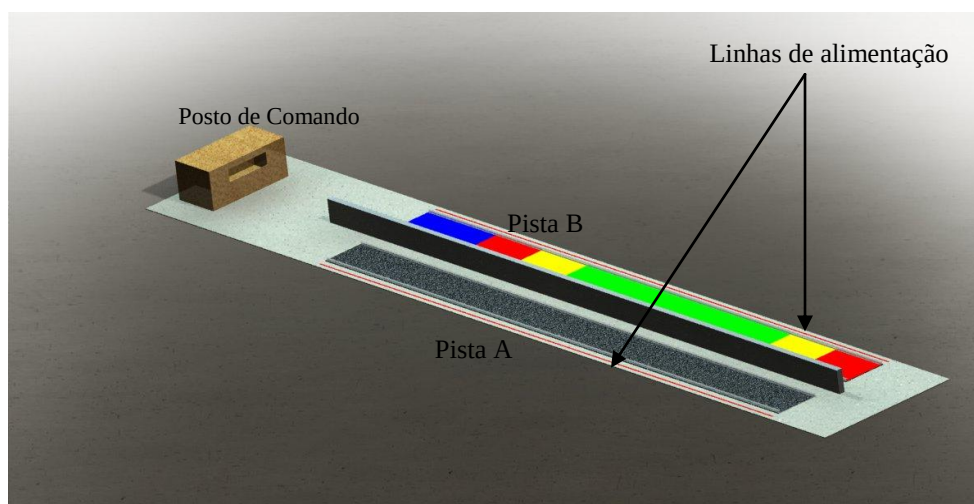


Figura 2-12 - Pistas de Ensaio

Cada pista tem o comprimento total de 40 m, sendo:

- uma zona de 28 m para o *trecho de ensaio* propriamente dito (onde a velocidade do veículo é constante);
- duas zonas de travagem/aceleração (6 m cada uma);
- duas zonas de emergência (4m cada uma), e;
- uma zona de transferência onde é realizado o carrilamento/descarrilamento do veículo, como poder ser visto na Figura 2-13. Estas zonas são identificadas por sensores.

Para que seja possível a realização de ensaios em ambiente controlado cada pista terá uma cobertura que a isola do meio exterior. Na nave industrial deverá estar ainda instalado um posto de comando de onde o operador deve controlar o decorrer o ensaio.

As pistas deverão estar vedadas e separadas uma da outra por uma parede de betão para que o ensaio decorra com total segurança.



Figura 2-13 - Representação gráfica de uma pista (com identificação dos trechos constituintes)

Por questões de segurança a calha de alimentação eléctrica de potência ao veículo não se estende ao longo de todo o comprimento da pista. Efectivamente, só existe onde o veículo tem necessidade de se deslocar *autonomamente*. Deste modo, se por motivos de deficiência de comando o veículo sair da sua *zona funcional*, fica *intrinsecamente* seguro, pois deixa de ser alimentado electricamente e detém-se automaticamente. A linha a vermelho indica a zona electrificada.

Resumo do Capítulo

O SEAPR é uma máquina complexa que ao nível dos movimentos que efetua pode ser dividido em duas partes distintas:

- *Movimento de Tração*;
- *Movimentos Auxiliares* - carrilamento, wander e de carga vertical.

O movimento de tração é constituído por um circuito hidráulico principal que alimenta quatro motores hidráulicos e dois sistemas auxiliares, um de compensação do circuito principal e outro de comando da cilindrada das bombas hidráulicas.

Os restantes sistemas partem de um circuito hidráulico em comum composto por uma bomba hidráulica e um motor elétrico.

A instalação utilizada para a realização de ensaios a pavimentos deverá conter duas pistas devidamente vedadas e separadas por uma parede de betão. As pistas são constituídas por uma zona de transferência, duas zonas de emergência, duas zonas de aceleração/desaceleração e uma zona de ensaio onde a velocidade do veículo de simulação é constante. Estas zonas são distinguidas através de sensores colocados no pavimento.

3 Especificação de Software

Neste capítulo será reforçada a importância da realização de uma especificação de *software* antes de começar a programar um sistema.

Serão introduzidos dois métodos de construção de especificações que permitiram perceber como deve ser realizada essa tarefa.

Ainda neste capítulo o leitor poderá inteirar-se do que foi escrito na Especificação de Software do Cliente que se encontra em disponível no Anexo A.

Por fim serão apresentadas as Especificações de Cliente e Técnica de *software* realizadas para o SEAPR.

3.1 Importância da Especificação de Software

A criação de *software* é uma actividade crucial para o desenvolvimento de aplicações de controlo industrial de alargado espectro.

A grande dificuldade na criação de um programa está relacionada com o vasto conhecimento necessário para descrever, com a precisão adequada, a interação entre o programa e o ambiente em que este está inserido.

No ambiente de uma aplicação industrial, como numa máquina ou um conjunto de máquinas produtivas, existe um grande número de especialidades que contribuem para o bom sucesso da aplicação global.

Quando todos os requisitos não estão bem assimilados, ou não são devidamente comunicados e compreendidos pelas partes, o *software* produzido apresentará falhas graves

no seu funcionamento implicando posteriores arranjos e consequências económicas e temporais de grande dimensão.

A documentação dos requisitos do sistema com detalhe suficiente para prever algumas condições de funcionamento críticas é essencial para prevenir erros. Para além disso, a recolha de informações que levem a encontrar os requisitos do sistema pode poupar, também, muito tempo durante a parte da implementação. Por outro lado, o conhecimento da complexidade de um sistema irá ajudar o programador a aplicar técnicas para diminuir a dificuldade durante a implementação.

Os programas de grande dimensão estão, normalmente, organizados por partes (módulos). Assim, o comportamento de um sistema com este tipo de construção de *software* está dependente do comportamento dos módulos individuais e da interação entre eles. As propriedades desses módulos e as regras de interação entre eles devem estar bem definidas para o programador. Quanto maior for o número de módulos maior probabilidade haverá do *software* conter problemas técnicos e de surgirem alguns contratempos nos primeiros ensaios. Por outro lado, a modularidade permite uma melhor estruturação de uma aplicação, permitindo que um desenvolvimento se efetue por passos que podem ser desenvolvidos “em rede” e testados separadamente.

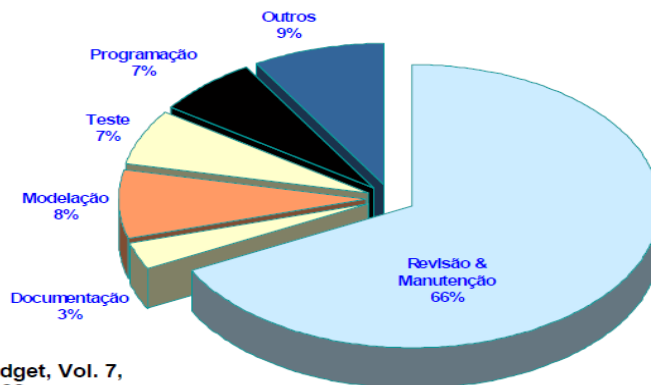
Para definir os requisitos de um sistema é necessária muita informação. A revisão detalhada da dinâmica e das condições de funcionamento do sistema é um dos maiores desafios para a indústria da construção de *software*. A maneira de condensar esta informação comportamental dos sistemas em relação ao seu meio é construir um modelo comportamental através de uma *especificação* do sistema.

Os pergaminhos para a especificação de um sistema sugerem que este deve ser repartido em várias partes para uma melhor compreensão. Os requisitos para uma dada parte de um sistema podem alterar-se significativamente durante a construção de software. Isto reforça a necessidade da construção de documentação precisa sobre o sistema para que seja possível efectuar a adaptação dos módulos já criados ao novo módulo alterado.

A maneira como os módulos de programação estão interligados influencia grandemente a complexidade estrutural do programa assim como a sua usabilidade e performance.

Também o ambiente em que o sistema está inserido deverá ser estudado e bem compreendido. Isto porque o ambiente que envolve o sistema é que vai acarretar com as consequências das suas ações. Para sistemas que frequentemente interagem com o meio circundante deve ser criada uma série de regras para uma correta posterior utilização por parte do cliente.

Uma especificação de *software* é um conjunto de informação, devidamente organizada, que descreve o comportamento pretendido para o sistema a controlar. A importância de uma especificação de *software* é de tal maneira grande que segundo Alagar “a proper specification can control and adequately contain certain types of complexity and



Source: DP Budget, Vol. 7,
No. 12, Dec. 1988

without specification, software complexity is uncontrollable” (Alagar V.S , 1998).

Gráfico 1 - Divisão de tempo num projeto de *software*

No gráfico 1 destaca-se que, em média, o tempo de programação é inferior ao tempo necessário para a especificação num projeto de *software*.

3.2 Considerações gerais sobre Especificação de Sistemas

Não há dúvida que a linguagem simbólica empregue numa especificação nos permite trocar informações complexas sobre sistemas. Com o tempo foram sendo criados modelos especializados e linguagens para cada propósito.

Realizar a especificação de um sistema envolve inevitavelmente um processo de abstração, isto é, um símbolo não pode mostrar todos os aspectos do que se quer representar. Esta especificidade não é um defeito mas sim, uma remoção de distrações para concentração no essencial. No entanto, ao aplicarmos esta generalização pode perder-se algo vital para a especificação.

Outra abordagem seria a utilização de uma metodologia do tipo *Top-Down Functional Decomposition* que constrói o sistema a partir da refinação de uma noção abstrata. Para este fim pode recorrer-se a ferramentas como os fluxogramas. Nesta abordagem a pessoa encarregue da especificação deve apenas estar atenta aos detalhes críticos do sistema e expandir o modelo através da adição sucessiva de detalhes de modo a promover o conhecimento das necessidades do sistema.

Qualquer linguagem de especificação que encurte a distância para a implementação traz um valor acrescentado (Mellor Stephen J., 1985). Se um modelo gráfico é capaz de formalizar um problema, este contém todas as vantagens de um texto orientado mais algumas adicionais.

A linguagem a ser utilizada numa especificação pode ser formal, ou não formal. A primeira é uma linguagem de base matemática de sintaxe e semântica bem definida. A segunda é a linguagem que usamos no dia-a-dia para comunicarmos, isto é, as palavras (*linguagem natural*).

Uma especificação que use linguagem formal permite uma descrição precisa mas, ao mesmo tempo, suficientemente abstrata para que seja simples conhecer o comportamento e as propriedades do sistema. Os métodos de especificação que utilizam linguagem formal têm vantagens ao nível da clareza, da facilidade e da rapidez de compreensão.

A escolha de um método de especificação deve ser influenciada pelo conjunto de objetivos que se pretendem atingir com esta. Por vezes, é necessário utilizar mais que um método de especificação.

Métodos como a criação de documentos escritos numa língua com diagramas de suporte são não formais. Especificações baseadas em tabelas e diagramas orientados para a modelação de comportamentos são mais precisas pois contêm uma sintaxe formal e permitem uma mecanização vantajosa para a verificação de erros e alteração de requisitos.

Dados os objectivos de um determinado projeto, o tamanho e os recursos disponíveis para a sua realização é possível escolher o grau de formalidade aconselhável para realizar a especificação. Se a escolha recair sobre uma linguagem que não é suficientemente rica para retratar o problema não será possível realizar uma correcta modelação, no entanto, se esta for demasiado rebuscada para o fim em vista irá introduzir dificuldades adicionais ao modelador.

Seria também desejável que a notação permitisse construir um modelo comportamental que qualquer pessoa pudesse ver e identificar com o mínimo tempo de aprendizagem.

Idealmente, o *cliente* deveria entregar ao *programador* um conjunto de requisitos iniciais. No entanto, vários autores com experiência neste tipo de procedimentos relatam que o cliente normalmente tem uma noção imprecisa dos requisitos necessários nem do que é aceitável pedir como requisito e que quanto mais complexo for o sistema mais este comportamento se acentua (Alagar V.S., 1998). Nesta fase, a descrição do sistema deve tentar definir o sistema e não determinar como é que este deve funcionar.

Posteriormente, deve surgir uma especificação comportamental que não tem como objetivo impor qualquer tipo de limitação ao construtor do software, mas deve conter a informação adequada sobre a tecnologia a utilizar e que deverá servir de guia na fase de implementação.

3.3 Métodos de Especificação de Software

3.3.1 Métodos Heurísticos

Os métodos Heurísticos de especificação de software são representações gráficas simples que visam o esclarecimento do que se pretende do sistema. No entanto, a sua utilização deve ser fundamentada, pois apesar da sua simplicidade nem sempre poderá ser a solução ideal para um certo problema.

A aplicação dos métodos Heurísticos traduz-se sempre pela transformação de um problema complexo numa representação mais precisa promovendo uma linha guia para diferentes aspectos do problema.

De forma resumida o uso deste método implica as seguintes etapas:

- Descrição do problema a resolver;
- Divisão da especificação em partes;
- Cada parte deve ser dividida em partes mais pequenas até se chegar a um nível em que o modelador começa a dominar o problema.

Outro modo seria tentar pegar no *output* e começar a traçar um modelo de comportamento até ao *input*. A esta técnica dá-se o nome de *Output Backwards*.

Para dividir uma especificação em várias partes existe uma grande variedade de métodos. O sugerido no Livro “*Structured Development for Real-Time Systems*” (Mellor

Stephen J., 1985) (referência para este texto) é a partição minimizando as interfaces, isto é, o resultado deve conter o mínimo de ligações entre subsistemas. No entanto, irá ser apresentado o da *Separação da Essência da Implementação* pois, aparece mais bem retratado e é um método de grande simplicidade.

Na *Separação da Essência da Implementação* distingue-se o *design* do sistema das especificações funcionais.

Dado um projecto para funcionar num certo ambiente e conhecendo-se o objectivo que ele terá de cumprir é possível descrever o que este terá de fazer (as actividades essenciais) e o que terá de armazenar na memória fazendo-se, assim, uma descrição sem preocupação alguma com a tecnologia usada para a implementação do sistema. Esta descrição é chamada de *Modelo Essencial*.

O *Modelo de Implementação* dá relevância ao tipo de implementação tecnológica a realizar. Digamos que é um *Modelo Essencial* que contém detalhe suficiente que permite a implementação com uma tecnologia específica.

Há algumas vantagens em separar os dois. O fato do *Modelo Essencial* não conter informação tecnológica de *hardware* e *software* facilita a sua verificação e validação. Para além disso esta separação permite a comparação dos modelos e ainda identifica a sua executabilidade.

Tabela 11 - Tabela resumo do *Modelo Essencial*

Modelo do Ambiente	Descrição do ambiente em que o sistema opera	Contextualização do Problema	Descrição da fronteira que separa o sistema do ambiente envolvente
		Lista de Eventos	Descrição de eventos extremos no ambiente
Modelo Comportamental	Descrição do comportamento em resposta a eventos	Diagrama de comportamental	Descrição das transformações do sistema na resposta a eventos
		Informação comportamental	Descrição da informação que o sistema deve ter de modo a responder aos eventos

Tabela 12 - Resumo do Modelo de Implementação

Processador	Alocação de processos e suas interfaces	Transformação de dos diagramas de comportamentais	Descrição das transformações de informação armazenada e inserção de processos e tarefas assim como as suas interfaces
Tarefa	Inserção de tarefas e suas interfaces		
Módulos programáticos	Descrição dos módulos e suas interfaces	Estrutura da programação	Descrição da hierarquia organizacional dos módulos do programa

3.3.2 Redes de Petri

As redes de Petri foram desenvolvidas por C.A Petri no início de 1960 e são uma ferramenta que permite a manipulação de eventos de acordo com certas regras estipuladas. As redes de Petri são um poderoso instrumento de especificação de *software* apesar de serem, também, um pouco mais complexas do que uma boa parte dos métodos de especificação comuns.

Nas redes de Petri os *eventos* são nomeados como *transições*. Para uma *transição* ocorrer, algumas condições deverão ser satisfeitas. A informação sobre estas está contida em lugares (ou espaços) que podem ser vistos como *inputs* para a transição ou como *outputs* estando associados com condições que são afectadas pela ocorrência da transição.

As transições, os lugares e as relações entre eles definem os componentes básicos de uma rede de Petri. Há ainda que salientar um outro elemento. Os arcos cujo nome é motivado pela representação gráfica a eles associado e aos quais é atribuído um peso (Figura 3-1).

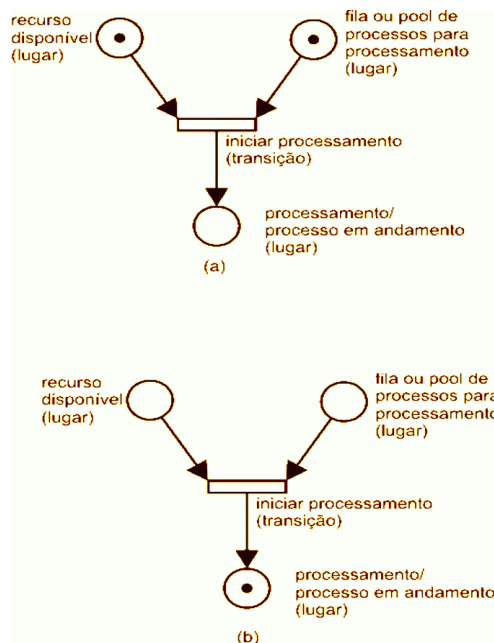


Figura 3-1 – Redes de Petri

Os lugares ($P_1, P_2, \dots, P_n$) e as transições ($T_1, T_2, \dots, T_n$) dão origem aos arcos (P_i, T_j) aos quais está associado um número inteiro.

Uma rede de Petri tem um funcionamento muito semelhante a um diagrama de estados, porém, é um pouco mais elaborado. Nos diagramas os nós correspondem a estados seleccionados e apenas existe um arco correspondente a cada transição enquanto numa rede de Petri os nós são espaços e transições, e é permitido o uso de múltiplos arcos que ligam dois nós sendo atribuído um peso a cada um deles.

Para descrever uma rede de Petri é conveniente usar $I(t_j)$ para representar um conjunto de *inputs* de espaços para a transição T_j , e $O(t_j)$ para representar espaços de *outputs* da transição T_j .

Numa rede existem dois tipos de nós: círculos que representam lugares e barras que representam transições. Os arcos ligam lugares e transições.

Designam-se as redes de Petri como puras se os espaços não são usados com *inputs* ou *outputs* para uma transição. Se, pelo contrário, os espaços são usados como tal são nomeadas como impuras.

Para que estas entidades gráficas funcionem correctamente é fundamental que exista um mecanismo que indique que as condições são de fato verificadas. Assim, são definidas marcas que não são mais que pontos pretos posicionados no local correto.

Uma transição é então ultrapassada se o número de marcas (x) for superior ao de arcos (w), $(x(P_i) \geq w(P_i, t_j))$.

3.4 Especificação de Software do SEAPR

3.4.1 Especificação do Cliente

Este documento, que pode ser lido na íntegra no Anexo A, pretende ser uma reflexão sobre aquilo que se deseja de um sistema de ensaio de pavimentos rodoviários.

Para atingir tal objectivo, começa por efectuar-se uma descrição da nave industrial tipo em que o SEAPR deverá ser instalado e seguidamente faz-se uma descrição dos passos a efectuar para a realização de um ensaio.

Infra-estruturas de suporte ao SEAPR

O SEAPR como sistema de ensaio de pavimentos com o objectivo de investigação terá de laborar num espaço com condições bem definidas. Assim, o SEAPR deverá ser instalado numa nave industrial onde apenas deverão estar presentes as pessoas ligadas ao ensaio. A iluminação deverá ser adequada e o ambiente tranquilo.

Dentro da nave terá de ser criado o posto de comando de onde um operador devidamente qualificado e treinado deverá ter uma boa visão de toda a instalação e poderá exercer o comando do SEAPR.

A nave deverá conter duas pistas de ensaio separadas fisicamente e cuja construção deve partir de um fosso onde são depositadas diversas camadas de materiais inertes e por último o betuminoso. Cada pista deverá estar vedada e não deve estar electrificada em toda a sua extensão (40 m). A pista deverá estar dividida em diferentes trechos com objectivos claros e definidos. Deverá ser criado o trecho de transferência (para a instalação/desinstalação), dois trechos de inversão de sentido para a desaceleração/aceleração (6 m cada um), um trecho de ensaio (28 m) e duas zonas de emergência. Para melhor percepção consultar as Figura 2-12 e Figura 2-13 do capítulo II.

Até que se concretize a instalação do veículo de simulação na pista de ensaio, uma grua móvel deve servir de apoio ao seu manuseamento. A instalação do veículo de simulação deverá ser efectuada sempre do mesmo lado da nave industrial.

Passos para Início de um Ensaio

O SEPAR deve ser controlado através de um software instalado num computador que deverá estar no posto de comando. Para aceder a esse software deve ser efetuado um controlo de utilizador (*login*). Este serve para barrar o acesso de pessoas externas ao ensaio mas, também, para criar utilizadores com liberdade limitada para mudar parâmetros e efetuar operações.

Antes de começar um ensaio o veículo de simulação terá de estar instalado numa das pistas. Esta operação terá de ser feita com algum apoio humano e da grua móvel. É imperativo que o comando do veículo de simulação seja manual.

O modo Manual de funcionamento deve ter uma restrição na velocidade de movimentos do veículo de simulação e na capacidade de utilização da carga sobre o pneu de ensaio. Em particular o movimento longitudinal que deve estar devidamente restringido por questões de segurança. Os comandos devem ser elementares e otimizados para as operações de instalação/desinstalação. O veículo de simulação só deverá executar ordens diretas, isto é, um movimento só deve ser iniciado a pedido do operador qualificado que está no posto de comando e este deve cessar logo que o pedido termine.

Seguidamente deve passar-se à seleção do tipo de ensaio a realizar. O início de um ensaio implica o fim do comando manual e início do comando automático.

Os ensaios podem ser de curta ou longa duração. Os primeiros são apenas para testar as condições do piso e a sensorização a ele associada. Os outros pretendem efetivamente ensaiar o pavimento segundo condições bem definidas.

O modo Automático está associado à realização de um ensaio ou à preparação do mesmo. Apesar da obrigação de cumprimento dos trechos definidos na pista, nos primeiros 5 ciclos de um ensaio é permitido que isso não aconteça. Um ciclo define-se por uma passagem sobre o pavimento, que em termos de movimento se traduz pela sequência de: aceleração, velocidade constante, desaceleração e paragem do veículo de simulação. Este modo deve permitir a realização automática de todos os movimentos necessários para um ensaio e também deve estar preparado para uma interrupção, de emergência ou não.

A interrupção de um ensaio significa a paragem do SEAPR, no entanto, os dados relativos ao teste a decorrer não podem ser perdidos para que este possa ser retomado. A

interrupção pode ser desencadeada pelo operador do sistema ou pelo próprio e a paragem pode ser instantânea, no fim de um ciclo ou ao fim de algum tempo de prevalência de uma irregularidade consoante a sua gravidade/perigosidade.

No fim de um ensaio o simulador deve parar no extremo da pista em que está a zona de transferência para facilitar uma possível operação de desinstalação.

Os dados de um ensaio devem ser guardados de forma organizada em programas do tipo *Microsoft Office Excel*. Para além dos parâmetros de ensaio também deve ser criada uma base com informações sobre o veículo de simulação enquanto este estava a ensaiar o pavimento. Isto permite perceber, em caso de acidente, o que poderá ter ocorrido ou o que poderá ter falhado.

A atuação da emergência poderá ser realizada do posto de comando, por decisão do programa ou por actuação do fio junto da pista.

O operador qualificado que está no posto de comando deve dispor de informações actualizadas sobre as condições da máquina e as acções em curso. Também deve dispor de uma zona do ecrã onde sejam visualizados avisos e falhas que possam ocorrer. Consoante esses avisos e a visão privilegiada que tem sobre as pistas, o operador poderá decidir atuar em qualquer momento a botoneira de emergência e interromper o ensaio. No entanto, o próprio software de comando pode, em casos específicos provocar uma interrupção. Também deverá estar disponível um sistema de atuação de emergência junto da pista que deverá ser garantido por um cabo colocado ao redor da pista.

3.4.2 Especificação Técnica

Uma vez determinadas as funcionalidades que o SEAPR deveria possuir era necessário decidir como estaria dividido o programa do PLC. Assim, foram definidos oito modos de funcionamento:

- Preparação para Instalação/Desinstalação
- Preparação para Ensaio
- Programação de Ensaio
- Inicialização de Ensaio
- Correr Ensaio
- Terminar ensaio
- Transferência de dados
- Manutenção

O modo de Preparação para Instalação/Desinstalação deverá garantir que o veículo de simulação é devidamente introduzido/retirado da pista, respetivamente. A alimentação ao veículo de simulação é efetuada por calha e, para além do operador do posto de comando, um outro operador deve acompanhar o veículo de simulação com uma consola de operador que serve para validar as ordens do posto de comando.

O modo de Preparação para Ensaio deve entrar em funcionamento quando se considera que a instalação está finalizada, isto é, o veículo de simulação encontra-se já dentro de um trecho da pista que não o de transferência, carrilado e alimentado pela calha de alimentação. O veículo de simulação continua a necessitar de um operador com uma consola de validação. É nesta fase que os primeiros testes ao SEAPR, à sensorização da pista e ao pavimento são efetuados.

O modo de Programação de ensaio deve permitir ao operador especializado ou a outro utilizador cadastrado no sistema e com liberdade para tal, escolher o tipo de ensaio a realizar e fazer uma parametrização adequada do mesmo.

O modo de Inicialização de ensaio deve, automaticamente posicionar o veículo de simulação para o sítio definido como de arranque para um novo ensaio e deve garantir que todos os sistemas de comunicação e armazenamento de dados estão prontos a funcionar.

O modo Correr ensaio tem a função de garantir que os sucessivos ciclos do ensaio são cumpridos com os parâmetros de carga sobre o pneu de ensaio, velocidade e posicionamento wander selecionados na programação. Deve também garantir que a informação relativa ao ensaio e ao estado do SEAPR é guardada. Será o modo em utilização no decorrer de um ensaio.

O SEAPR deverá entrar em modo Terminar Ensaio depois de ser determinado o fim de um ensaio. Este modo terá de colocar o veículo de simulação na posição inicial e com os parâmetros do veículo de simulação (carga sobre o pneu, posição wander, por exemplo) designados pelo programador do software de comando.

O modo de Transferência de dados servirá para transferir os dados do ensaio e dados associados ao comportamento do SEAPR durante o ensaio para um programa adequado com uma organização.

O modo Manutenção é um modo de acesso apenas permitido ao técnico especializado e designado pelo construtor do SEAPR. Este será o modo menos restritivo de entre todos permitindo fazer verificações específicas e manutenção geral da máquina.

Antes de entrar num qualquer modo, o software de controlo deve obrigar que o utilizador passe na triagem de acesso ou login.

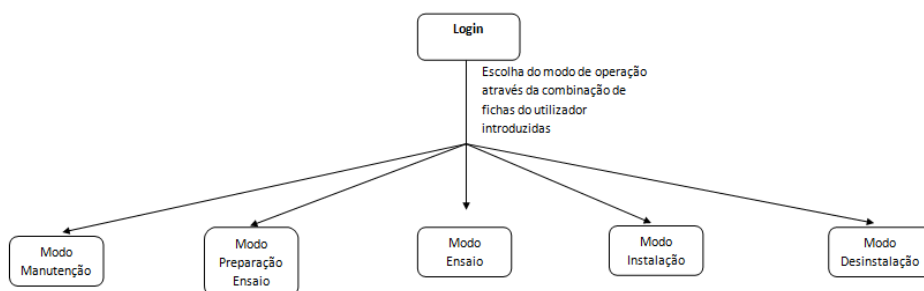


Figura 3-2 - Esquema do procedimento para acesso ao software de controlo e entrada nos modos

Depois de autorizada a entrada do utilizador, a combinação entre o tipo de alimentação eléctrica (cabo ou calha de alimentação) que o veículo de simulação está a usar e a utilização ou não da consola do operador vão determinar o modo em que o SEAPR vai funcionar.

Por serem os modos estruturais do SEAPR, começaram a ser definidos os modos de Preparação para Instalação/Desinstalação e Preparação para Ensaio.

3.4.3 Preparação para Instalação/Desinstalação

Uma vez que o trecho de transferência da pista não é eletrificada neste modo, a alimentação do veículo de simulação é efectuada através de um cabo eléctrico que terá de ser detetado pelo sistema.

Este modo de comando é inteiramente manual e sem protecção entre as pessoas e o veículo de simulação o que implica o acompanhamento de um operador junto do veículo de simulação e de uma consola de operador.

A sequência de operações a efectuar durante a manobra de inserção do veículo de simulação nos carris e movimentação até à zona de alimentação por calha (denominada Instalação) é rígida e não poderá ser alterada pelo operador. Quando muito poderá haver um pedido de retrocesso do passo anterior. Por outro lado, as ordens vindas do posto de comando terão de ser validadas por outro operador através da consola colocada junto ao simulador.

Como a alimentação por calha está sempre do lado da parede da nave e a instalação é sempre efectuada do mesmo lado desta, a frente do SEAPR não entra sempre em primeiro lugar. Houve, portanto, necessidade de definir a Pista A e a Pista B. Uma vez que o veículo de simulação não possui qualquer instrumento que lhe permita detetar se a instalação está a ser efectuada numa ou noutra pista, cabe ao operador, quando lhe for perguntado, informar o software.

Para a Instalação/Desinstalação são necessários os movimentos de Carrilamento e Tracção, logo apenas estão estarão disponíveis para atuação por parte do operador. No entanto, a velocidade permitida é fixa e rodará 10% da velocidade máxima estimada, isto é, 3km/h.

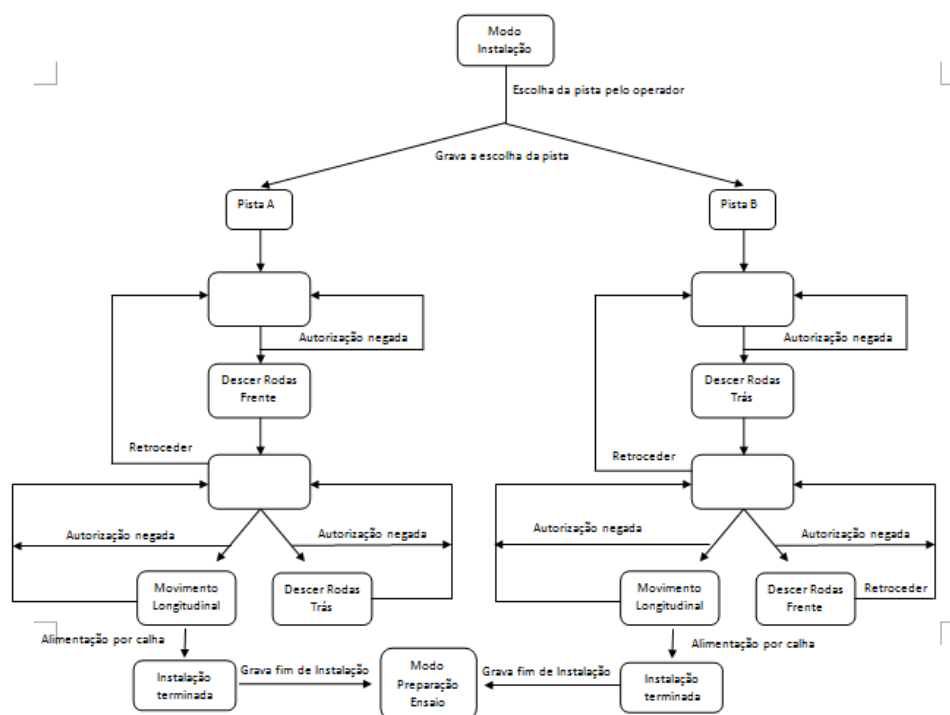


Figura 3-3 - Esquema do processo de Instalação

Depois de ser dada entrada para o modo de Instalação, o operador terá de inserir a pista em que pretende instalar o veículo de simulação. Posteriormente seguem-se os passos da instalação.

A autorização de execução de ordens por parte do operador que está junto do veículo de simulação é feita através de um botão da consola de operador. Considera-se uma ordem sem autorização quando esta é negada através da atuação de um botão ou quando não há autorização por parte do operador num período máximo de dez segundos.

Uma vez terminadas as operações de instalação o veículo de simulação deverá ser conetado à calha de alimentação e deve ser desligado o cabo de alimentação, passando-se assim ao modo de Preparação para ensaio. Realce-se que uma vez que a pista só é eletrificada por calha até uma certa parte e nunca no trecho de transferência é automaticamente garantido que quando se passa a modo de Preparação para Ensaio o veículo de simulação já se encontra fora do trecho de transferência.

O software do SEAPR reconhece que se entra em procedimento de Desinstalação caso a alimentação seja realizada por cabo, o veículo de simulação já esteja Instalado e esteja inserida no veículo de simulação a consola do operador.

Os passos para uma Desinstalação são definidos pelo software e o operador terá obrigatoriamente de os realizar pela sequência correta.

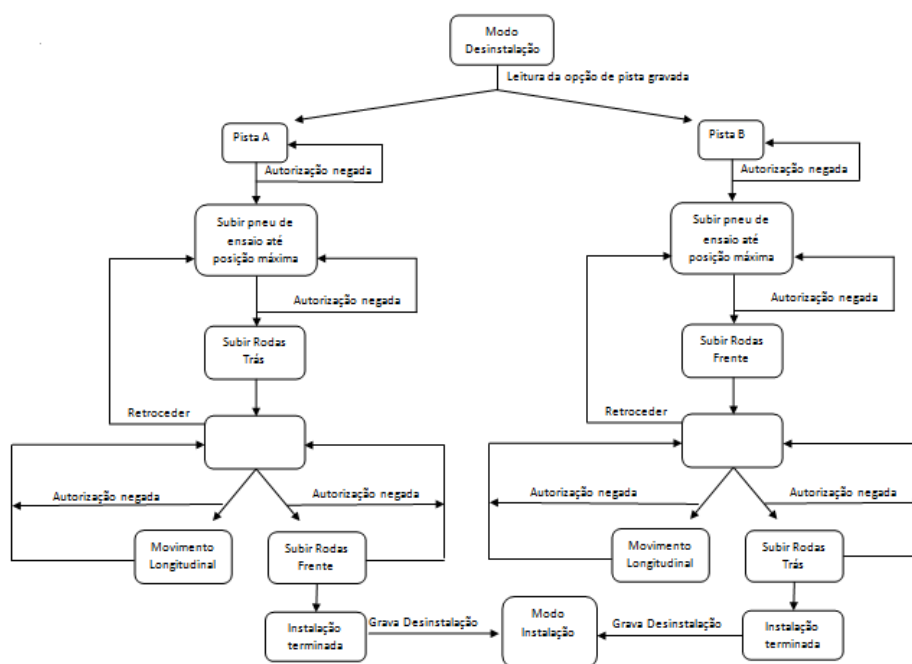


Figura 3-4 - Esquema do processo de Desinstalação

Para a Instalação/Desinstalação são necessários os movimentos de carrilamento e tracção, logo apenas estes estão disponíveis para atuação por parte do operador. No entanto, a velocidade permitida continuará a ser fixa e rodará 10% da velocidade máxima estimada, isto é, 3km/h.

Para evitar problemas numa posterior instalação, antes começar as operações desinstalação propriamente ditas o operador é obrigado mandar subir o pneu de ensaio até à sua posição superior.

3.4.4 Preparação para Ensaio

Este modo será disponibilizado automaticamente logo que a operação de instalação esteja concluída e caso a consola de validação de ordens esteja activa. Como ainda é um modo exclusivamente manual continua a ser necessária a validação das ordens do posto de comando para que estas sejam executadas pelo veículo de simulação e continuam em vigor as limitações de movimento impostas nos modos de Instalação e Desinstalação.

Caso seja colocada uma ficha cega no lugar da consola e o gradeamento esteja colocado este modo deixa de estar activo e os modos relacionados com o ensaio automático ficarão disponíveis. Assim, pretende-se evitar possíveis utilizações abusivas e até inseguras do SEAPR.

A preparação para ensaio oferece mais liberdade para o operador comandar a máquina que no caso anterior. Apesar de já não ser possível efectuar qualquer operação de carrilamento o operador tem a oportunidade de atuar qualquer outro movimento.

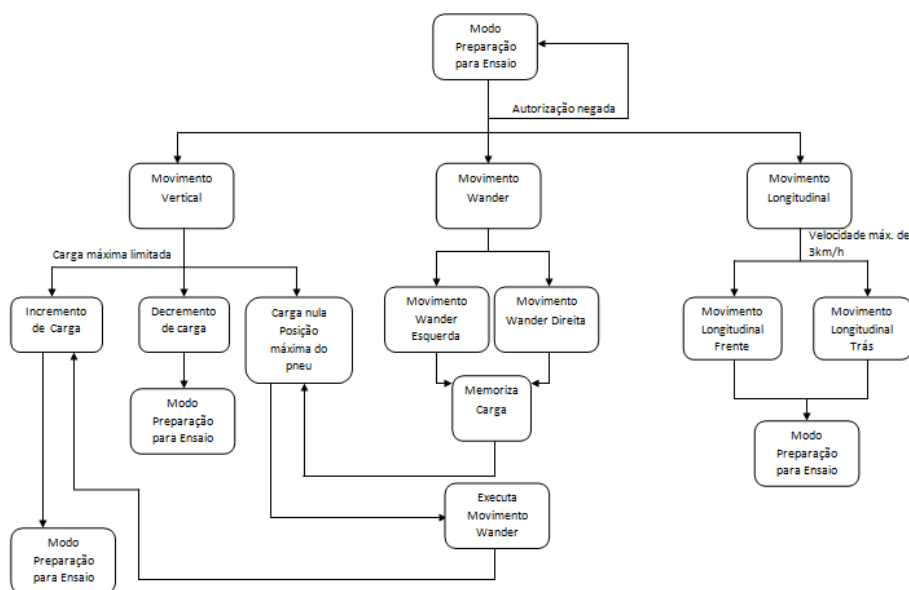


Figura 3-5 - Esquema de funcionamento do modo de Preparação para Ensaio

Como se pode ver pela Figura 3-5 há três movimentos que o operador pode atuar: de carga vertical (Movimento vertical), wander e de tração (Movimento longitudinal).

O movimento de carga vertical permite incrementar a carga sobre o pneu de ensaio com um limite a baixo do limite máximo do SEAPR. Este incremento é feito passo a passo e o seu decremento poderá ser efetuado do mesmo modo ou diretamente para o valor de carga zero o que, como está patente na Figura 3-5 implica a subida do pneu de ensaio até à posição

máxima. No entanto, a subida do pneu de ensaio também pode ser realizada sem pedido do operador embora tenha de ser validada na consola. Isto acontece quando o pneu de ensaio se encontra com carga e é pedido um movimento wander. No fim da realização do movimento wander a carga inicial é novamente aplicada.

O movimento wander pode ser efetuado para a esquerda ou direita até ao limites máximos é seu deslocamento é realizado passo a passo.

Os três movimentos permitido neste modo são os movimentos necessário para que um ensaio decorra. Logo este modo permitirá não só fazer os primeiros testes ao pavimento e à sua sensorização mas, também, ao próprio SEAPR em si.

Resumo do Capítulo

O capítulo 3 introduz ao leitor dois métodos de especificação de software considerados mais apropriados para utilizar neste trabalho.

Primeiramente são apresentados os Métodos Heurísticos que, visam partir o sistema em secções mais pequenas e mais facilmente perceptíveis. A sua simplicidade é reconhecida mas, a sua aplicação deriva muito do tipo de problema em causa.

Seguem-se as Redes de Petri que é um método exclusivamente gráfico e cujo objectivo é manipular a ocorrência de eventos segundo as regras que se pretende estipular.

Posteriormente, faz-se um pequeno sumário sobre o texto em anexo sobre a Especificação do Cliente e apresenta-se a Especificação Técnica. Ambos são textos reflexivos sobre as funcionalidades do SEAPR porém em perspectivas diferentes. Na primeira apenas há a preocupação de explorar todos os desejos do cliente enquanto o segundo é uma visão técnica em que se preconizam soluções para esses pedidos.

4 Programação do PLC (Programmable Logic Controller)

Neste capítulo será apresentado o PLC instalado no SEAPR e o *software* que foi utilizado para a sua programação.

Seguidamente, o leitor é convidado a perceber a estruturação da programação que foi seguida ao longo do crescimento do *software*.

Posteriormente são apresentados os Blocos de programação Combinacionais e Sequenciais assim como, as funcionalidades neles inseridas. Dá-se especial enfoque ao Movimento Vertical do Pneu cuja solução final foi alvo de várias evoluções.

4.1 Schneider Electric's Modicon M340

O Modicon M340 é um PLC de alta performance quer pela sua rapidez e capacidade de processamento quer pela sua robustez e possibilidade de expansão através da introdução de novas cartas em barramento.

Apesar de não usar baterias, em aplicações onde é imperativo a continuidade de um processo, em caso de utilizações de segurança ou outras, mesmo havendo corte de energia, o Modicon M340 memoriza o estado das variáveis no último varrimento o que pode facilitar em muito a reactivação de um sistema. Para além disso, as suas dimensões e peso são altamente reduzidos.

Os seus novos cartões de memória permitem a troca rápida de módulos sem necessidade de reiniciar o PLC (*Hot Swap*). Para além disto, os 4Mb de memória, expansíveis até 16Mb, aumentam a capacidade de troca de dados possibilitando a utilização do *Faulty*

Device Replacement (FDR) para que, em caso de avaria, as configurações possam ser transferidas facilmente para outro aparelho.

Em termos de comunicação, este PLC está equipado com o protocolo Modbus e Ethernet em simultâneo no mesmo processador. Também permite a ligação através de porta USB e de modo a diminuir possíveis erros na instalação de conexões disponibiliza uma rede CANopen.

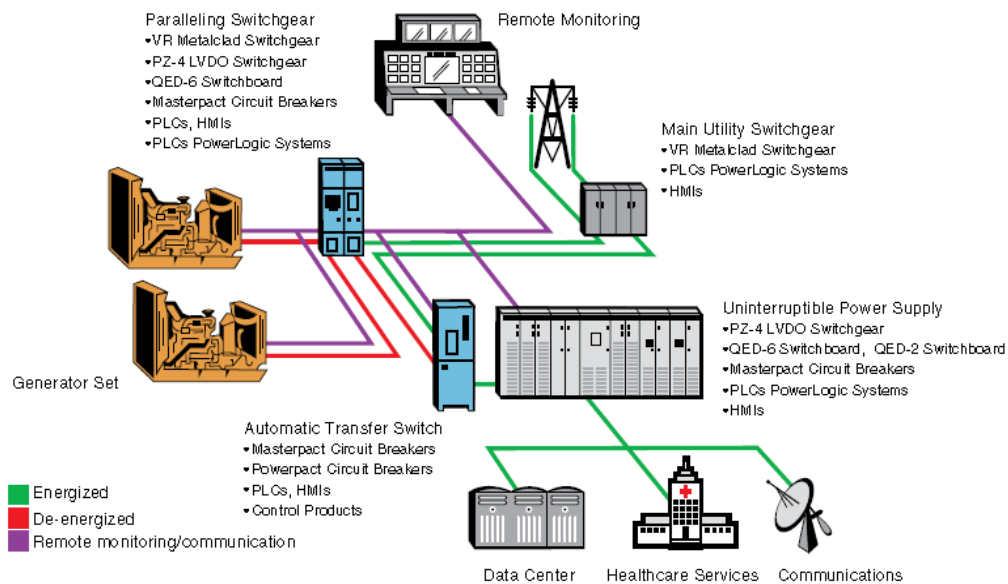


Figura 4-1 - Exemplo de utilização dos PLCs Modicon M340 numa rede de dispositivos

Possui ainda um simulador que reproduz com grande precisão o comportamento do autómato em condições reais.

Todas as ferramentas de diagnóstico estão disponíveis para aumentar a aptidão de detecção de erros. De realçar a execução passo-a-passo, possibilidade de introdução de *breakpoints* e animações dinâmicas das variáveis em tabelas para melhor visualização.

Tabela 13 - Tabela resumo sobre o Modicon M340

Processador	BMX P34 1000
Capacidade de processamento de instruções	7 Kinstruções/ms
Capacidade de Memória	4 MByte
Módulo de alimentação	24V isolado

4.2 Unity Pro S

O Unity Pro S é o software usado para desenvolver aplicações para o PLC Modicon M340. É uma ferramenta que permite contínuas actualizações *on-line*, simulação e *debug* de programas, o que aumenta a confiança do programador no trabalho realizado mesmo antes de ser testado na realidade. Em caso de teste em situação real, o facto do Unity poder aceder às variáveis internas e externas do PLC permite forçar o seu valor e, portanto, criar situações propositadamente antecipando possíveis problemas.

As tarefas a executar pelo autómato podem ser de dois tipos: *Mast* ou *Fast*. As primeiras são as mais comuns. A sua execução é cíclica e é obrigatório que o programa contenha pelo menos uma aplicação deste tipo. As segundas são de execução periódica, isto é, o programador pode escolher o tempo que demora a correr uma tarefa (desde 1 a 255ms). Ambas estão divididas em secções e subrotinas e podem ser controladas pelo programa ou por *bits* e *words* do sistema. No sistema do SEAPR, até ao momento apenas se usa a execução cíclica (*Mast*).

Em termos de comunicações, este software já está preparado para suportar o protocolo *EtherNet/IP* que abre a possibilidade de comunicação com qualquer aparelho que esteja de acordo com o *Common Industrial Protocol* (CIP).

Também é de referir que, uma gama muito alargada de funções e blocos lógicos equipa a biblioteca do Unity. Para além destas, outras funções podem ser criadas e guardadas numa biblioteca pessoal reduzindo o tempo de programação.

4.3 Estrutura de Comando por PLC

Até este ponto, o leitor teve a oportunidade de conhecer o SEAPR, como uma construção mecânica, incluindo meios de acionamento, capaz de executar determinados movimentos que lhe permitem atingir o objectivo definido: o ensaio de pavimentos rodoviários.

Nas secções 4.1 e 4.2 foi introduzido o PLC e o seu software de programação que vão permitir o controlo de todo o sistema mecânico descrito nas secções anteriores. No entanto, o PLC não controla directamente todos os elementos de actuação do SEAPR nem tão pouco tem a possibilidade de os alimentar eletricamente. Pretende-se com esta secção apresentar a estrutura de comando por PLC inserida no SEAPR e os seus constituintes.

4.3.1 Estrutura de Comando do Movimento de Tracção

Como fora apresentado no capítulo II o movimento de tracção tem três circuitos hidráulicos associados:

- o de compensação;
- o de comando da cilindrada das bombas;
- o circuito principal que aciona os motores hidráulicos das rodas, ao qual está associado o motor M1 (20kW).

O motor M2 (0,5 kW), que está associado ao circuito de compensação e comando de cilindrada é acionado através de um contator que é monitorizado pela entrada digital ED-04 (Figura 4-2) do PLC e atuado pela saída digital SD-05. Sem existência de pressão no circuito de compensação o motor 1 não pode ser ligado e, portanto o veículo de simulação não pode movimentar-se. Assim, a existência de um pressostato no circuito de compensação ligado à entrada digital ED-09 (Figura 4-2) garante a pressão mínima de 15 bar no circuito principal.

O motor M1 apresenta uma potência considerável e portanto é controlado por um dispositivo de arranque suave de motores elétricos ou *Soft-Starter* e o seu arranque sucessivo deve ser evitado. Este comunica com o PLC através do protocolo *ModBus* e fisicamente por uma ligação *USB(Universal Serial BUS)* (Figura 4-2).

O protocolo *ModBus* é usado para comunicação entre sistemas industriais. Neste caso é usado o *ModBus RTU (Remote Terminal Unit)*. Neste formato, a comunicação é do tipo *master-slave*, sendo o mestre o PLC e o escravo *soft-starter*, e é realizada em formato binário de oito bytes. A trama enviada pelo mestre da ligação tem sempre o formato:

Endereço	Comando	Endereço dos Registos		Quantidade de Registos		CRC
1byte	1byte	1byte	1byte	1byte	1byte	2byte

O *endereço* indica o módulo de memória no qual queremos executar um determinado *comando*. Segue-se o endereço dos registos que pretende ser o ponto de referência para o início de uma ação e depois vem a quantidade de registos a ler a partir desse ponto. O CRC é um número composto pelo *most significant byte* e pelo *least significant byte*

(<http://www.modbus.org/>) e serve para verificar se a mensagem que se pretendia enviar foi a que o receptor recebeu.

É a escrita de registos no *soft-starter* a pedido do PLC que permite o controlo do arranque ou paragem do motor eléctrico do circuito de tracção das rodas do SEAPR.

O PLC Modicon já vem equipado com módulos de comunicação Modbus RTU (leitura e escrita de variáveis, entre outras funções) o que trouxe uma grande vantagem na programação da comunicação.

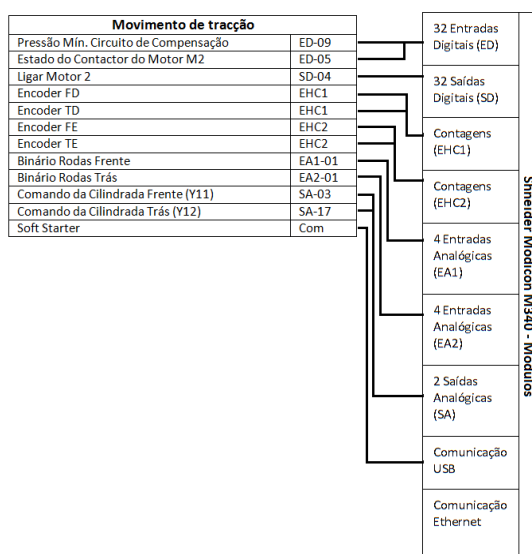


Figura 4-2 - Estrutura de Comando do Movimento de Tracção

O comando da cilindrada das bombas do circuito principal é realizado através de duas válvulas proporcionais. Uma comanda o movimento de avanço (SA-03) e a outra o movimento de recuo (SA-17). Estas são atuadas pelo PLC através do módulo de saídas analógicas e de um amplificador electrónico de potência (V/I).

As válvulas proporcionais utilizadas para o comando da cilindrada são comandáveis de 0 a 100%, isto é, para valores de tensão positivos. O módulo de saídas analógicas só permite o funcionamento segundo valores extremo positivos e negativos. Para uma configuração escolhida de 10.000 pontos (*scale*) e um intervalo de valores de atuação (*range*) de $\pm 10V$ teremos a válvula a ser controlada de -10000 a 10000 mV (Figura 4-3). Isto significa que o verdadeiro intervalo de atuação das duas válvulas de comando da cilindrada começará nas 5000 unidades do programa.

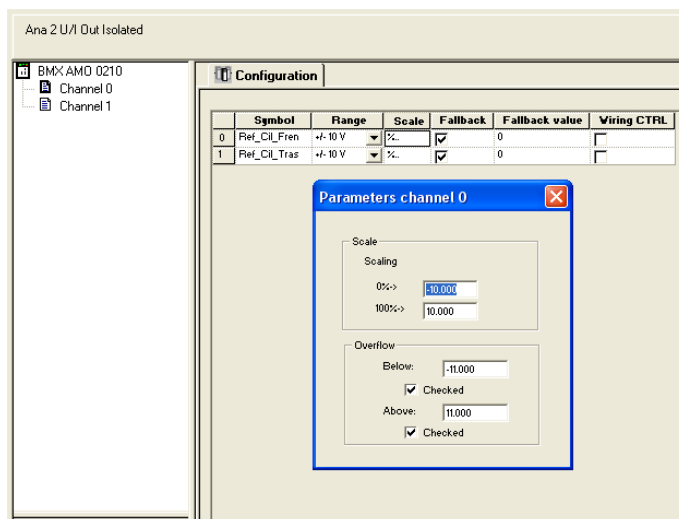


Figura 4-3 - Configuração do módulo de Saídas Analógicas

Torna-se importante, nesta fase esclarecer que os servo sistemas hidráulicos associados ao comando da cilindrada das bombas têm um conjunto de particularidades associadas ao seu funcionamento. Genericamente poderá esperar-se um atraso na resposta, que é essencialmente devido a uma limitação da velocidade de variação da cilindrada. Valores de 500 a 1000 ms são comuns para o tempo de a cilindrada variar de 0% a 100% do seu valor, para uma solicitação em degrau. Para além do exposto, destacam-se dois fenómenos de não linearidade que podem revelar-se fulcrais para o funcionamento do movimento de tracção e muito em particular no comando automático deste movimento.

O primeiro está relacionado com a existência de uma *zona morta* associada à característica da válvula proporcional de comando.

A Figura 4-4 ilustra uma zona morta de cerca de 15 a 20% da sua gama funcional.

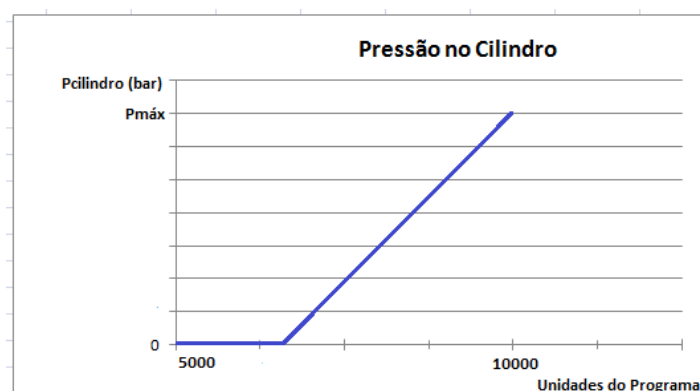


Figura 4-4 - Zona Morta introduzida pelo funcionamento da válvula

A segunda causa está ligada à característica do comando hidráulico da cilindrada. Neste caso é igualmente evidenciada uma *zona morta* entre o valor da pressão de comando e o valor da velocidade dos motores hidráulicos (cilindrada das bombas).

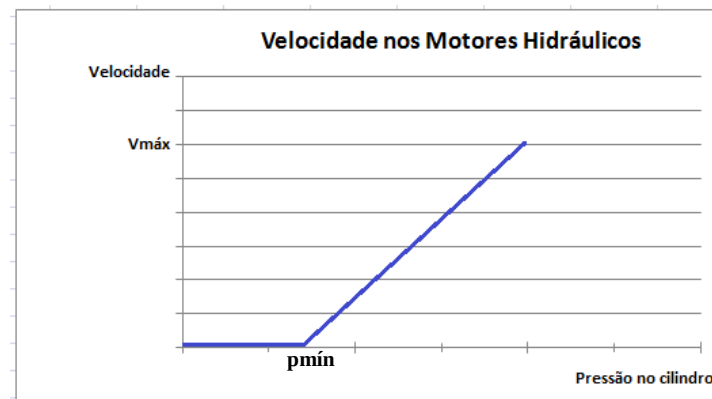


Figura 4-5 - Zona Morta introduzida pelo sistema de comando hidráulico da cilindrada

O outro fenómeno intrínseco a este tipo de sistemas está relacionado com "histerese", como evidenciado na figura anexa.

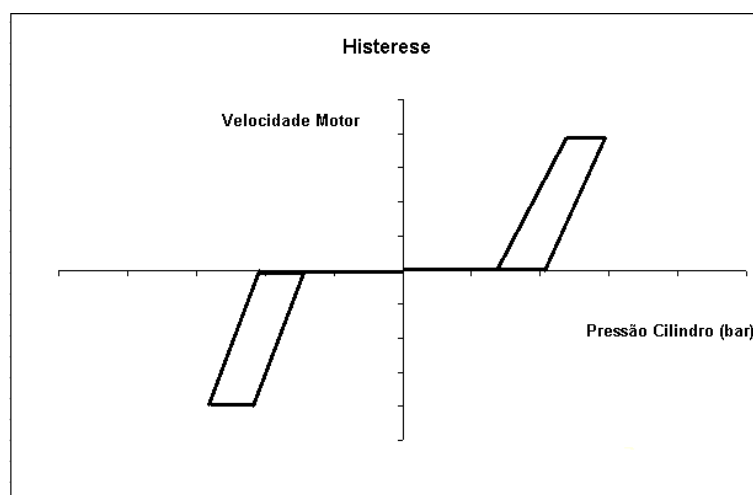


Figura 4-6 - Histerese do sistema de comando da cilindrada

O movimento de tracção tem dois modos de comando distintos. O comando direto pelo operador com validação da ordem pela consola do operador que é utilizado nas etapas de "Instalação/Desinstalação" e a "Preparação para Ensaio". A este comando corresponde uma velocidade necessariamente limitada, por motivos de segurança. Valores limite de cerca de 10% da velocidade máxima (2 km/h, ou 500mm/s) são imperativos ser respeitados. O comando automático será utilizado para executar um ensaio e não pode permitir intervenção humana para cumprir as condições do ensaio.

A leitura de deslocamento e velocidade é realizada através dos quatro *encoders* (EHC-1 a EHC-4, Figura 4-2), um por roda, que estão ligados a uma carta especial de contagem

rápida do PLC. O seu modo de funcionamento consiste na contagem de impulsos eléctricos durante o movimento. Com a medição da rotação em cada roda, permitir-se-á identificar eventual “derrapagem” de um dos pneus, durante aceleração ou travagem.

No caso dos *encoders* usados no SEAPR (Codificadores Incrementais) uma volta completa de uma das rodas corresponde a 1024 impulsos. Este número poderá ser aumentado caso seja necessário através de uma função interna com base na análise das fases dos impulsos.

Para saber se se deve aumentar a resolução dos encoders é necessário conhecer, antes de mais, a carta de contagem associada ao dispositivo (BMX EHC 0200 da *Shneider*). Esta permite contar sinais com uma frequência máxima de 60 kHz e inicialização de contagem com um valor fixo facilitando a definição de uma posição de origem (*homing*) entre outras funções. Na Tabela 14 tabela 10 encontram-se as principais características deste módulo.

Tabela 140 - Principais características do módulo de contagem BMX EHC 0200 da Schneider

	Nº de canais	Nº de inputs por canal	Nº de Outputs por canal	Máxima frequência de contagem
Contagem	2	6	2	60 kHz

A velocidade máxima fisicamente possível do SEAPR poderá atingir 30 km/h (8,33m/s). Sendo o perímetro das rodas do SEAPR de 1,335m, significa que, por cada segundo, cada uma das rodas poderá dar 6,24 voltas completas, sendo a frequência de contagem de 6,39 kHz. Este valor é bastante inferior ao limite físico máximo introduzido pelo módulo de contagem. No entanto, no caso de existir derrapagem a velocidade de uma roda poderá atingir “o dobro” desta velocidade, o que ainda não atingirá o limite de medição associado à carta de contagem do autómato.

Poderia ser aumentada a resolução da medição da posição do veículo através do aumento do número de impulsos por volta. No entanto, para 1024 impulsos, a resolução obtida é de 1,3 mm. Atendendo a que a própria deformação das rodas quando entram em contato com os carris poderá provocar erros superiores foi tomada a decisão de manter o valor de contagem de impulsos por volta original. A posição do veículo de simulação será o somatório da posição inicial com a multiplicação do número de impulsos contados pela resolução.

Quanto à velocidade, uma das funções dos módulos de contagem rápida é a leitura de frequência, pelo que, seria simples chegar à velocidade. Porém, ao escolher o modo de frequência estaria a retirar o modo de contagem de impulsos (*Free Large Counter*). Assim, o valor da velocidade média é obtido através da taxa de variação da posição (derivada) num determinado tempo.

O modo de contagem *Free large counter* disponibilizado pela carta do PLC, e utilizado nesta aplicação, faz contagem ascendente e descendente conforme o sentido de rotação. Com esta facilidade, e sabendo a resolução da medição do *encoder*, é com naturalidade que se chega ao valor da posição do veículo.

No entanto, o valor lido pelos quatro *encoders* instalados nunca será igual devido à diferença entre o raio teórico (retirado da informação do fabricante) e o raio real (dependente da deformação de cada pneu) e devido à possível ocorrência de movimento relativo entre as rodas (“derrapagem”).

A diferença entre raio real e o raio teórico não serão levados em conta. Assim, e atendendo a que os erros introduzidos por uma derrapagem fazem sempre aumentar o valor da distância percorrida, o *encoder* que apresentar menor grandeza medida é considerado o mais correto. Para que este sistema funcione eficazmente o *reset* da contagem e o *Homing* dos *encoder* é efectuado em cada inversão de sentido.

Poderá também ser interessante saber quando estamos a exigir uma aceleração demasiado elevada do veículo de simulação para poder corrigir essa situação. Para identificar derrapagens, a linha de pensamento é igual à seguida no caso da posição mas, utilizando a velocidade. Partindo do princípio de que se uma rodas anda a velocidade exageradamente elevada relativamente às outras é certo que esta está em derrapagem.

Tanto no caso da medição da velocidade como da posição há que realçar um pormenor da maior importância. Na zona de aceleração, como já fora referido, pode haver movimento relativo entre o pneu e o carril devido à exigência do esforço de tracção. Isto faz com que os *encoders* enviem informações erradas ao programa. Para eliminar esta perturbação, apenas se aproveita a leitura do *encoder* que enviar o menor valor de impulsos contados.

Comando Direto

Apesar deste tipo de actuação só permitir velocidades limitadas a 2km hora, o arranque deve sempre, mesmo neste caso, ser progressivo.

Não obstante a atuação deste tipo de comando de movimento de tracção impor um valor fixo de atuação das válvulas proporcionais a evolução desta atuação até chegar ao valor pretendido deve pautar-se por uma taxa de variação suave. Para tal devem ser usadas funções do tipo rampa disponíveis na biblioteca do Unity. Com este tipo de função podemos controlar a taxa de subida ou descida da pressão do comando de variação da cilindrada das bombas.

Como já foi referido, o comando da cilindrada é executado por duas válvulas proporcionais: uma que comanda o movimento de avanço e a outra que comanda o movimento de recuo. Isto significa que quando uma válvula está a ser atuada a outra não poderá estar, também, a ser atuada. Portanto, a rampa de atuação de uma das válvulas só poderá ser acionada caso a saída analógica do PLC que comanda a outra válvula estiver a zero. Isto implica que a mudança de sentido de movimento obrigue à execução de uma rampa de valores de comando descendente até ao valor zero para que se inicie a rampa ascendente da outra válvula.

Comando Automático

Um ensaio a um pavimento pressupõe uma repetição de ciclos de passagem sobre o pavimento em diferentes sentidos.

Cada um desses ciclos seja em que sentido for, começa por uma aceleração do veículo de simulação de modo a que este chegue ao trecho de ensaio com a velocidade pretendida. Chegado ao trecho de ensaio o veículo de simulação deverá continuar em velocidade constante e, posteriormente, efectuar uma desaceleração para inversão de sentido.

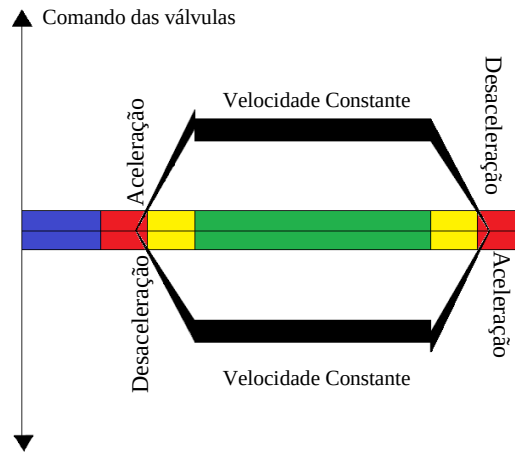


Figura 4-7 – Comando das válvulas proporcionais ao longo da pista

As condições de ensaio fazem com que em cada uma das passagens se tenha que fazer um novo cálculo para o comando das válvulas proporcionais de controlo da cilindrada. Se durante o ensaio o pneu estiver com uma pressão mais baixa, se houver derrapagem de alguma das rodas ou até se a posição de paragem para inversão for ligeiramente diferente, os cálculos da aceleração para atingir a velocidade pretendida no trecho de ensaio deverão ser reformulados. Assim, era necessário introduzir um sistema de controlo no movimento de tracção para que os requisitos de segurança e de ensaio fossem completamente cumpridos.

No controlo do movimento do SEAPR há dois requisitos que têm que ser obrigatoriamente satisfeitos. O primeiro prende-se com o respeito pelas zonas de aceleração e desaceleração e o segundo com o cumprimento da velocidade de ensaio no trecho de ensaio.

Posto isto, a estratégia de comando a utilizar seria o controlo do veículo “em velocidade”. Porém, este inclui um problema de estabilização da velocidade. Uma vez atingido o valor pretendido o comando enviado às válvulas seria reduzido a zero e portanto o SEAPR estaria novamente fora dos valores pretendidos.

Por esta razão, optou-se por efectuar um controlo em posição partindo do princípio que em cada instante a referência de posição deve mudar consoante a velocidade pretendida.

A análise das equações 1 e 2 poderá ser uma preciosa ajuda na compreensão da frase anterior. Sabendo a velocidade pretendida e a distância disponível para aceleração (medida pelos *encoders*) pode, através destas equações, retirar-se o valor da aceleração e do tempo necessário.

$$x_{disponivel} = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (\text{eq. 1})$$

$$v = v_0 + at \quad (\text{eq. 2})$$

Legenda:

$x_{\text{disponível}}$	Distância disponível
x_0	Posição inicial
v_0	Velocidade inicial
t	Tempo
a	Aceleração
v	Velocidade

A posição actual do SEAPR é dada pelo valor lido dos *encoders* e a nova referência de posição é retirada da equação 3.

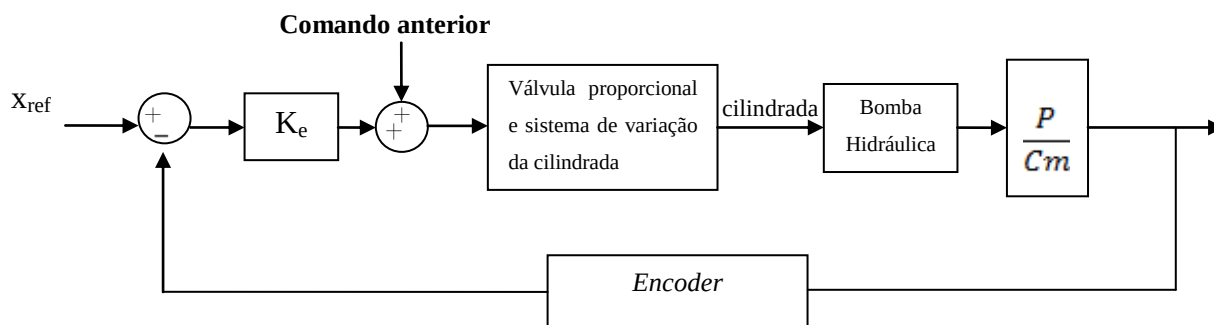
$$x_{\text{ref}} = x_{\text{ref anterior}} + v_{\text{anterior}} t_{\text{ciclo}} + \frac{1}{2} a t_{\text{ciclo}}^2 \quad (\text{eq. 3})$$

Legenda:

x_{ref}	Posição de referência
$x_{\text{ref anterior}}$	Posição de referência do ciclo anterior
V_{anterior}	Velocidade máxima do ciclo anterior
t_{ciclo}	Tempo de cada ciclo

Com a resolução das três equações da física para o movimento rectilíneo uniformemente acelerado se chega ao valor de posição de referência para o sistema de controlo a construir. De referir que este cálculo deverá ser efectuado num tempo de varimento conhecido sendo portanto favorável a utilização de uma função *Fast* do PLC em vez da tradicional *Mast*.

Como as condições do ensaio ao nível de carga sobre o solo, atrito do pneu de ensaio, entre outras, vão exigir esforços de tracção diferentes e consequentemente acções de comando diferentes, a única opção é a construção de uma estratégia de controlo em anel fechado. Propõe-se também um controlador do tipo Proporcional. Em trabalhos futuros sugere-se a simulação deste sistema em MatLab Simulink. De seguida apresenta-se o diagrama de blocos do sistema com um ganho proporcional.



Legenda	
K_e	Ganho multiplicado pelo erro de posição
P	Perímetro da roda sólida
Cm	Cilindrada do motor

A inserção do comando anterior elimina a possibilidade de erros baixos poderem conduzir a uma redução quase para o valor nulo da acção de comando o que faria com que o SEAPR nunca tivesse uma velocidade constante. Para que o comando inicie é necessário haver um valor predeterminado, apenas para o primeiro ciclo, para inserir na variável “comando anterior”.

4.3.2 Estrutura de Comando do Movimento Wander

Este movimento faz parte dos movimentos auxiliares cujo circuito está associado ao motor M3.

Esse motor eléctrico é comandado a partir da saída digital SD-05 do PLC. O sinal enviado irá atuar um relé que por sua vez atuará o contator que permitirá a alimentação eléctrica e consequente arranque do motor M3. O estado deste contator é monitorizado pela entrada digital ED-06 (Figura 4-8). Este motor não tem uma potência significativa e portanto o seu arranque pode ser efectuado sempre que é necessário executar um movimento e a sua paragem realizada quando cessa o movimento.

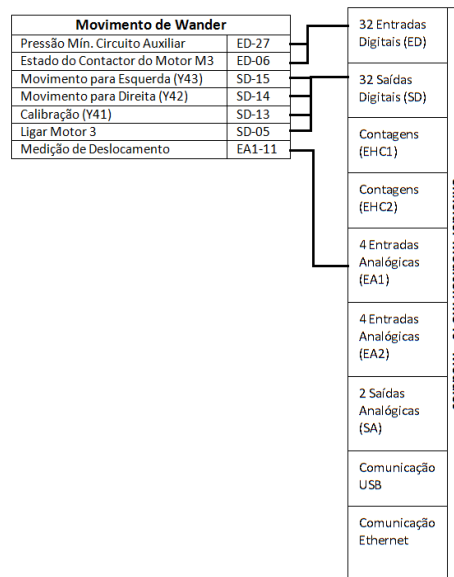


Figura 4-8 - Estrutura de comando do movimento wander

O sinal que permite validar o início de um movimento *wander* é a existência de pressão no circuito auxiliar. Este sinal é dado através de um pressostato (120 bar) que está ligado à entrada digital ED-27 (Figura 4-8).

O movimento é realizado para a esquerda através da atuação do solenóide Y43 (saída digital SD-15) da válvula 4/3 e para a direita através da mesma válvula mas através da atuação do solenóide Y42 (saída digital SD-14).

Controlo em Posição

Neste movimento o controlo é efectuado por posição mas passo a passo. Isto significa que o pedido de movimento *wander* traduz-se a mudança de posição para a direita ou esquerda mas com um valor definido de passo (deslocamento). Praticamente, ao valor de referência (atual) do wander é adicionado o valor do deslocamento a realizar (passo).

De referir que antes de se realizar um movimento *wander* o pneu de ensaio tem que estar na sua posição vertical máxima. Se isso não acontecer o pneu de ensaio poderá estar a exercer uma carga sobre o solo e ser obrigado a deslocar-se lateralmente o que poderia provocar danos ao SEAPR por criar esforços transversos não previstos.

O transdutor utilizado no Movimento *Wander* pode medir até 500mm (0 a 10V) de comprimento e está ligado à entrada analógica EA1-11 do PLC. Por questão de facilidade nos cálculos para o autómato (utilização variáveis de inteiros em vez de reais) a configuração da

carta de aquisição feita com uma escala de 0 a 30000 unidades do programa e uma gama de 0 a 10V correspondendo portanto a 0,06mm por unidade de medição (Figura 4-9).

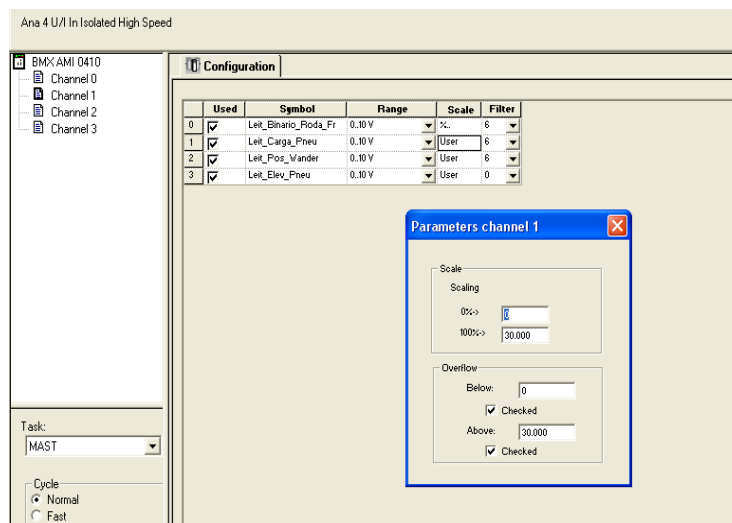


Figura 4-9 - Configuração da carta de entradas analógicas do transdutor do Movimento *Wander* do Pneu

Porém, para que o utilizador possa ter uma leitura melhor dos valores estes são apresentados em milímetros.

Procedimento de Calibração

O movimento *wander* do pneu é efectuado através de dois cilindros simétricos cujas câmaras estão ligadas em “série” para garantir um grande sincronismo entre eles. No entanto, há a possibilidade de uma das câmaras conter pequenas bolhas de ar, o que faz com que a compressibilidade aumente grandemente. Este fenómeno pode arruinar o sincronismo pretendido.

Já com o intuito de eliminar este efeito, na construção foi colocada uma válvula digital 3/2, atuada pela saída digital SD-13 através do solenóide Y41 que permite ligar directamente à linha de pressão as câmaras de ambos os cilindros, e assim pressionar o ar.

A rotina de calibração consiste na deslocação do pneu até ao limite físico esquerdo. Seguidamente continua a exercer-se pressão sobre esse extremo durante algum tempo (3s). Posteriormente, realiza-se o mesmo movimento mas, desta feita, para o lado direito. A tarefa acaba com o regresso do pneu à posição de origem.

4.3.3 Estrutura de Comando do Movimento de Carga Vertical

O movimento de carga vertical é um dos elementos chave para a realização de um ensaio a um pavimento. A capacidade deste em exercer uma carga constante sobre o piso, mesmo que este apresente algumas irregularidades, é um ponto muito importante para um ensaio credível.

Este movimento é alimentado hidraulicamente pelo circuito dos movimentos auxiliares e, portanto, estará associado ao motor M3 cuja estrutura de comando já foi explicada.

Posição Vertical

A posição vertical do pneu de ensaio é medida por um transdutor com um comprimento máximo de medição de 150mm e que está ligado à carta de entradas analógicas EA1-17 do PLC (Figura 4-10). Para que este elemento possa realizar as contas utilizando apenas inteiros e não reais, na carta de aquisição foi escolhida uma escala de 0 a 30000 unidades com uma gama de 0 a 10V. Isto corresponde a ter uma resolução de 0,05mm por unidade de programa. No entanto, como o transdutor se encontra associado a um braço do sistema de movimentação vertical do pneu que realiza 120mm de deslocamento, a resolução de medição ao nível do pneu é de 0,04mm por unidade de programa.

No caso da medição da carga vertical foi usado um transdutor de pressão que mede de 0 a 250 bar com uma saída de 0 a 10V e que está ligado à carta de entradas analógicas EA1-07 do PLC (Figura 4-10). Assim, mais uma vez foi definido, na carta de aquisição, uma gama de 0 a 10V e uma escala de 0 a 30000 unidades pelas razões já anteriormente apontadas.

Portanto, cada cento e vinte unidades do programa corresponde a 1bar de pressão. Sabendo que as dimensões de cada cilindro são de $\varnothing$ 63x36-210 e que o braço entre o apoio do cilindro e a estrutura que segura o pneu faz com que a força seja multiplicada por dois, facilmente se chega à carga aplicada.

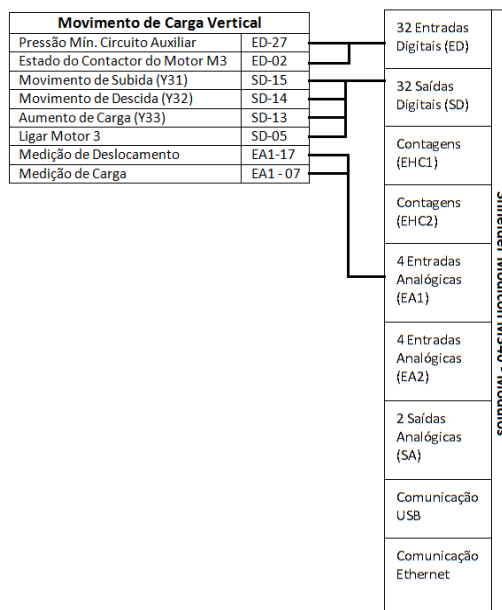
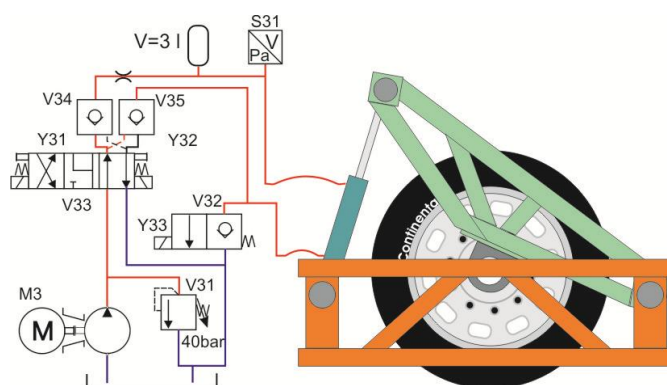


Figura 4-10 - Estrutura de comando do Movimento de Carga Vertical

O controlo do movimento vertical revelou-se uma tarefa morosa e de elevado grau de dificuldade graças à complexidade introduzida pelos seus elementos.

Desde logo é necessário destacar que este movimento pode ser dividido em dois distintos: subida/descida “com o pneu a tocar no chão” (em carga) ou “sem o pneu a tocar no chão” (livre).

Para efectuar um movimento de descida livre é necessário, apenas, atuar a válvula de comando. No entanto, para que a válvula de retenção seja pilotada com eficácia é essencial que a pressão nas câmaras superiores dos cilindros suba um pouco. Portanto, a leitura da



pressão na câmara superior dos actuadores durante esta operação não traduz de modo algum a real carga aplicada ao pneu (Figura 4-11).

Figura 4-11 – Descida livre do pneu de ensaio

Quando o pneu entra em contacto com o chão a válvula de descarga deverá ser atuada (Y33), pois já não há qualquer carga gravítica e, portanto, risco de cavitação. Torna-se, então,

possível dizer que a leitura da pressão na câmara superior dos actuadores corresponde à força hidráulica aplicada ao pneu. Porém, se o valor da carga a aplicar ao solo não for suficiente para vencer a pressão mínima do acumulador e colocá-lo em funcionamento, com o SEAPR em andamento, uma pequena imperfeição do solo fará com que se gere uma alteração de pressão. Este facto pode fazer com que o sistema seja induzido a corrigir um valor de pressão correto.

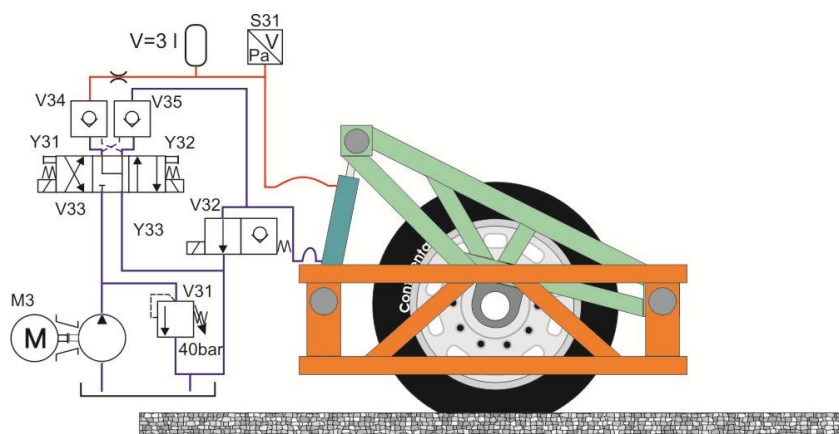


Figura 4-12 – Pneu de ensaio a exercer carga sobre o pavimento

Por outro lado, se o pneu estiver a tocar no chão e uma subida for executada, a válvula de descarga terá de fechar e gerar-se-á uma pressão nas câmaras superiores dos cilindros que não é devida à carga mas, sim, ao estrangulador e à válvula de retenção. Mais uma vez, a pressão lida pelo sensor não tem qualquer significado prático.

Quando se executa um movimento de subida livre, as actuações das válvulas são idênticas às de uma subida em carga, havendo portanto, pouca diferença de pressão lida no transdutor. Isto coloca algumas dificuldades para a detecção do fim do contacto entre o pneu e o solo.

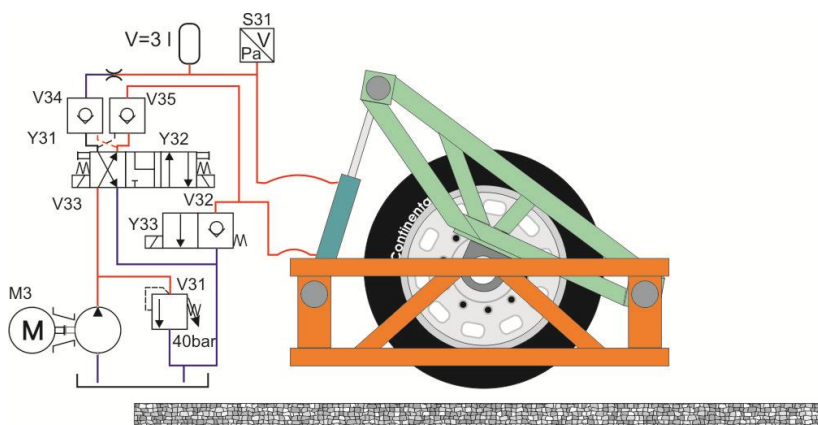


Figura 4-13 - Subida livre do pneu de ensaio

Para além de tudo isto, o sistema consegue ter dois comportamentos distintos devido ao acumulador. Se as câmaras superiores dos cilindros funcionarem com pressões superiores a 70bar (pressão de enchimento do acumulador) o acumulador entra em funcionamento. A função deste elemento no mecanismo é de amortecer possíveis choques hidráulicos provocados pelas más condições do piso.

A detecção do toque do pneu no chão representa, assim, uma medida fulcral para todo o desenrolar deste movimento. Na verdade, esta funcionalidade foi, provavelmente, das que mais tempo consumiu durante o projecto.

Para resolver todos os problemas referidos nos parágrafos anteriores foram tentadas várias abordagens. Cada uma contém uma estratégia diferente. Embora nenhuma tenha resultados perfeitos, a terceira considerou-se como apta a ser aplicada como solução final.

Estratégias para a execução do Movimento Vertical do Pneu

A detecção do contacto entre o pneu e o chão podia ser realizada por medição da posição ou por detecção de um perfil de pressões. A utilização de uma posição pode ser bastante errónea devido à possibilidade abatimento do pavimento e de desgaste dos pneus, o que influencia significativamente a exatidão deste método. Assim, numa primeira abordagem optou-se por uma estratégia de verificação de perfis de pressão.

1ª Abordagem

Tal como foi referido, a primeira estratégia foi a detecção de um perfil de pressões que permitisse ao sistema identificar que o pneu já estava a exercer força sobre o chão e, portanto, notificar o contato.

O programa continha três condições obrigatoriamente sequenciais para que a detecção acontecesse. A primeira era a existência de uma carga superior a 100N. Seguidamente era detetada uma subida repentina da carga sobre o pneu e, por fim, a carga deveria atingir um valor superior a 1kN.

A solução para identificar o fim do contato com o pavimento consistia em efectuar uma abertura de 100ms da válvula de descarga logo após uma subida. Isto permitia que rapidamente o valor da pressão nas câmaras superiores dos cilindros deixasse de ser afetado pelo estrangulador e que passasse a traduzir a realidade.

Este método obteve resultados positivos no sentido em que era possível detetar o contato com o solo mas, apresentava uma percentagem elevada de erros na deteção. Para além disso, a abertura da válvula de descarga depois de uma subida, ainda que muito rápida, provocava uma pequena descida do pneu o que, era obviamente desinteressante.

2ª Abordagem

A estratégia desta segunda abordagem foi bastante diferente. Em vez de se tentar detectar o solo através de um perfil de pressões sempre que se efectuasse uma descida foi pensada uma rotina de autodiagnóstico automático a realizar no modo de preparação para ensaio para gravar uma referência do nível do chão que fosse sólida e, assim, usar esse valor como referência para o resto das operações.

A vantagem deste método em relação ao anterior era a possibilidade de o programador poder definir as condições em que seria efectuada a descida até encontrar o solo.

A rotina de autodiagnóstico consistia na subida até ao limite superior permitido pelo programa, seguido de uma descida por gravidade em que apenas era atuada a válvula de descarga causando cavitação nas câmaras superiores dos cilindros. Quando o movimento de queda por gravidade terminasse, significava que o pneu tinha entrado em contacto com o solo, gravando-se, assim, a referência ao solo. Por fim, deveria ser efectuada uma nova subida até ao limite superior e uma descida para teste da referência e aplicação de uma carga que não devida exceder 2kN.

Esta solução era impraticável pois a queda por gravidade não era efectuada até ao solo mas, até à pressão nas câmaras superiores dos cilindros se tornar tão baixa que conseguia travar o movimento enganando o sistema.

3ª Abordagem

Esta terceira solução é uma combinação das soluções anteriores. A deteção do contato entre o pneu e o solo é efectuado através da leitura da pressão mas, as condições em que a descida ou a subida do pneu acontecem são muito específicas.

Nos casos anteriores, o pneu podia ser controlado em posição, caso ainda não estivesse a tocar no chão, ou em força se já estivesse em contato com o solo. Na terceira abordagem o pneu apenas pode ser controlado em força. Isto significa que quando o comando da carga corresponde a zero, o pneu vai até ao limite superior físico (LMS) e não ao limite virtual

(programado). Isto permite garantir que nesta posição a pressão nas câmaras superiores dos cilindros é nula.

No movimento de descida, desta feita, a válvula de descarga está sempre actuada assim como a válvula de comando. Isto permite que o movimento seja efectuado com a possibilidade de cavitação porém, garante que a pressão lida só aumenta quando efectivamente o pneu estiver a pressionar o solo. Com tudo isto é fácil determinar a carga mínima que, quando ultrapassada, faz com que o sistema reconheça o contacto entre o pneu e o solo.

O problema desta solução aparece quando se efectua um ajuste de carga para um valor inferior. Isto porque para realizar esta operação é necessária uma subida do pneu que implica que a válvula de descarga seja desatuada e que, novamente, a leitura da pressão nas câmaras superiores deixe de ter significado devido ao estrangulador e acumulador.

Esta questão foi resolvida através de tempos de actuação curtos para o movimento de subida na situação de ajuste de carga e através de um espaçamento temporal entre leituras de valores de pressão que permite obter valores que traduzem a realidade.

Na figura anexa apresenta-se o perfil uma ilustração do que será o perfil de pressões para uma descida livre, seguida de um aumento de carga sobre o solo e posterior subida até ao limite máximo superior físico.

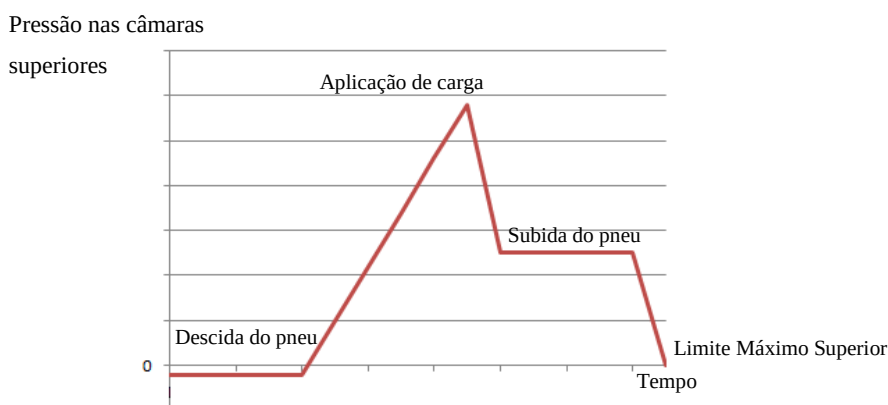


Figura 4-14 - Perfil de pressões nas câmaras superiores dos cilindros para uma descida e subida com aplicação de carga

Os resultados desta metodologia revelaram-se de grande qualidade visto que a detecção do contato entre o pneu e o solo é efetuada sem qualquer falha a registar e os valores de carga são efectivamente atingidos e alteráveis sem dificuldade.

Controlo da Posição/Carga

Apesar da posição do pneu estar a ser medida a todo o instante, o seu controlo é sempre efectuado em carga pelas dificuldades que foram apresentadas anteriormente.

Portanto, o operador pode ir incrementando ou diminuindo a carga de acordo com o valor pretendido mas, não directamente para esse valor ou seja “passo a passo”. Por outro lado, em caso de querer colocar a carga a zero, o pneu deve estar sempre na posição do limite máximo superior.

De modo a que o operador seja informado do fim do ajuste de carga para o valor pretendido, deve ser deixada uma variável para posterior ligação ao SCADA que identifica que o valor da força exercida sobre o solo é o correto.

Para evitar que o pneu seja sujeito a uma carga superior à máxima permitida pelo fabricante, o valor da força máxima que o sistema pode efetuar sobre este elemento irá ser limitado através de um parâmetro que só poderá ser configurado num bloco específico por um técnico especializado.

Numa máquina, normalmente as avarias podem ser de dois tipos diferentes. Existem as que não deixam o mecanismo funcionar, mesmo que o comando o ordene, e as que sem haver acção de controlo fazem com que a máquina, erradamente, se mova.

Para identificar rapidamente este tipo de anomalias deve ser criada uma função para detetar movimento no eixo vertical. Isto poderá ser realizado através de duas variáveis que guardam o valor do transdutor de deslocamento em tempo desfasado. A comparação desses valores permite atribuir um limite de deslocamento do pneu num determinado intervalo. Passando esse limite é considerado que o pneu entrou em movimento vertical.

Deteção do limite máximo superior (LMS)

Para que um movimento *wander* do pneu seja executado, a posição do pneu tem de ser considerada segura, isto é, não pode haver qualquer hipótese de existir contato entre o chão e o pneu.

Assim, era crucial definir o *Limite Máximo Superior* (LMS) que poderia ser atingido pelo pneu.

Uma vez desenvolvida a função que permitia identificar movimento no eixo vertical, o LMS é atingido se durante 4s o pneu estiver parado, quando o comando das válvulas está accionado para executar uma subida estando o circuito sobre pressão e sendo a carga sobre o pneu lida pelo pressostato quase nula.

O LMS deixa de estar actuado se a válvula de comando do movimento muda de posição para executar uma descida durante mais de 1s.

Tarefa de Execução de Movimento *Wander* do Pneu

Apesar deste módulo de controlo ser do movimento vertical do pneu, como este e o movimento *wander* estão interligados devido à necessária altura ao solo para executar a mudança de posição lateral, é imperativo que seja efectuada uma subida até ao LMS (ponto escolhido como seguro) sempre que é pedido o referido movimento lateral.

Assim, quando o operador altera a posição de referência do *wander*, o programa deve gravar o valor de carga actual, inibe o movimento *wander* e faz uma subida até ao LMS. Seguidamente o módulo de controlo do movimento *wander* posiciona o pneu para a nova referência e posteriormente é efectuada uma descida para até se atingir a carga que está na memória do sistema.

Teste à Rigidez do Pneu

O SEAPR, como máquina de ensaio de longa duração, tem de estar preparado para qualquer eventualidade.

O elemento principal de um teste de pavimento é o pneu que vai calcar o piso. Se este não estiver em condições de pressão aceitáveis, podemos ter:

- a possibilidade de desgaste prematuro deste elemento;
- a força exercida pelos motores hidráulicos do sistema de tracção tem de ser amplificada para a mesma aceleração e, ainda mais grave;
- o ensaio poderá não produzir resultados fidedignos.

Para resolver este problema, sempre que o pneu contacta com o solo, deve ser gravado o valor do transdutor de posição vertical. Seguidamente, à medida que o pneu é empurrado contra o solo, é comparada a relação de avanço em posição e aumento de carga. Se esta relação demonstrar que a força exercida contra o solo é pequena comparativamente ao valor do deslocamento depois do pneu tocar no chão, é assinalada uma variável com a indicação de confirmação da pressão do pneu.

4.3.4 Estrutura de Comando do Sistema de Carrilamento

O sistema de carrilamento está associado ao conjunto de movimentos auxiliares que, portanto, são acionados pelo motor M3.

Como foi referido no capítulo 2, o comando da subida ou descida das rodas do veículo de simulação que permite o descarrilamento ou carrilamento, respetivamente, é realizado separadamente por trem de rodas (frente e trás). Isto é, o movimento de cada par de rodas é controlado por uma válvula digital 4/3. Os solenóides Y21 e Y23, ligados às saídas digitais SD-06 e SD-08, fazem subir as rodas da frente e as rodas de trás, respetivamente (Figura 4-15).

O sinal de que as rodas estão subidas ou descendidas é dado por dois fins de curso colocados nos cilindros hidráulicos de cada roda. Na Figura 4-15 é possível identificar os sensores de fim de curso superior e inferior e as suas ligações com o autómato através da carta de entradas digitais.

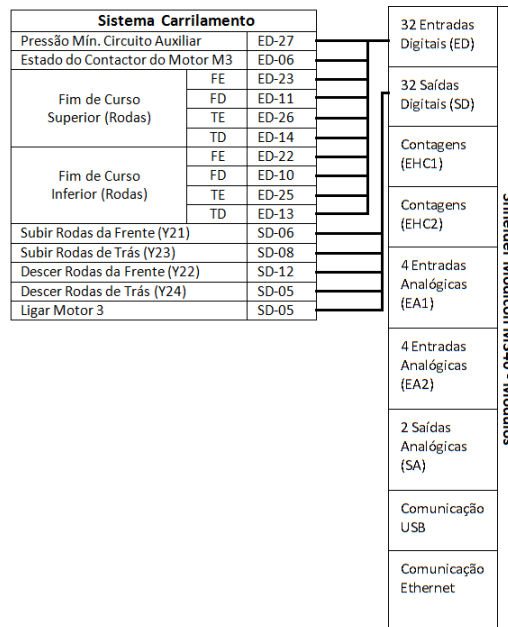


Figura 4-15 - Estrutura de Comando do Sistema de Carrilamento

Uma vez atingida a posição superior ou inferior das rodas, a acção das válvulas de comando deve continuar para garantir que, ocorrendo alguma perda de óleo durante o fecho das válvulas de retenção, não faz desativar os sensores dos cilindros.

Uma vez que as quatro rodas não são comandadas pela mesma válvula direcional, se uma das válvulas tiver um problema apenas um par de rodas responderia a um pedido de movimento por parte do operador, criando uma situação de impasse. No sentido de solucionar esta questão quer para o trem dianteiro quer para o traseiro deve ser criada uma função que dá um limite temporal de 10s para as rodas irem para posição de comando. Caso isso não aconteça inverte a ordem para voltar à posição anterior (com o mesmo prazo de 10s) e assinala uma avaria.

4.3.5 Estrutura de comando da Monitorização do Veículo de Simulação e Pista

O veículo de simulação como máquina de construção complexa e falível tem associada uma monitorização de parâmetros que alerta para possíveis avarias ou necessidade de intervenção preventiva de manutenção. Assim, se o nível de óleo passar abaixo do nível mínimo um sensor ligado à carta de entradas digitais do PLC (ED-08) poderá alertar para esse problema. Do mesmo modo foi colocado um sensor e colmatação de filtro de óleo ligado à mesma carta mas, desta feita à entrada 21 (ED-21).

O comando de válvulas on-off que controlam o movimento de quase todas as partes do veículo de simulação é realizado através da carta de saídas digitais do PLC que se serve do circuito de 24V para concretizar a atuação. Uma forma simples de terminar todo e qualquer movimento do veículo de simulação é a abertura do circuito de 24V de potência. Isto pode ser usado em caso de atuação do botão de emergência, por exemplo. A abertura do circuito de 24V de potência pode ser realizada a partir do saída digital SD-03 do PLC e a sua monitorização é efetuada através da entrada digital ED-29 (Figura 4-16).

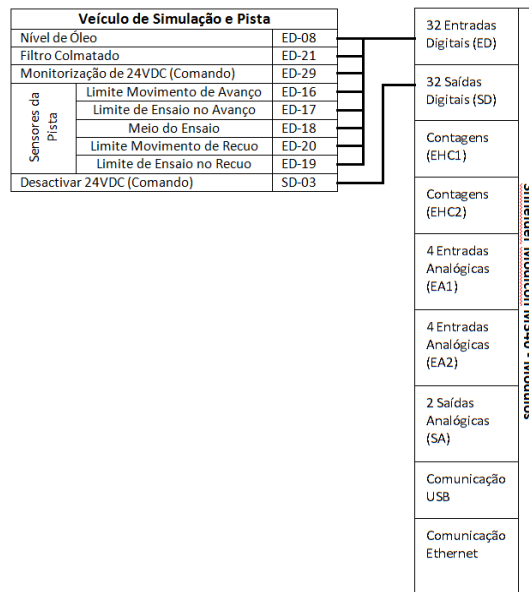


Figura 4-16 - Estrutura de Comando da monitorização do Veículo de Simulação e Pista

Tal como já se havia referido no capítulo 2, a pista onde o veículo de simulação está inserido para realização de um ensaio está dividida em diferentes trechos com diferentes funcionalidades. Esses trechos são delimitados por sensores de pista (Figura 4-16). O sensor “Meio do eEnsaio” encontra-se a meio do trecho de ensaio e, ao contrário dos outros, não delimita nenhum trecho. Este serve para o programa ter uma indicação temporal da passagem do veículo de simulação pelo ponto médio do trecho de ensaio e verificar se a velocidade de ensaio pretendida é a que realmente se verifica.

4.4 Estruturação da Programação

Antes de começar a criar um programa para um PLC é necessário pensar numa estratégia que permita que este cresça sem se tornar demasiado complexo e desorganizado.

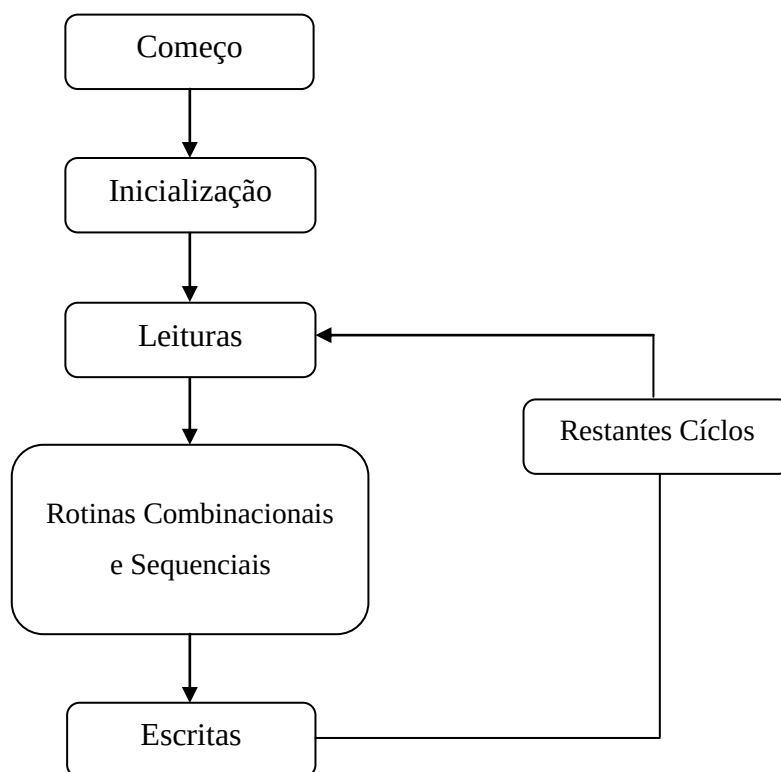
Uma má estruturação da programação pode levar o programador a perder demasiado tempo na sua construção e pode até levar à insustentabilidade da continuação do projecto.

Na programação do SEAPR foi, logo à partida, definido que teria de haver uma distinção entre os blocos que actuam directamente sobre o hardware e as sequências de funcionamento. Os primeiros são aqueles que controlam directamente elementos como o *softstarter* ou os solenóides das válvulas, por exemplo, enquanto as sequências prendem-se com a funcionalidade da máquina, isto é, a sucessão de movimentos que devem ser efectuados para realizar uma determinada função.

Para construir os blocos que actuam sobre o hardware foi usada a linguagem *Ladder*, pois permite facilmente a visualização de todas as actuações de componentes do sistema que estão a acontecer e possibilita a rápida detecção de falhas quer da programação quer dos elementos do SEAPR.

No caso das sequências de movimentos foi utilizada a linguagem de SFC (*Sequential Functional Chart*) ou *Grafset* devido à facilidade de programar sequências e porque permite observar de forma simples e atrativa as diferentes atividades que vão sendo desenvolvidas. Por outro lado, mostra o tempo que cada estado esteve ativo, o que pode ser uma mais-valia para saber o espaço de tempo que uma determinada acção esteve a ser executada.

Foram ainda criados os blocos de “Inicialização”, “Leituras” e “Escritas”. O primeiro serve para dar um valor a determinadas variáveis quando se reinicia o PLC, nunca mais sendo executado este bloco. Já os restantes serão sempre executados em cada varrimento. No caso do Bloco Leituras a sua função é de transformação das leituras realizadas em unidades do programa em unidades de medida para que possam ser compreendidas. O bloco de Escritas pretende preparar os valores das variáveis para que sejam enviados pelas saídas do PLC quer sejam valores directos ou decorrentes do varrimento que está a decorrer.



Esquema 1- Descrição da Estruturação do Programa

4.5 Blocos Combinacionais

4.5.1 Comunicação com o Soft-Starter

É a escrita de registos no soft-starter a pedido do PLC que permite o controlo do arranque do motor elétrico M1 do circuito de tração das rodas do SEAPR.

O PLC Modicon já vem equipado com módulos de comunicação Modbus RTU (leitura e escrita de variáveis, entre outras funções) o que trouxe uma grande vantagem na programação da comunicação.

A Figura 4-17 pretende apresentar o módulo de leitura de registos do soft-starter. Esta ação sobre o *soft-starter* permite saber em que estado se encontra o dispositivo para posteriormente proceder à escrita nos registos.

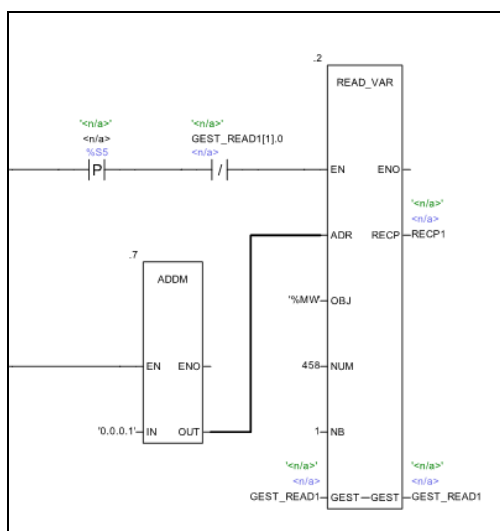


Figura 4-17- Bloco de Leitura de registos do *Soft-Starter*

A rotina de leitura de registos é efectuada de 100 em 100 ms desde que a última leitura já não esteja a decorrer. Isto é garantido através da variável "GEST_READ1[1].1".

A *Memory Word* (MW) que recebe a informação pedida é a RECP1. Na Figura 4-17 pretende-se ler apenas 1(NB) registo, o da MW 458 (NUM).

Posteriormente é necessário fazer a interpretação da informação enviada pelo *soft-starter*. Para tal, faz-se corresponder a cada bit da MW RECP1 uma outra variável (Figura 4-18).



Cada uma destas variáveis traduz um estado do *soft-starter*. Por exemplo, “Gestao_GR1.SS_Cnd_Ready” significa que o dispositivo está pronto a executar uma nova tarefa ou “Gestao_GR1.SS_Cnd_Switch_ON” significa que o *soft-starter* está ligado. Estas variáveis vão ser usadas num *grafcet* comportamental de funcionamento. Há medida que o *soft-starter* vai evoluindo, através do *grafcet*, o programa segue a sua evolução.

Figura 4-19 - *Grafcet* principal de Comando do *soft-starter*

1. “Em Falha”,
2. “Parado”,
3. “A Desligar”,
4. “Em Arranque”,
5. “Ligado” (da esquerda para a direita).

A acção de comando propriamente dita faz-se através da escrita dos seus registos. Para tal utiliza-se um bloco idêntico ao de leitura de variáveis só que desta feita para escrita (Figura 4-20).

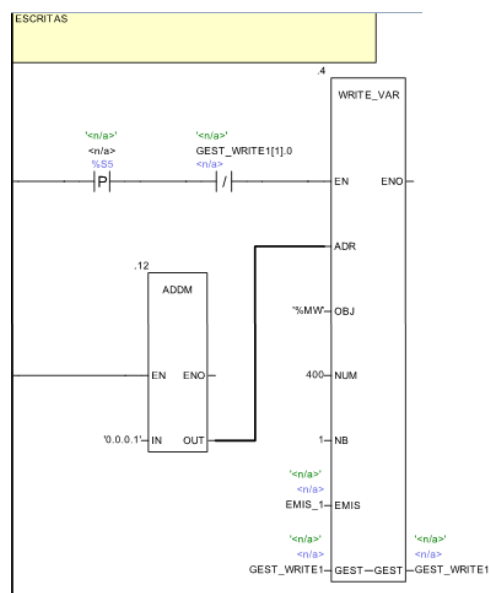


Figura 4-20 - Bloco de escrita de registos do *soft starter*

A MW enviada é a EMIS_1 que contém a informação a escrever na MW 400 do *soft starter*. A MW EMIS_1 é formada através das variáveis que vão sendo alteradas no *grafcet* de comando conforme a evolução do *soft-starter* e conforme o fim que se pretende (Figura 4-21).

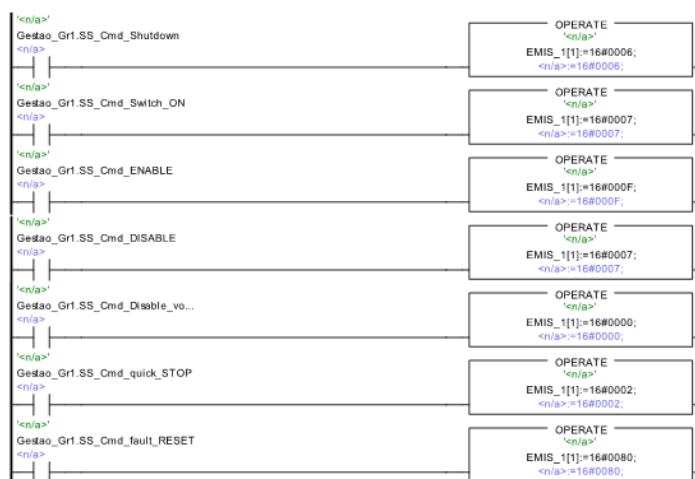


Figura 4-21 - Formação da MW de escrita EMIS_1

O estado das variáveis do lado esquerdo da Figura 4-21 é modificado pela acção do *grafcet* comportamental do *soft-starter*.

Resumidamente, o PLC lê ficheiros do *soft-starter* para se inteirar do seu estado, e seguidamente, através de um *grafcet* comportamental do *soft-starter*, forma uma MW para escrever nos ficheiros do *soft-starter* e assim exercer comando sobre este.

4.5.2 Comando dos Motores Elétricos

O comando dos motores elétricos pode ser dividido em dois:

- Motor M1 e M2;
- Motor M3.

O motor M1 e M2 são controlados no mesmo bloco de programação pois, o seu funcionamento é intrínseco, isto é, o motor M1 só pode ser ligado quando o motor M2 estiver já ligado e o circuito de compensação pressurizado.

Um pedido de movimento de tração fará com que uma variável do autómato (“Ligar_M1”) seja ativada. Essa variável proporcionará a atuação do contator do motor M2 (Figura 4-22).

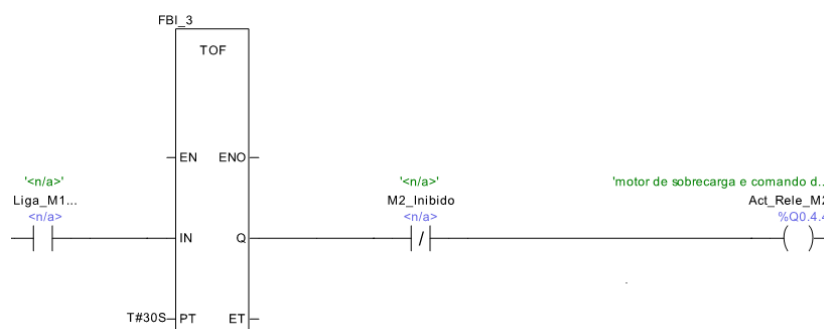


Figura 4-22 - Atuação do motor M2

A utilização do temporizador *off-delay* pretende evitar arranques sucessivos do motor M1.

Quando os pressostatos do circuito de comando da cilindrada e compensação assinarem pressão nos respetivos circuitos, o motor M1 poderá então ser acionado. Para tal, é atuada a variável “Gestão_Gr_Grupo1_em_arranque” que está ligada à comunicação com o *soft-starter* (Figura 4-23).



Figura 4-23 - Ordem de arranque para o motor M1

Caso o motor M2 se desligue o motor M1 desligar-se-á de imediato. O mau funcionamento do contator do motor M2 também é sinalizado através da variável “Avar_Contactor_2” (Figura 4-24).

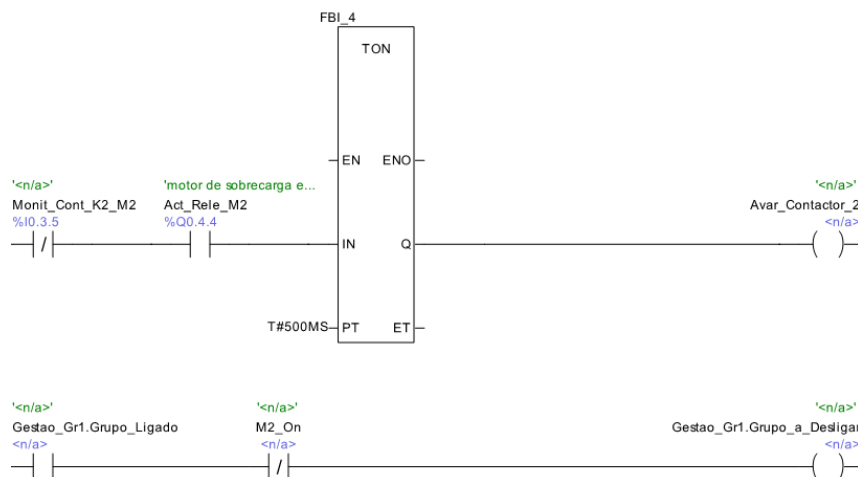


Figura 4-24 - Avaria do motor M2 e paragem do motor M1

O motor M3 tem um funcionamento semelhante ao motor M2. O pedido de um movimento associado ao circuito dos movimentos auxiliares fará atuar a variável “Liga M3” que atuará o contator do motor M3 (Figura 4-25).

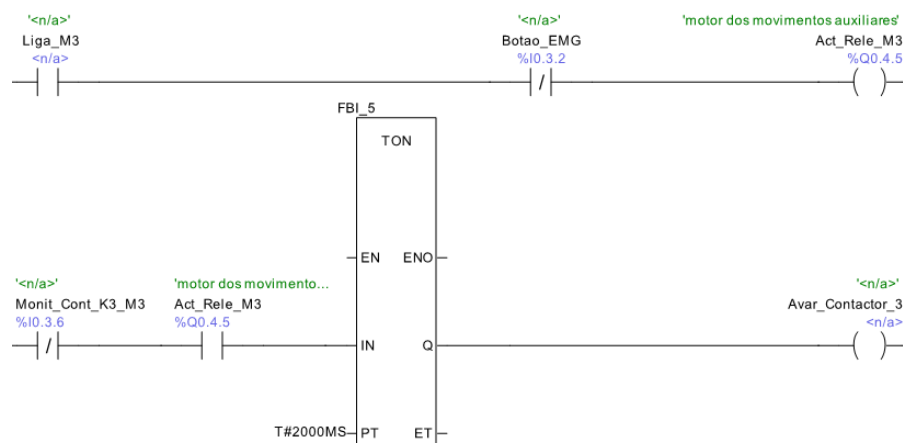


Figura 4-25 - Atuação do motor M3 e detecção de avarias

Caso o relé de acionamento do contator do motor M3 esteja atuado e o contator não corresponder, a variável “Avar_Contactor_3” sinalizará essa ocorrência.

4.5.3 Movimento de Tracção

Para realizar o controlo da tracção nas rodas foram criados dois blocos de programação. O primeiro “Tracção_CD” (Tracção de Comando Direto) apenas actua as válvulas proporcionais de controlo da cilindrada através de referências fixas.

O segundo, “Traccão_Automática” para fazer o controlo da cilindrada das bombas em função do comando em posição que virá a ser introduzido para um ensaio automático. Este segundo módulo não foi finalizado por limitações de tempo.

Tracção de Comando Direto

Uma vez que está prevista a introdução de duas pistas (A e B) e que o veículo entra de frente na A e de traseira na B devido à posição da calha de alimentação (problema pode ser revisto no capítulo 2) tornava-se importante que o programa reconhecesse que a noção de frente e traseira deve mudar consoante a pista em que está instalado o SEAPR. Assim, o comando de avanço ou recuo não é dado directamente por clique mas, por análise do clique e da pista (Figura 4-26).



Figura 4-26 - Reconhecimento da frente do veículo consoante a pista em que está instalado

Apesar do comando da cilindrada ser efectuado directamente através de um valor fixo torna-se importante evitar transições repentinas de velocidade pois isso pode provocar uma sensação de insegurança no operador e danos ao simulador. Utilizaram-se, então, os blocos “Ramp” da biblioteca do Unity que permitem definir o valor inicial de cada rampa e seleccionar o valor de incremento ou decremento (Figura 4-27).

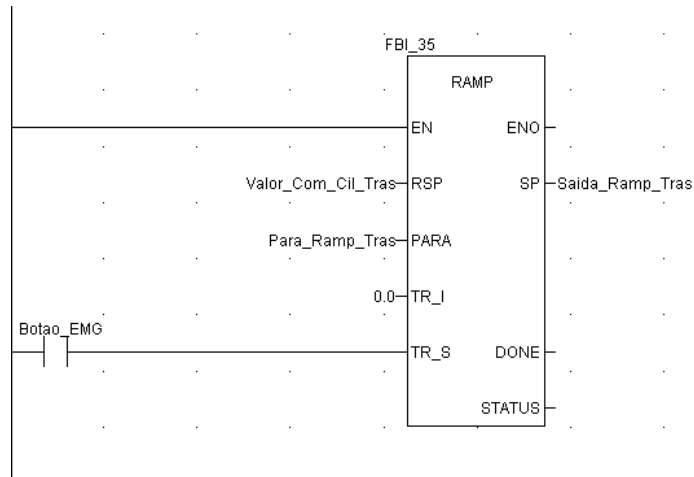


Figura 4-27 – Bloco de Função “Ramp” para criar uma velocidade continuamente variável (comando progressivo)

O bloco “*Ramp*” permite criar uma variável do tipo estrutura “*Ramp*”. Essa estrutura cria dois tipos de variáveis “*Ramp*”: «nome.inc» ou «nome.dec». Estas são as variáveis que permitem indicar ao bloco qual o rácio de incremento ou decremento, respetivamente, da *ramp*. No bloco Tracção de Comando Direto estão algumas linhas de programação que indicam que se o valor corrente da saída da rampa for menor que a entrada, então usa a «nome.ramp.inc» se acontecer o contrário usa a «nome.ramp.dec».

O comando da cilindrada é sempre zero a não ser que seja efectuado um pedido de movimento de tracção ou caso seja dada a autorização do operador (fig. 4-28).

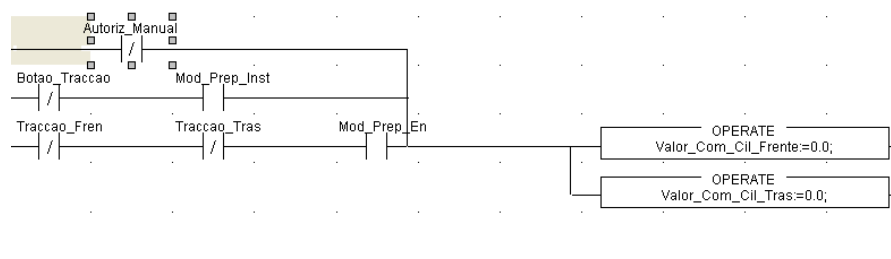


Figura 4-28 - Comando da cilindrada sempre levado a zero excepto se forem cumpridas condições de arranque

Também não deve começar uma rampa ascendente sem a outra estar com a saída a zero pois isso possibilitaria que uma válvula estivesse a exercer um comando contra outro já existente. Assim criou-se uma inibição para a entrada em funcionamento de uma rampa para evitar essa situação.

4.5.4 Movimento de Carga Vertical

Uma preocupação geral na construção de *software* foi a detecção sistemática de avarias. No caso do movimento de carga vertical tentaram-se identificar movimentos quando estes não eram pedidos e, pelo contrário, a não realização de uma acção de comando.

Para identificar rapidamente este tipo de anomalias, foi criada uma pequena função para detetar movimento no eixo vertical. Isto é realizado através de duas variáveis (“Medição_1” e “Medição_2”) que guardam o valor do transdutor de deslocamento em tempo desfasado. A comparação desses valores permite atribuir um limite de deslocamento do pneu num determinado intervalo. Passando esse limite é considerado que este está em movimento (Figura 4-29).

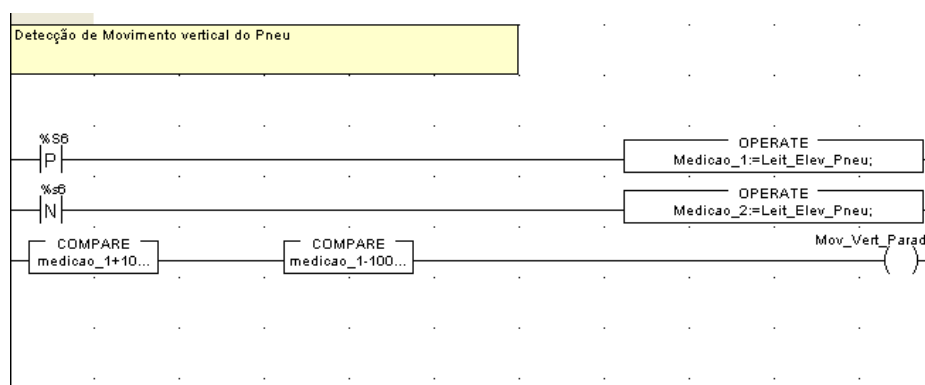


Figura 4-29 - Detecção de movimento vertical do pneu

Se a diferença entre as medições for suficientemente baixa, considera-se que o pneu está parado e o programa verifica se a actuação das válvulas está de acordo com a conclusão das leituras. Em caso negativo, aciona uma *flag* de falha (“Mov_Vert_Falha”) e outra de erro (“Erro_Mov_Vert”, Figura 4-30).

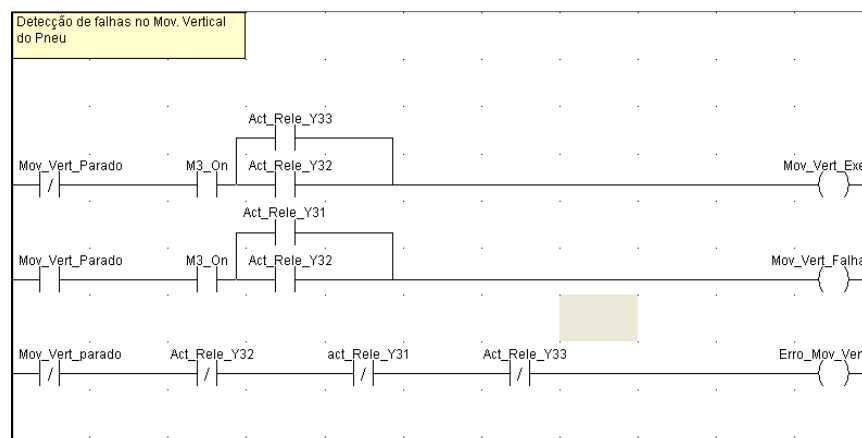


Figura 4-30 - Detecção de falhas no Movimento Vertical do Pneu

Detecção do limite máximo superior

Para que um movimento *wander* do pneu seja executado a posição do pneu tem de ser considerada segura, isto é, não pode haver qualquer hipótese de existir contato entre o chão e o pneu.

Assim, era crucial definir o Limite Máximo Superior (LMS) que poderia ser atingido pelo pneu.

Uma vez desenvolvida a função que permitia identificar movimento no eixo vertical, o LMS é atingido se durante 4s o pneu estiver parado, quando o comando das válvulas está accionado para executar uma subida estando o circuito sobre pressão e sendo a carga sobre o pneu lida pelo pressostato quase nula (Figura 4-31). O bloco “COMPARE” da Figura 4-31 permite determinar a pressão mínima lida no pressostato para a qual já se considera, genericamente, que o valor de pressão no circuito é nulo.

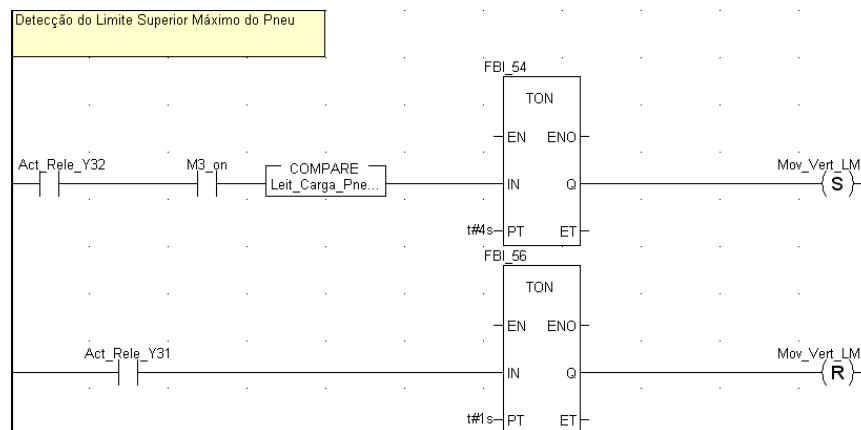


Figura 4-31 - Identificação do Limite Máximo Superior

O LMS deixa de estar actuado se a válvula de comando do movimento muda de posição para executar uma descida durante mais de 1s.

Tarefa de Execução de Movimento *Wander* do Pneu

Apesar deste módulo de controlo ser do movimento de carga vertical do pneu, como este e o movimento *wander* do pneu estão interligados devido à necessária altura ao solo para executar a mudança de posição lateral, é imperativo que seja efectuada uma subida até ao limite superior máximo (ponto escolhido como seguro) sempre que é pedido o referido movimento lateral.

Assim, quando o operador altera a posição de referência do *wander*, o programa grava o valor de carga actual, inibe o movimento *wander* e faz uma subida até ao LMS. Seguidamente o módulo de controlo do movimento *wander* posiciona o pneu para a nova referência e posteriormente é efectuada uma descida para até se atingir a carga que está na memória do sistema. Esta sequência será apresentada com mais pormenor na secção destinada ao movimento *wander*.

Teste à Rigidez do Pneu

O SEAPR, como máquina de ensaio de longa duração, tem de estar preparado para qualquer eventualidade.

O elemento principal de um teste de pavimento é o pneu que vai calcar o chão. Se este não estiver em condições de pressão aceitáveis, a possibilidade de desgaste prematuro do mesmo aumenta, a força exercida pelos motores hidráulicos do sistema de tracção tem de ser

amplificada para a mesma aceleração e, ainda mais grave, o ensaio poderá não produzir resultados fidedignos.

Para resolver este problema, sempre que o pneu contacta com o solo, é gravado o valor do transdutor de posição vertical. Seguidamente, à medida que o pneu é empurrado contra o solo, é comparada a relação de avanço em posição e aumento de carga. Se esta relação demonstrar que a força exercida contra o solo é pequena comparativamente ao valor do deslocamento depois do pneu tocar no chão, é assinalada uma variável com a indicação de confirmação da pressão do pneu (Figura 4-32).

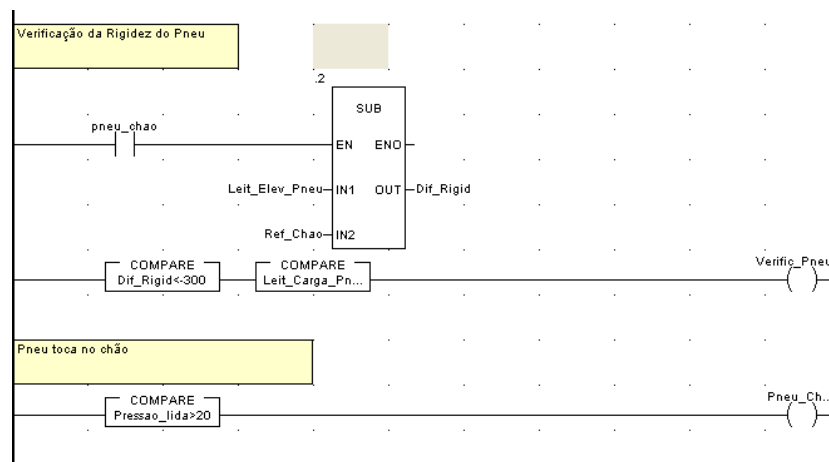


Figura 4-32 - Verificação da Rigidez do Pneu e identificação do contacto do Pneu com o chão

Esta relação entre a deslocação do pneu e o correto aumento da carga não foi alvo de estudo. Num futuro trabalho, para que esta função tenha resultados positivos será necessário perceber melhor a ligação.

Uma vez que a temperatura do pneu pode variar durante o tempo de um ensaio a sua rigidez também poderá variar e perturbar o bom funcionamento deste teste.

Ajuste de Carga

O ajuste de carga é realizado através da medição da pressão lida nas câmaras superiores dos cilindros hidráulicos e posterior comparação com a carga que está pedida. O ajuste de carga é realizado de kN em kN e portanto caso a carga lida seja inferior à pedida aumenta-se 1kN à referência do programa que fará uma descida do pneu até encontrar esse valor, por exemplo (Figura 4-33). A repetição deste passo irá lentamente fazer com que o valor de carga exigido corresponda ao valor de carga real.

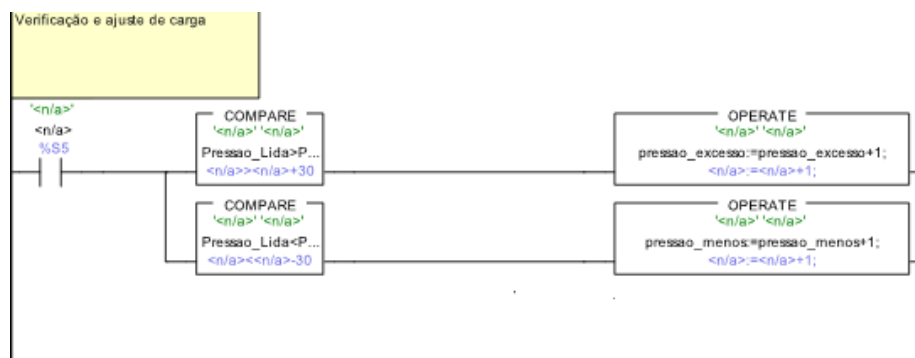


Figura 4-33 - Comparação do valor de carga real com o exigido e ajuste da referência

4.5.5 Movimento *Wander*

Nesta secção passa-se a descrever o Movimento Lateral do Pneu baptizado como movimento *wander* do pneu.

Identificação de Movimento

Tal como no movimento de carga vertical foi programada uma função para se detectar a ocorrência de mudanças de posição no eixo horizontal do pneu.

O objectivo é poder identificar avarias, tais como, fugas de óleo, falhas na actuação das válvulas ou informar o operador sobre o decorrer das actividades, nomeadamente sobre a execução de uma ordem.

Através de duas medições de posição efetuadas em instantes ligeiramente diferentes é possível reconhecer se houve movimento neste eixo. Seguidamente, mediante a tolerância estabelecida, existe uma avaliação e, em caso de diferença de posição suficientemente elevada, uma variável booleana é ativada (Mov_Wander_Parado, Figura 4-34).

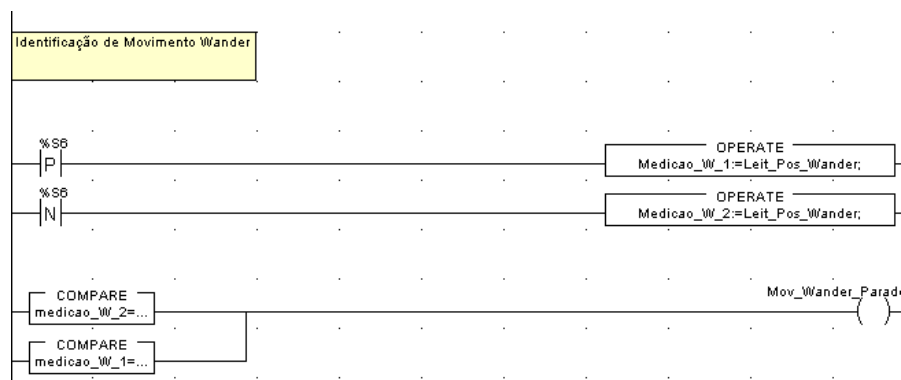


Figura 4-34 - Identificação de movimento *wander*

O sistema para a identificação de falhas é, de resto, semelhante ao utilizado no movimento vertical do pneu (Figura 4-35).

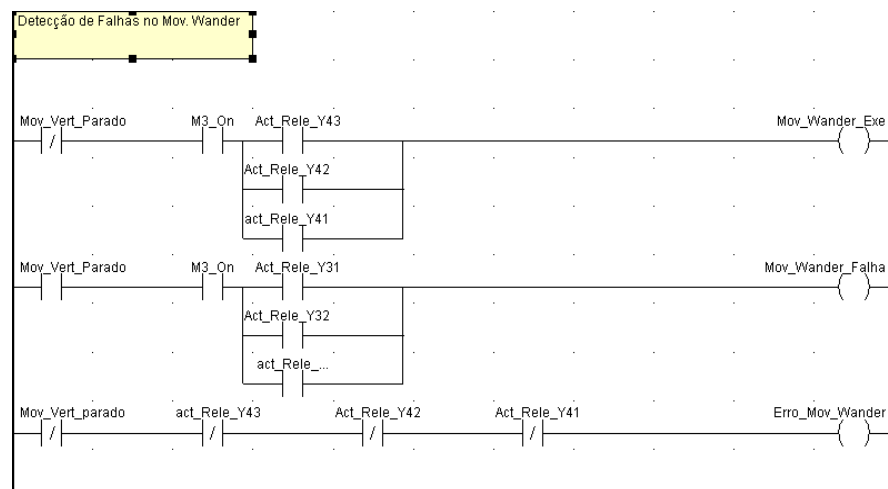


Figura 4-35 - Detecção de falhas no movimento wander

Controlo em Posição

Neste movimento o controlo é efectuado por posição. Através de um clique, o operador pode incrementar ou diminuir a posição do pneu, sendo portanto, a mudança realizada por passos de tamanho definido.

No entanto, tal como foi referido na secção do movimento de carga vertical, este interfere diretamente com o movimento em análise. Assim, quando o operador pede uma mudança de posição horizontal, se o pneu não estiver na LMS, o bloco do movimento *wander* ativa uma variável binária para pedir a subida do pneumático (Exe_Subida_Pneu). Logo que se tenha atingido o LMS outra variável, desta feita, atuada no bloco do movimento vertical autoriza o início do movimento wander (Mov_Wander_Seguro, Figura 4-36).

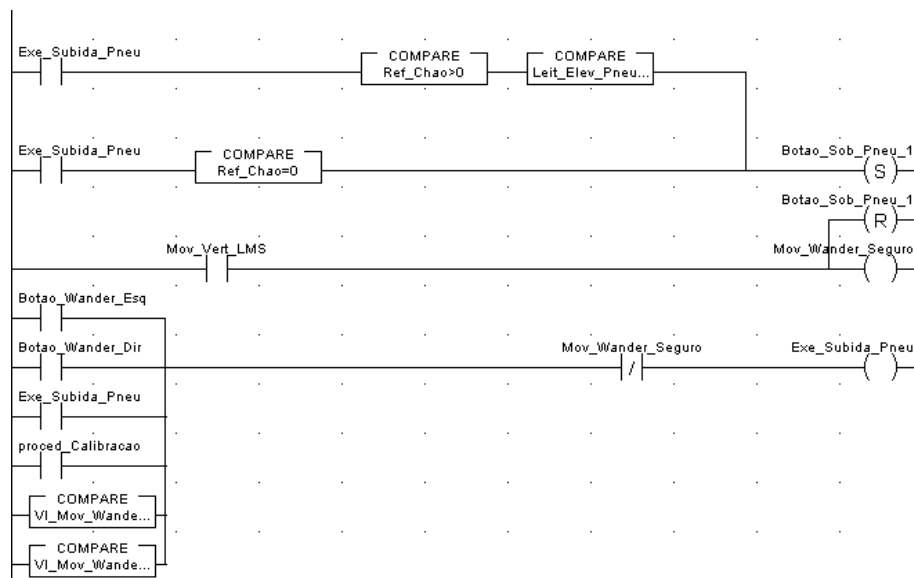


Figura 4-36 - Pedido de execução de movimento de carga vertical até à posição segura

Quando a posição atingida é a requerida, novamente através de uma variável booleana (Pos_Wander_Ok) que servirá para comunicar com o SCADA, e o movimento vertical fica outra vez autorizado a ajustar a carga sobre o pneu através da variável (Autoriz_mov_Vert, Figura 4-37).

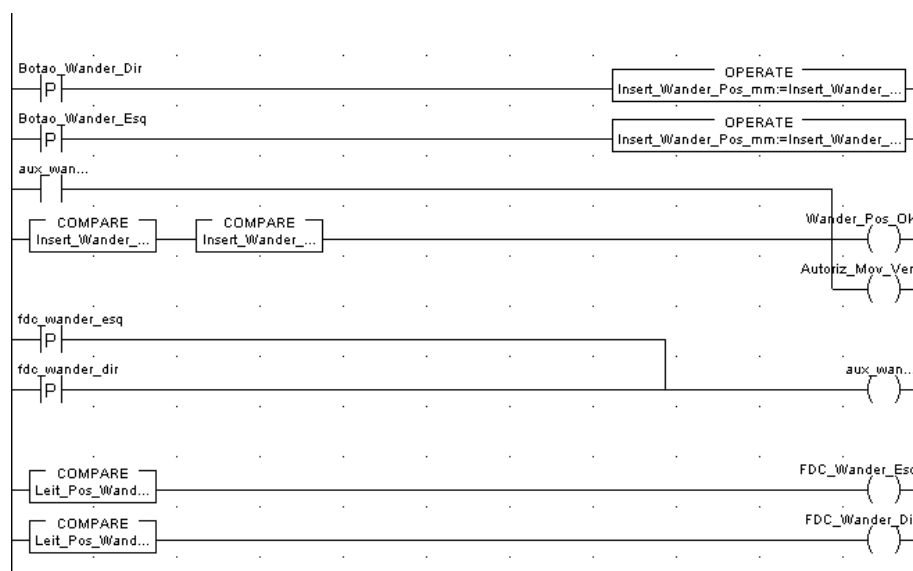


Figura 4-37 - Autorização do movimento de carga vertical e sinalização de movimento wander cumprido

Por fim, é de referir que foram introduzidos fins-de-curso virtuais pois os físicos permitem que os *grasseures* da lubrificação dos rolamentos do pneu embatem na estrutura do veículo de simulação.

Procedimento de Calibração

Foi criada uma rotina automática para realização da calibração dos cilindros do movimento *wander*, que apenas poderá ser autorizada por um técnico especializado (que possa aceder ao modo Manutenção) e através dos movimentos realizados permite calibrar os dois cilindros do movimento em análise nesta secção (Figura 4-38).

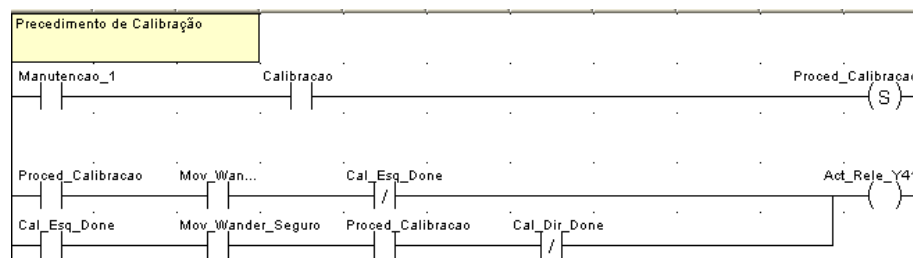


Figura 4-38 - Início do procedimento de calibração

A rotina consiste na deslocação do pneu até ao limite físico esquerdo. Seguidamente continua a exercer-se pressão sobre esse extremo durante três segundos. Posteriormente, realiza-se o mesmo movimento mas, desta feita, para o lado direito. A tarefa acaba com o regresso do pneu à posição de origem (Figura 4-39). Tudo isto com a válvula que permite a ligação da linha da pressão diretamente às câmaras dos cilindros atuada (Y41).

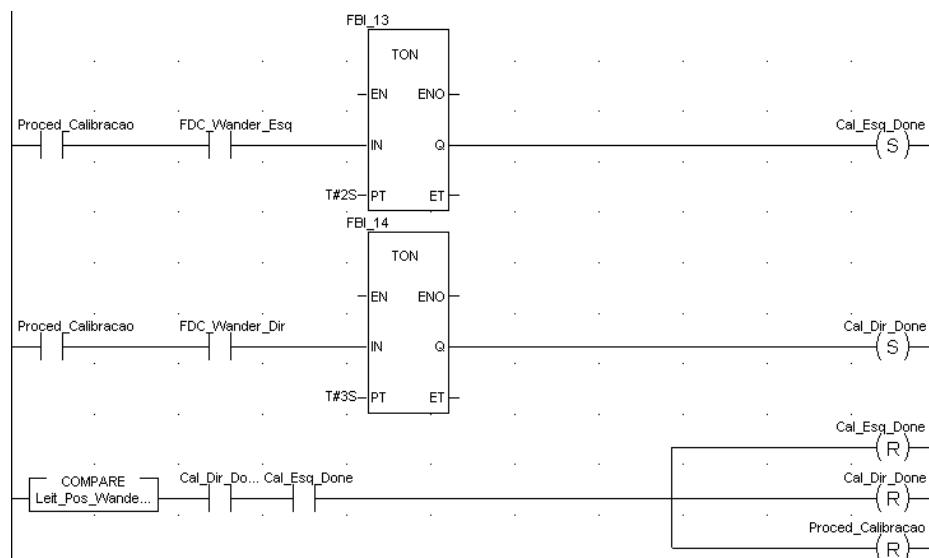


Figura 4-39 - Movimento do pneu ao extremo esquerdo e direito

4.5.6 Movimento de Carrilamento

Este bloco controla o movimento de subida e descida das rodas que corresponde, respectivamente, ao descarrilamento e carrilamento do veículo de simulação da pista.

Qualquer movimento efetuado é realizado por trem, isto é, por par de rodas. Assim, o utilizador pode escolher descer ou subir o par de rodas dianteiro ou traseiro. Por causa das válvulas de retenção, mesmo depois de os dois fins-de-curso estarem atuados a válvula continuará na mesma posição durante três segundos para garantir que alguma perda de óleo não faça desatuar os sensores dos cilindros (Figura 4-40).

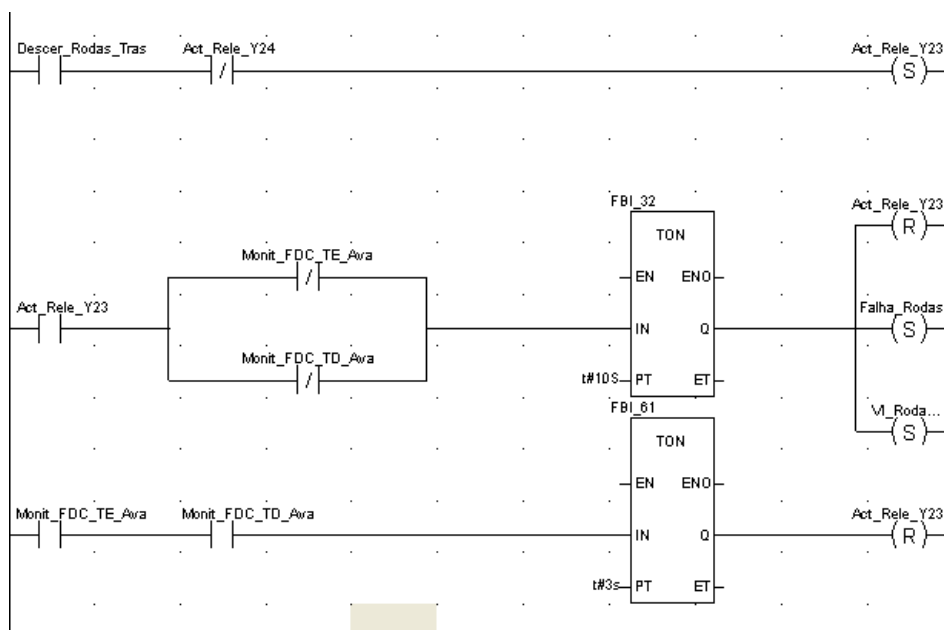


Figura 4-40 - Descida das rodas de trás

No entanto, como são duas rodas que devem ser actuadas e portanto são dois sensores em funcionamento, um deles pode naturalmente avariar o que provocaria que uma roda fosse detetada na posição correta e outra não. Isto faria com que o programa ficasse numa situação de impasse (Figura 4-41).

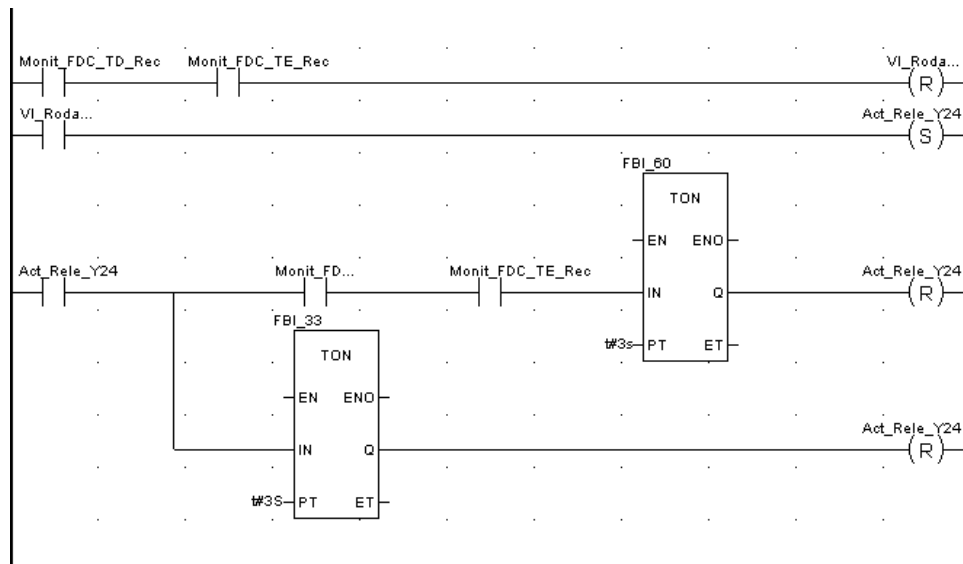


Figura 4-41 - Inversão da ordem de comando em caso de falha no movimento

No sentido de solucionar esta questão quer para o trem dianteiro quer para o traseiro foi programada uma função que dá um limite temporal de 10s para as duas rodas irem para posição de comando. Caso isso não aconteça inverte a ordem para voltar à posição anterior (com o mesmo prazo de 10s) e assinala uma avaria (Figura 4-41).

4.5.7 Leituras

O bloco de Leituras tem por missão recolher as informações de transdutores e *encoders* e prepará-los para que possam ser percebidos pela programação realizada.

Nos seguintes parágrafos descrevem-se as funções presentes neste bloco.

Leitura do valor dos *Encoders*

O período de aceleração é o mais preocupante para efeitos de leitura de posição, velocidade ou aceleração devido à possibilidade de ocorrência de derrapagens. Para diminuir a probabilidade de ocorrência deste facto, apenas se aproveita a leitura do *encoder* que enviar o menor valor de impulsos contados.

Assim, neste bloco, grava-se em intervalos de 500ms (variável “%s6”, Figura 4-42) o valor absoluto da leitura de todos os *encoders* para um vetor. Depois, através da função *MIN_ARDINT* da biblioteca do Unity, o programa escolhe o menor (Figura 4-42).

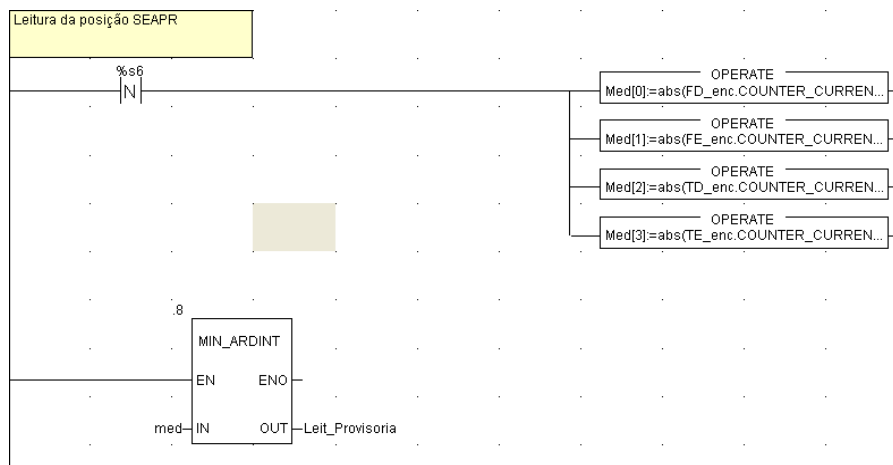


Figura 4-42 - Medição dos valores dos *encoders* e escolha do mais pequeno

Seguidamente identifica-se o índice através da comparação das medições com grandeza desse vector para que o seu valor seja usado em todos os cálculos a desenvolver (Figura 4-43).

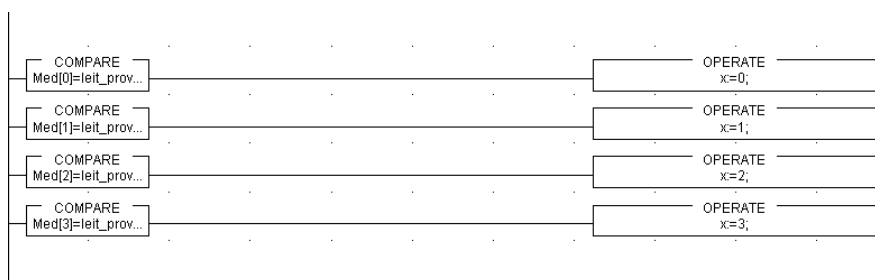


Figura 4-43 - Identificação do índice do vetor que foi escolhido para os cálculos

No caso da posição apenas é necessário multiplicar o valor dos impulsos pela resolução da medição da unidade em que se pretende o resultado final. Neste caso foi em milímetros (Figura 4-44).

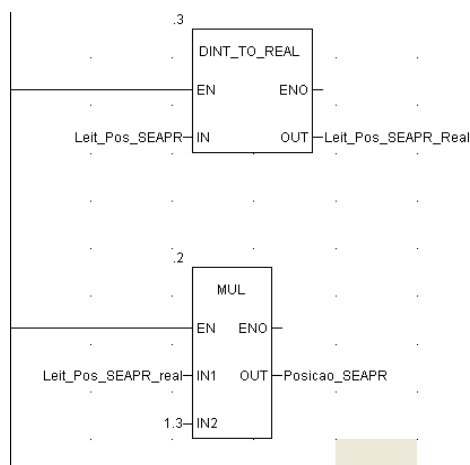


Figura 4-44 - Identificação do valor da posição em milímetros

Para obter a velocidade é necessário efectuar outra medição que é desfasada em 500ms da primeira utilizada para a medição da posição. Com essa medida retira-se outro valor da posição e como se sabe o tempo decorrido entre medições basta subtrair o segundo valor de posição ao primeiro (bloco “SUB”) e dividir a diferença pelo tempo decorrido (bloco “DIV”). Obtém-se, assim, a derivada da posição, isto é, a velocidade (Figura 4-45).

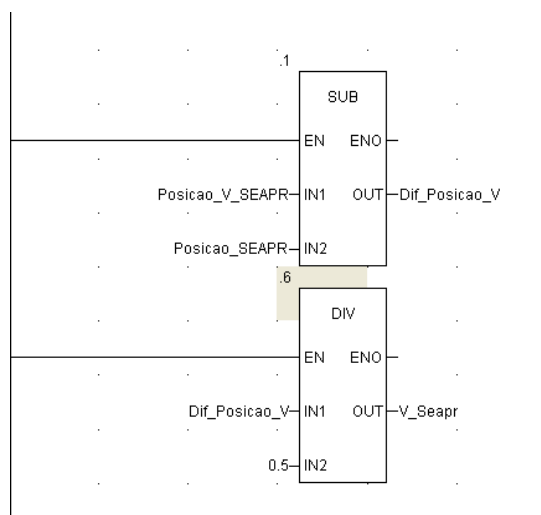


Figura 4-45 - Realização da derivada da posição (velocidade)

4.5.8 Escritas

O bloco de escritas foi criado para gerar valores que posteriormente serão mostrados ao operador. Isto porque as unidades em que o programa trabalha para controlar os processos não podem, de modo algum, ser as mesmas que o utilizador vê. Para que o controlo seja realizado de modo correto é de salutar que as unidades com que o sistema trabalha sejam, no mínimo, dez vezes menores que as que o operador verá no ecrã.

Posição do Wander

Através da configuração referida na estrutura de comando, cada 6 unidades do programa correspondem a uma décima de milímetro. Assim, o valor lido em unidades de programa é dividido por 6 e seguidamente é transformado em milímetros para poder ser apresentado ao utilizador (Figura 4-46).

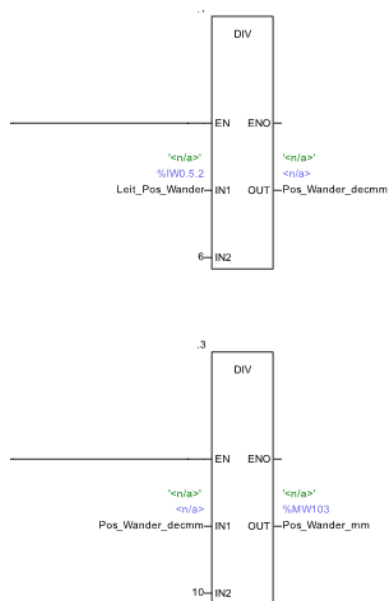


Figura 4-46 - Configuração da carta de entradas digitais do transdutor do movimento *wander*

Posição Vertical

No caso da posição vertical do pneu de ensaio, a configuração escolhida faz com que 20 unidades do programa correspondam a 1 décima de milímetro (Figura 4-47).

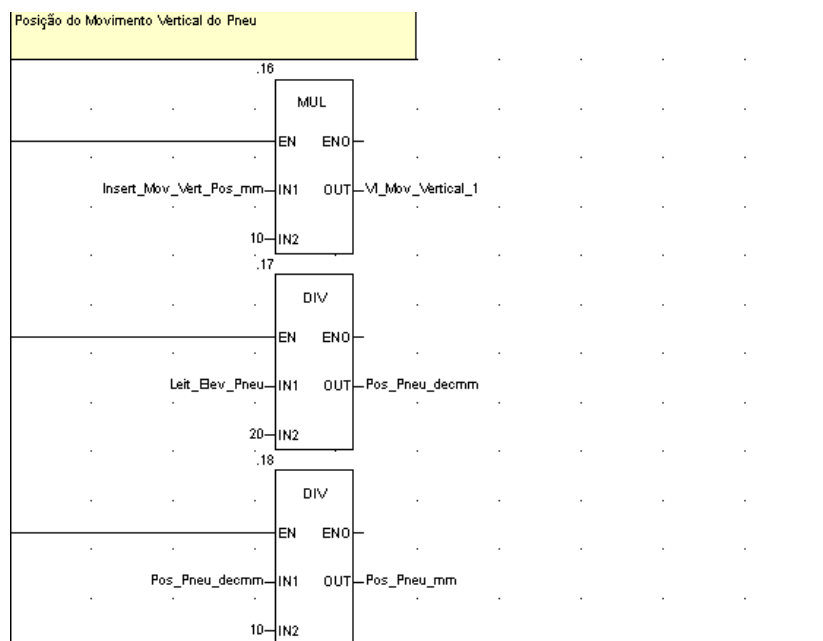


Figura 4-47 - Leitura da posição vertical do pneu em milímetros

O valor da posição vertical do pneu é posteriormente transformado em milímetros para que seja mais facilmente compreendido pelo utilizador.

Carga Aplicada ao Piso

Para cálculo da carga aplicada ao solo são usados os mesmos blocos que foram usados na posição vertical, sendo que desta feita um 1 bar corresponde a 120 unidades do programa. A transformação desse valor em pressão é feito através da multiplicação do valor de pressão lido pela área do cilindro. O valor final é apresentado em kN.

Formação de Memory Words para transferência com o SCADA

As licenças do programa Vijeo Citect da Schneider que vai ser utilizado neste projeto para construção do sistema SCADA têm um limite máximo de variáveis que o programa pode ler ao autômato. No caso da licença a em uso será de 150 variáveis. Assim, num futuro próximo, com o avançar do projeto poderia esgotar-se a possibilidade de importar mais informações do PLC.

Para ultrapassar este problema, podem converter-se dezasseis variáveis binárias numa Word e dar-lhe um endereço de memória para que o SCADA possa recolher a informação “compactada” (Figura 4-48).

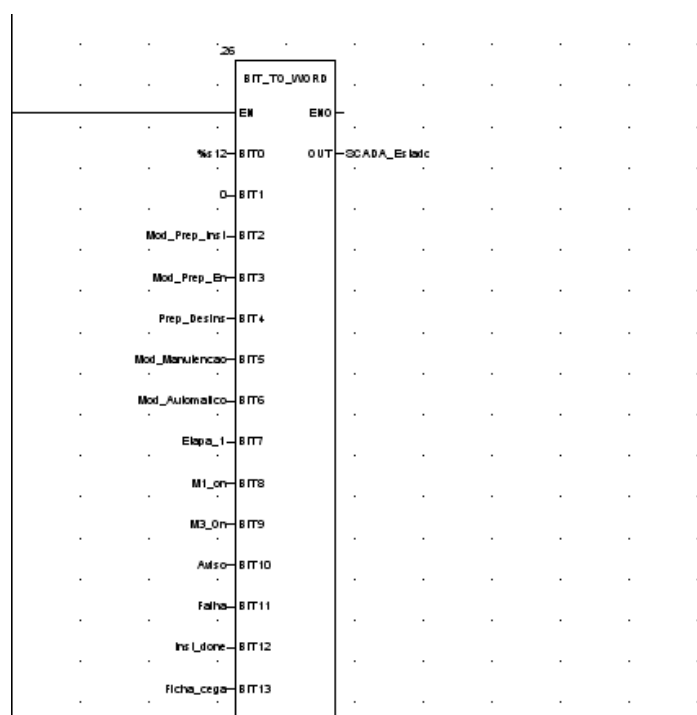


Figura 4-48 - Bloco de Transformação de 16 bits numa word

Portanto, usou-se o bloco *Bit_to_Word* da biblioteca do Unity para fazer a transformação de um conjunto de bits para uma *word* e seguidamente o bloco *Word_to_Int*

pois as *Memory Words* das posições de memória do autômato são definidas como inteiros (Figura 4-49).

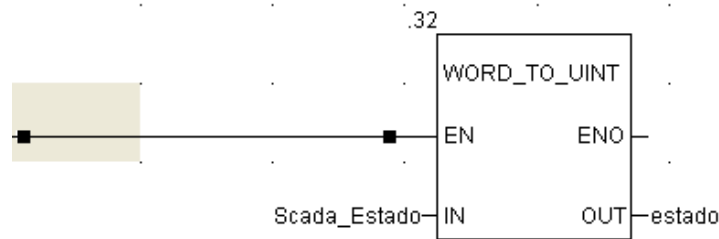


Figura 4-49 - Bloco de transformação de uma *word* para um *Unsigned Integer*

Porém, uma *Word* pode tomar o valor de 65536 unidades enquanto um inteiro toma valores de -32768 a 32768. Poderia, então, formar-se uma situação de *overflow* que iria comprometer a transferência de informação.

A solução foi, na memory word, mudar o tipo de variável de *integer* (INT) para *unsigned integer* (UINT). Esta última retira a possibilidade de números negativos e tem os mesmos limites que uma *Word*.

4.6 Blocos Sequenciais

Qualquer movimento efectuado pelo veículo de simulação quando este não se encontrar em modo de operação automático tem de ser validado por um operador que está perto do veículo de simulação através de uma consola de operador.

Um pedido de movimento vindo do posto de comando terá 10s para ser aceite (botão verde, Figura 4-50) pelo operador na sua consola. Caso isto não aconteça a ordem não será efetuada e será eliminada.

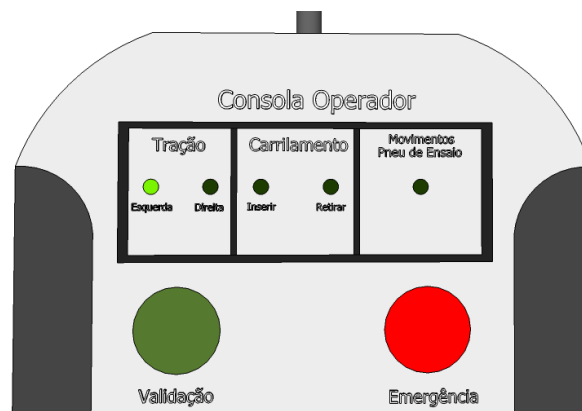


Figura 4-50 - Esboço da consola de operador a usar no SEAPR

Os “blocos de sequências” partem de uma base comum para escolha do modo em que o sistema deve funcionar.

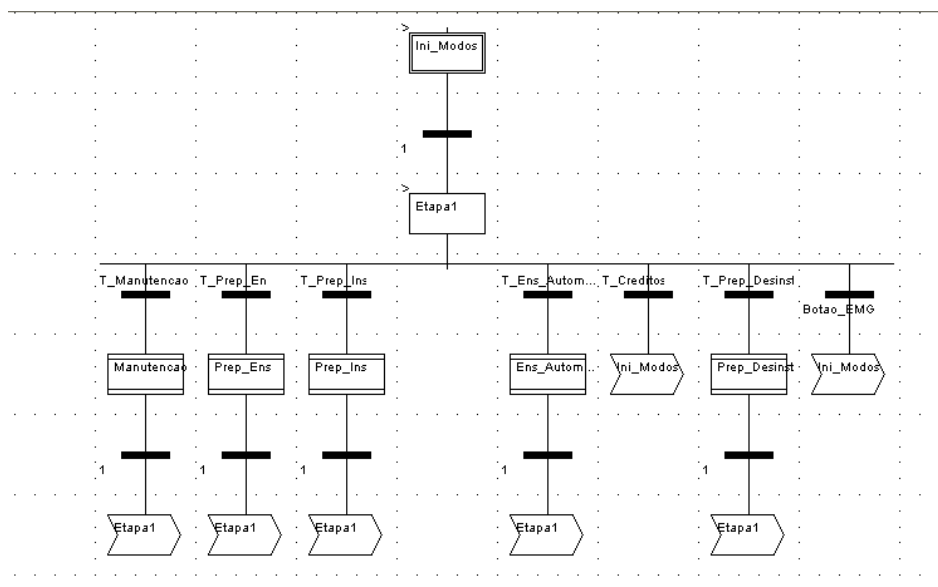


Figura 4-51 - Grafcet de início para escolha do modo em que o sistema deve funcionar

4.6.1 Preparação para Instalação

O modo de Preparação para Instalação foi criado com o objectivo de permitir ao operador efetuar a correta inserção do veículo de simulação numa pista.

Este modo de funcionamento é ativado automaticamente sempre que a máquina não está instalada e quando está ativa a consola do operador assim como a alimentação por cabo. Estando a consola em funcionamento, todas as ordens vindas do posto de comando têm de ser primeiramente validadas pelo operador da consola e só posteriormente poderão ser executadas.

A Instalação do SEAPR diz-se concluída quando o veículo estiver carrilado às quatro rodas e apenas depois da alimentação por calha estar conetada e em utilização, isto é, a alimentação por cabo não poderá estar ativa. Uma vez a Instalação finalizada, uma variável do autómato assinala esse efeito, passando a zero logo que seja realizada a desinstalação. Assim, o sistema tem sempre a referência do estado do SEAPR relativamente à pista.

Como existem duas pistas (A e B) e a linha de alimentação por calha está sempre do lado da parede por questões de segurança, o programa tem sempre de ser informado de qual é a pista em que se vai realizar a instalação (Figura 4-52). Isto porque se na pista A a linha de alimentação por calha está do lado esquerdo e o SEAPR entra nos carris com a frente em

primeiro lugar, na pista B a calha está do lado direito e o veículo entra inicialmente com a traseira. Ao haver indicação sobre a pista o programa, automaticamente, adapta a noção de frente e traseira à realidade.

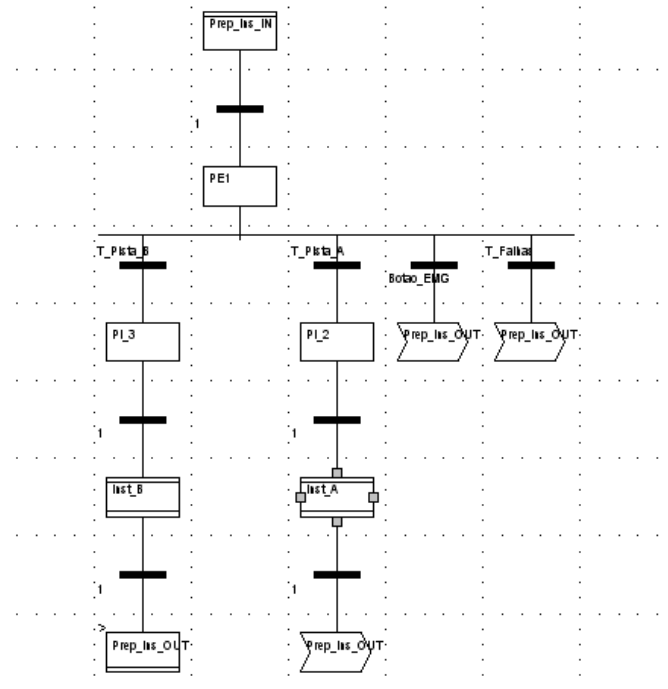


Figura 4-52 - Grafcet do Modo de Preparação para Instalação - escolha da pista

Para que o processo de instalação persiga sempre de forma correta tanto as escolhas em termos de movimentos como em opções dentro destes foram limitadas. Somente está disponível o movimento de tracção e de Carrilamento. A primeira operação permitida é, imperativamente, o Carrilamento das rodas da frente ou traseira conforme a pista. Antes de esta estar concluída, mais nenhuma operação poderá ser efetuada. Seguidamente surge a possibilidade de realizar o movimento de tração e de terminar o Carrilamento de todas as rodas.

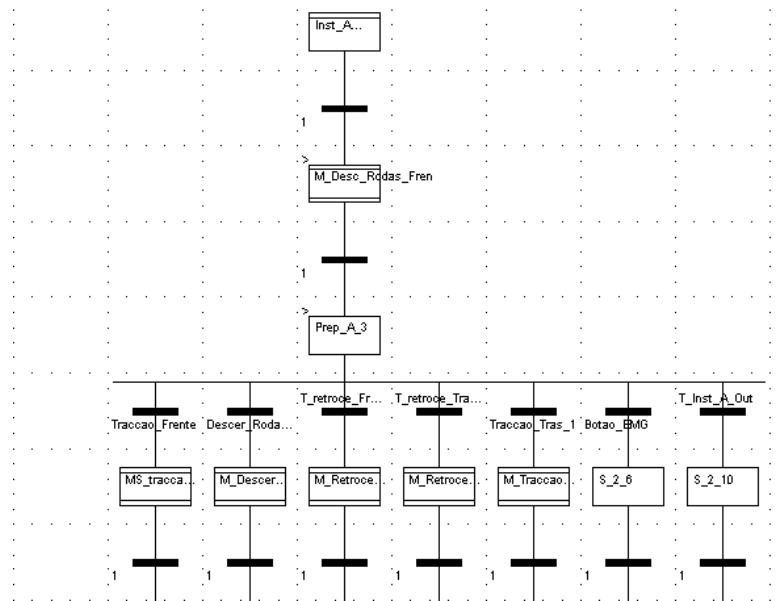


Figura 4-53 – Primeira parte do Grafcet de Preparação da Instalação para a pista A

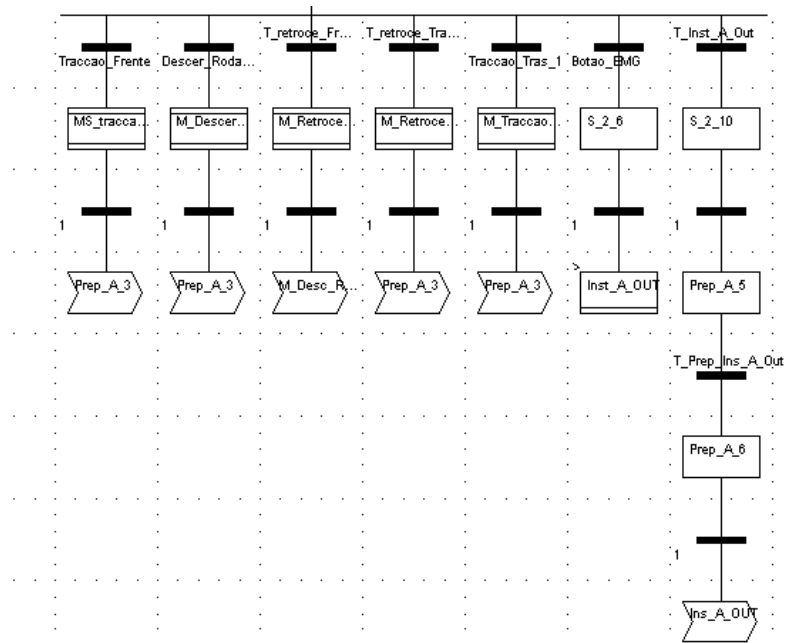


Figura 4-54 - Segunda parte do Grafcet da Preparação para Instalação na pista A

Dando-se por terminada a instalação (carrilamento efetuado e alimentação realizada por calha), o modo é automaticamente abandonado e o modo de Preparação para Ensaio é iniciado.

4.6.2 Preparação para Desinstalação

Este modo foi desenvolvido para permitir retirar o veículo de simulação da pista em que está inserido.

A Preparação para Desinstalação aparece automaticamente sempre que o sistema detete que o veículo já está instalado numa pista e que tanto a consola do operador como a alimentação por cabo esteja ativa. Portanto, mais uma vez, todas as ordens vindas do posto de comando terão de ser validadas na consola para serem cumpridas.

O primeiro movimento passível de ser efectuado neste modo está implícito, isto é, não é o operador que do posto de comando o pede. Sempre que se inicia uma desinstalação o programa vai realizar, com a autorização do operador da consola, a subida do pneu de ensaio até ao limite superior físico (LMS). Assim se garante que na próxima instalação o pneu está na posição mais elevada não havendo qualquer perigo de estar a tocar no chão e dificultar ou até impossibilitar as manobras.

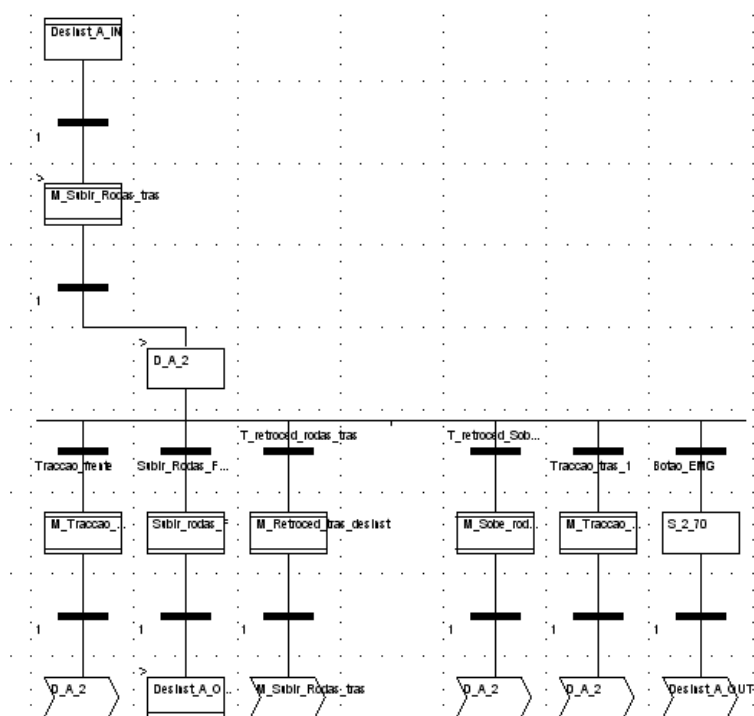


Figura 4-55 - Gracnet da Preparação da Desinstalação na pista A

Apenas os movimentos de tracção e carrilamento (descarrilamento) estão disponíveis e estão restritos à sequência que se passa a descrever.

Depois de efectuada a subida do pneu o sistema ficará à espera que seja descarrilado o trem que irá sair em primeiro lugar dos carris. Seguidamente surge a possibilidade de realizar tracção ou efectuar o descarrilamento ao outro trem.

O processo fica concluído quando todas as rodas estejam descarriladas. Nesse instante, a variável que assinala a instalação passa a zero e a referência da pista é eliminada. Caso o

sistema de fichas e a forma de alimentação continue o mesmo que deu origem a este modo, o sistema passará automaticamente para a Preparação para Instalação.

4.6.3 Preparação para Ensaio

A Preparação para Ensaio pretende dar a possibilidade de o operador realizar alguns testes manuais à máquina.

Este modo entra em funcionamento automaticamente sempre que a instalação esteja acabada, a consola do operador ativa e a alimentação esteja a ser fornecida através da calha. Novamente é de referir que todas as ordens vindas do posto de controlo têm de ser validadas pela consola antes de serem executadas.

Uma vez realizada a instalação, e antes de começar um ensaio automático, é importante realizar alguns movimentos com o objectivo de fazer uma primeira triagem de problemas do sistema ou até do piso. Como estas avaliações são executadas por pessoas que estarão perto do veículo de simulação há um risco acrescido de acidentes. Assim, foram colocadas restrições em termos de carga máxima, velocidade máxima e posição limite. Nos primeiros dois pontos os valores limite são de 2kN (2% do valor máximo) e 2km/h (10% da velocidade máxima). Em termos de posição foi decidido que neste modo o veículo não poderia entrar no trecho de ensaio, isto porque, atendendo a que a consola do operador está conetada qualquer movimento da máquina terá de ser acompanhado pelo operador. Portanto a distância máxima que o SEAPR pode percorrer tem de ser limitada.

Os movimentos disponíveis são os de tração (apenas limitado na velocidade máxima), movimento *wander* e o movimento de carga vertical. Estes são os que vão ser utilizados durante um ensaio, por isso, devem ser testados nesta fase. O movimento de carrilamento não pode ser utilizado pois, este não é necessário para qualquer outra operação que não seja instalação/desinstalação e, portanto, esta não deve ocorrer nesta área da pista.

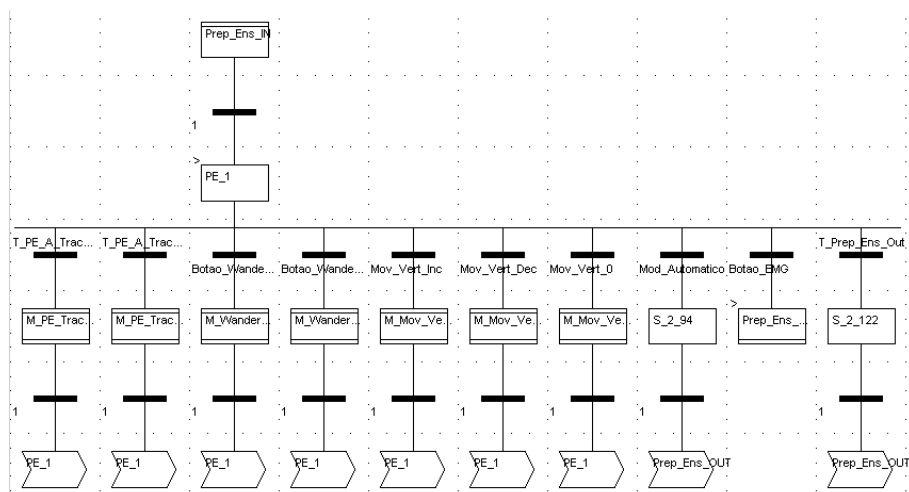


Figura 4-56 - *Grafet* da Preparação para Ensaio

Resumo do Capítulo

Este capítulo permitiu ao leitor aperceber-se das potencialidades do PLC Modicon M340 e do seu software Unity Pro S.

Foi introduzida a diferença entre rotinas Combinacionais que actuam directamente sobre o *Hardware* e são realizadas em linguagem *Ladder* e as Sequenciais que são movimentos consecutivos executados em linguagem *Grafet* ou SFC.

Por fim foi apresentado o conteúdo de todos os blocos de programação criados para o autómato em causa.

5 Programação do Sistema SCADA

Neste capítulo é apresentado todo o trabalho realizado no software Vijeo Citect para a construção de um sistema SCADA.

Depois de uma pequena apresentação do Vijeo Citect são introduzidas todas as configurações que foram efectuadas para configurar o funcionamento do sistema.

Posteriormente é dada a conhecer a configuração gráfica utilizada para interface com o utilizador e o modo de funcionamento pensado para a supervisão.

Por fim são explicadas algumas funções Cicode que foram criadas como base do sistema.

5.1 Vijeo Citect

Este programa apresenta-se como uma ferramenta poderosa na medida em que permite uma grande liberdade na construção de *software* e grafismos para estes se tornarem agradáveis para o utilizador, dispondo de funcionalidades importantes, tais como:

- Visualização de animações simulando estados de operação ou a performance dos equipamentos;
- Permissão ao operador do controlo local ou centralizado do sistema a operar com ferramentas gráficas amigáveis;
- Desenvolvimento de vários níveis de segurança que controlam o acesso ao sistema de acordo com grupo funcional (cluster) em que o utilizador está inserido;
- Permissão de visualização de linhas de tendência através de variáveis com evolução actualizada (Vijeo Citect Documentation).

O Vijeo Citect apresenta-se dividido em três partes:

- “editor de projeto”;
- “explorador de projeto”;
- “construtor de gráficos”.

O primeiro permite o acesso às variáveis locais e às externas (autômato) assim como dá acesso a uma ferramenta de verificação de erros (compiler). Todas as operações de criação de alarmes, eventos, utilizadores, etc., são realizadas nesta parte (Figura 5-1).

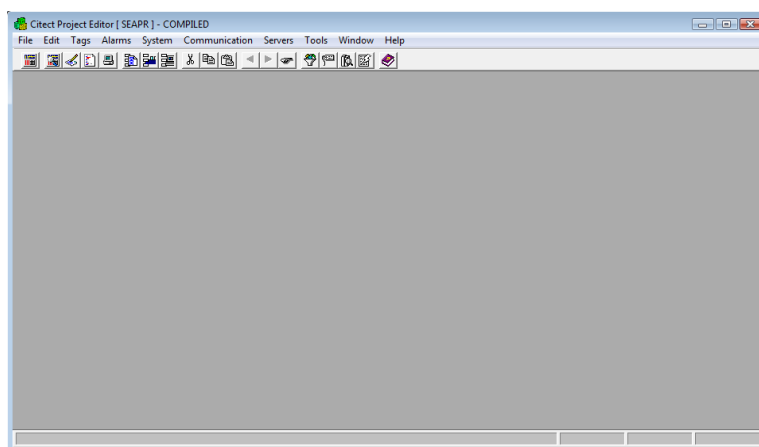


Figura 5-1 - “Editor de Projeto” do Vijeo Citect

O “explorador de projeto” facilita a geração de novas páginas de utilizador e *templates* usados para a construção das mesmas. É também aqui que podem ser criadas funções em linguagens Cicode ou Visual Basic (Figura 5-2).

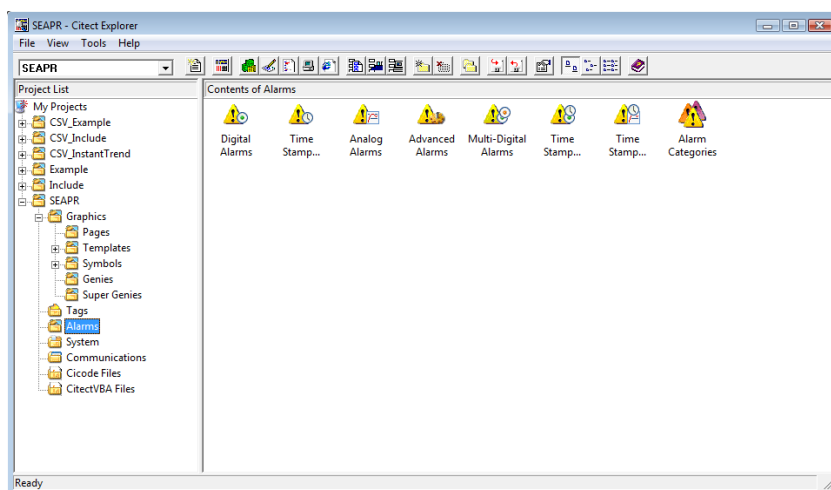


Figura 5-2 – “Explorador do Projeto” do Vijeo Citect

Por fim resta introduzir o “construtor de gráficos”. Este tem como ponto de partida uma janela base que pode ser alterada através de um conjunto de ferramentas gráficas para gerar um ambiente agradável e funcional para o utilizador (Figura 5-3).

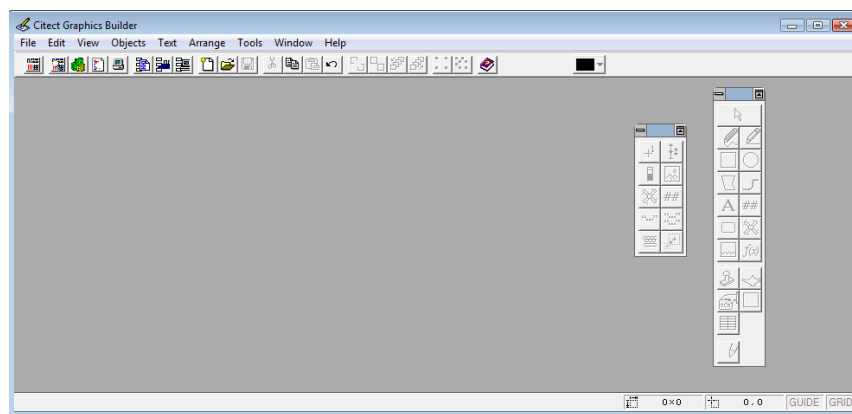


Figura 5-3 – “Construtor de gráficos” do Vijeo Citect

5.2 Programação do SCADA

A construção do sistema de supervisão pressupõe que a ligação entre o PLC e o *software* SCADA esteja corretamente efectuada tendo sido efectuadas algumas configurações, principalmente a nível da comunicação.

5.2.1 Configurações

O Vijeo Citect pode dividir um sistema a controlar em vários outros mais pequenos aos quais se dá o nome de *clusters*. No caso deste simulador foi criado um *cluster* com o nome SEAPR (Figura 5-4).

A ligação entre o computador e o autómato é efectuada por rede *wireless* através de um servidor DHCP (*Dinamic Host Configuration Protocol*). Este gera endereços de IP (*Internet Protocol*) variáveis que são atribuídos ao computador.

O Vijeo Citect pode estar instalado num computador, mas estar a criar alarmes ou relatórios, por exemplo, noutros. Portanto, foi necessário definir o endereço do computador com o qual o *software* devia interagir.

No caso do SEAPR apenas será usado um computador. No entanto, como o seu IP está sempre a variar pelas razões apresentadas no parágrafo anterior, este foi definido como 127.0.0.1 que é o endereço que indica que apenas deve trabalhar com o computador em que está instalado (Local Host) (Figura 5-4).

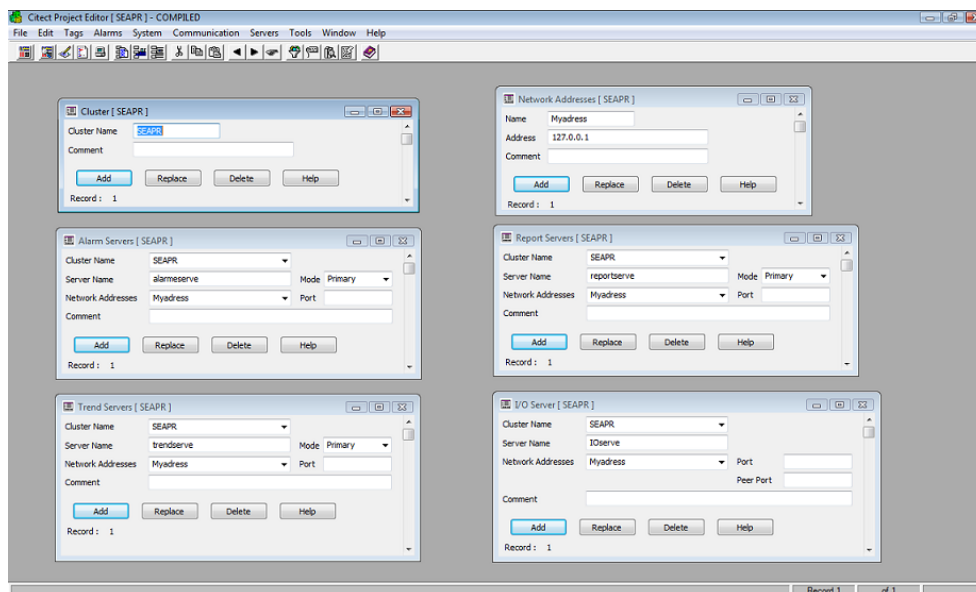


Figura 5-4 - Setup de servidores do software Vijeo Citect

Os servidores de alarmes, relatórios, etc., podem ser primários ou *standby*. Os primeiros estão sempre a ser usados enquanto os outros só entram em funcionamento se houver falhas nos primários.

A configuração das comunicações entre o Vijeo Citect e o Modicon M340 foi feita a partir do *wizard* do software SCADA. Foi criado o dispositivo M340 cuja *drive* de Ethernet é a MODNET30 (Figura 5-5).

Apesar de não estar a ser usada nenhuma carta de aquisição, foi necessário definir uma carta do tipo TCP IP.

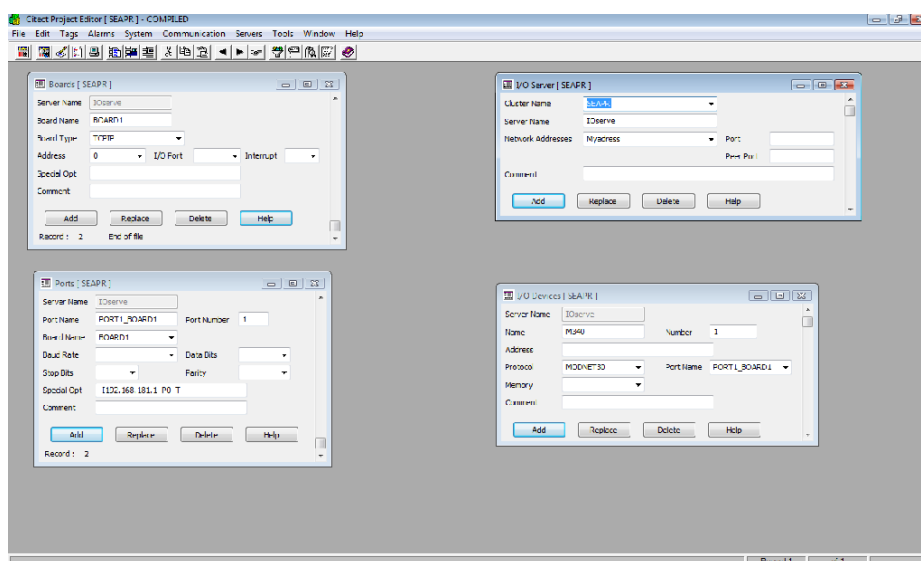


Figura 5-5 - Configuração das comunicações entre o Vijeo Citect e o Modicon M340

5.2.2 Construção do Sistema SCADA

Após a realização das configurações essenciais à comunicação entre o Modicon e o SCADA, este terá de interpretar os sinais que lhe chegam assim como, enviar ordens de comando de forma estruturada.

Como foi referido no capítulo da Programação do PLC, as informações que vêm do autómato chegam em conjuntos de bit compilados em *Memory Words* (MW). Cabe ao SCADA transformar as MW novamente em bits para que possam ser interpretados e realizar o processo inverso nas variáveis que pretende que sejam lidas pelo PLC.

Para tal foi criada uma função em linguagem Cicode que extrai os Bits do *Unsigned Integer* fornecido pela MW através do resto de sucessivas divisões por dois e multiplica os bits pela potência de base dois correspondente à posição do Bit na MW para fazer leitura ou envio de variáveis, respectivamente (fig. 5-6).

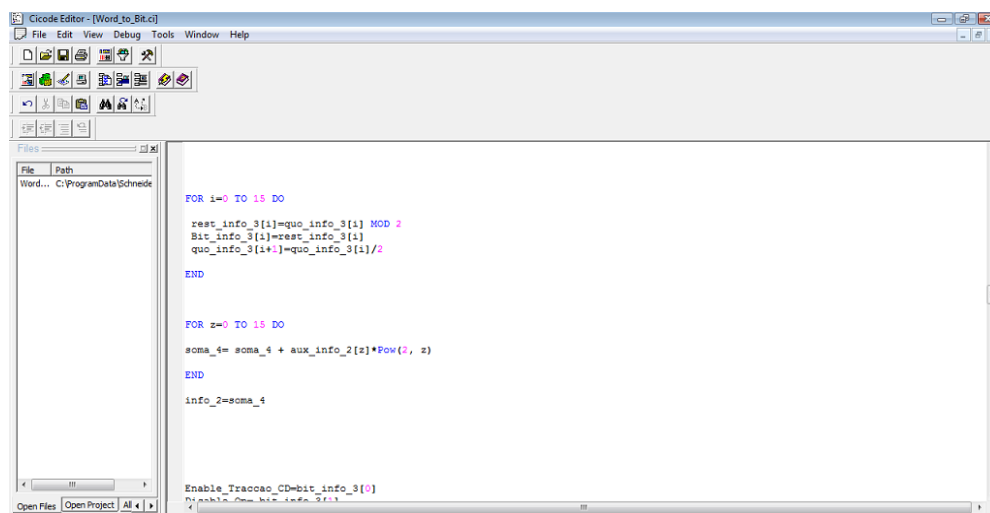


Figura 5-6 - Extrato do programa de transformação de words em bits e vice-versa

Posteriormente, construíram-se dois templates para serem usados como base de todas as páginas do programa. Como o Vijeo Citect possui uma vasta gama de exemplos de páginas disponíveis, foi rápido criar os novos *templates* e algumas funcionalidades como o controlo de acesso ao sistema (login). Este permite criação de vários utilizadores com diferentes graus de autonomia no sistema.

Uma vez que o SEAPR é uma criação portuguesa e deverá ser usado no mesmo país, através da opção *Data Folder* do menu *View* da janela do “Explorador do projecto” acedeu-se ao ficheiro que continha todas as palavras usadas pelo SCADA nos seus menus. Assim, pode

traduzir-se na mesma pasta o vocabulário de Inglês para Português e ter toda a aplicação a correr na língua do utilizador.

A navegação entre páginas é feita de modo repartido. O SCADA, através da leitura das variáveis do autómato, encaminha o operador para a página mais indicada tendo este de confirmar a operação. No entanto, foi criada uma barra no topo de qualquer janela que possibilita a transição para outra (Figura 5-7).



Figura 5-7 - Janela de abertura com especial enfoque para a navegação entre páginas

A transição automática de página é realizada por eventos. Estes são condições (trigger), testadas num certo período de tempo ou em contínuo (se o evento for global), que caso sejam verdadeiras desencadeiam acções, que aqui se traduz na mudança de página (Figura 5-8).

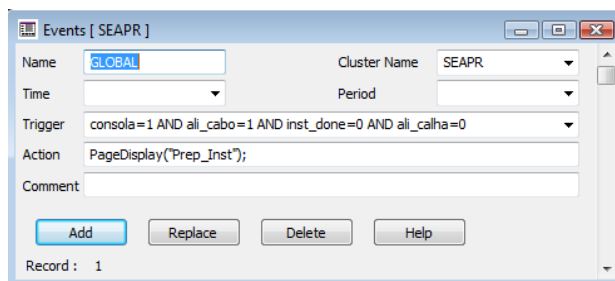


Figura 5-8 - Exemplo do evento de abertura da página de Preparação para Instalação

Para a construção das restantes páginas tentou-se que a arrumação das diferentes funcionalidades estivesse organizada de modo a ser sempre encontrada na mesma área.

Assim, as páginas encontram-se divididas em quatro partes:

- Pista;
- Informações sobre o SEAPR;
- Comando;
- Avisos e Alarmes do sistema.

A página de “Preparação para Instalação” é em tudo igual à de “Preparação para Desinstalação”. A única diferença é que a primeira apresenta outra janela de abertura automática que permite escolher a pista em que se vai instalar o simulador e oferece a possibilidade de, posteriormente, alterar essa opção.

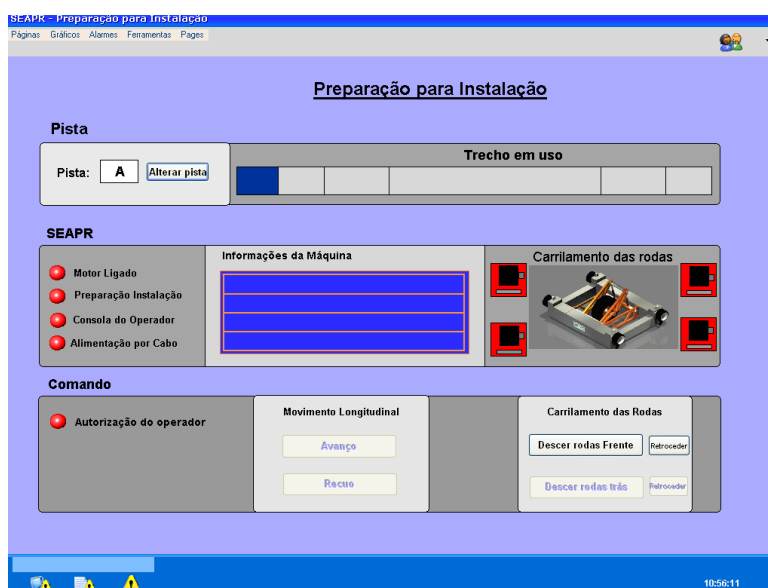


Figura 5-9 - Página usada para realizar a Instalação

Na secção “Pista” é possível ver a pista escolhida (também alterar no caso da “Preparação para Instalação”) e verificar em que trecho do pavimento se encontra a máquina por diferença cromática em relação às restantes partes.

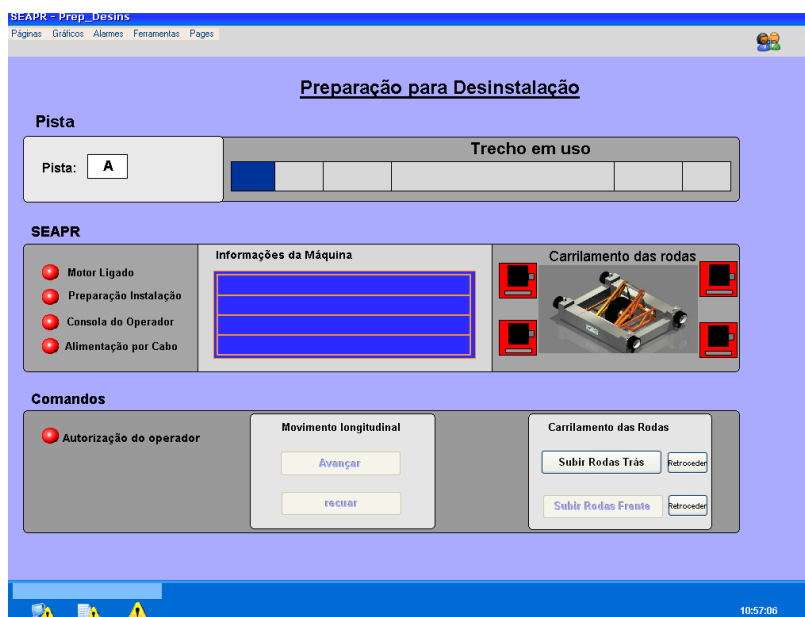


Figura 5-10 - Página utilizada para realizar a Desinstalação

Na secção de “Comando” é possível verificar se está algum motor em funcionamento, visualizar a situação de carrilamento das rodas e receber informações sobre as acções que estão a decorrer.

Na parte de Comando pode observar-se se o operador da consola já deu aval ou se existe alguma ordem em espera. O movimento de tracção está disponível desde que pelo menos um trem de rodas esteja carrilado e pode fazer-se o carrilamento das rodas ou descarrilamento (conforme for instalação ou desinstalação). O botão *Retroceder* permite revogar a ação anterior. As operações com as rodas são realizadas com sequências bem definidas, estando os botões indisponíveis quando não podem ser actuados.

Na página de Preparação para Ensaio a secção Pista não sofre qualquer alteração.

A parte de informação sobre a máquina, SEAPR, aparece, agora, dividida em quatro fracções. Três dedicadas a medições dos movimentos Vertical do Pneu, *Wander* do Pneu e Tracção e uma com as informações sobre as acções em curso que já existia na Preparação para Instalação.

Em termos de Comando continua-se com a verificação da aceitação de ordens por parte do operador da consola e criaram-se três divisões para comando dos movimentos referidos no parágrafo anterior. No de carga vertical pode-se aumentar, diminuir ou levar a zero o valor da carga. No *wander* podem executar-se passos para a esquerda ou direita e na tracção é permitido realizar movimentos de avanço e recuo.

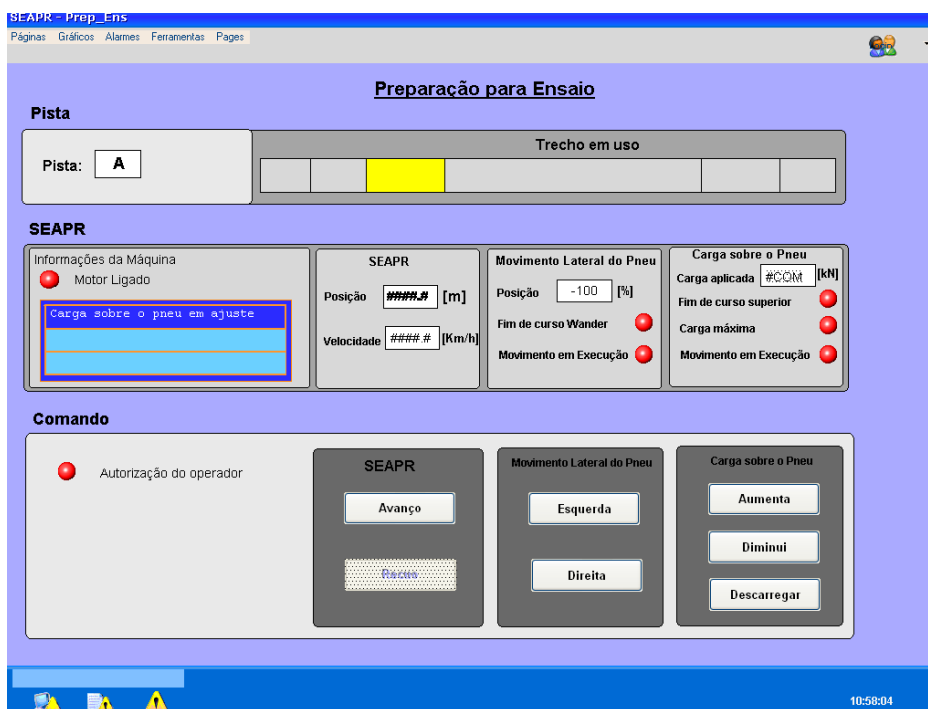


Figura 5-11 - Página utilizada para realização da Preparação para um Ensaio

Resumo do Capítulo

Neste capítulo o leitor foi apresentado ao programa Vijeo Citect de construção de sistemas SCADA e foram dadas a conhecer todas as suas potencialidades.

Posteriormente explicaram-se as configurações efectuadas para a correta comunicação entre o SCADA, o computador e o autómato.

Por fim foi apresentado o ambiente gráfico de interface com o utilizador e foram introduzidas algumas funções Cicode programadas para servir de suporte ao funcionamento das páginas.

6 Conclusões

No âmbito da unidade curricular de Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica opção Automação foi proposto um projeto que consistia no desenvolvimento de *software* para controlo para um “Sistema de Ensaio Acelerado de Pavimentos Rodoviários” (SEAPR).

A construção mecânica da máquina encontrava-se totalmente finalizada, assim como, a sua solução de automação. Portanto, foi levado a cabo um levantamento tecnológico dos seus componentes e analisadas as suas funcionalidades.

A especificação de *software* foi crucial para todo o desenrolar da programação. Permitiu ao aluno a dissipação de dúvidas quanto ao modo de funcionamento do sistema e transformou-se numa ferramenta de consulta para verificação do *software* programado. Infelizmente, devido ao curto prazo para a realização deste projeto, não houve tempo suficiente para ser desenvolvida uma especificação de *software* mais completa. No entanto, a utilização de esquemas gráficos e textos escritos provou ser uma arma competente na busca de maior eficiência da programação e na análise da capacidade do programa em cumprir com os requisitos do sistema de ensaio.

A divisão dos blocos de programação entre Combinacionais, de atuação direta sobre o *hardware*, e Sequenciais, para sucessões de movimentos, possibilitou a escolha adequada de uma linguagem para cada aplicação e facilidade na detecção de erros do programador ou

falhas da própria montagem durante a construção. Sem esta divisão dominar um programa extenso de uma máquina com um grau de complexidade elevado seria impossível.

Durante a programação foi necessária uma abstração do programador para as questões essenciais da funcionalidade a implementar mas, foi igualmente importante, uma reflexão sobre alguma possível falha dos órgãos mecânicos que provoquem acções inesperadas por parte do sistema. Assim, o funcionamento seguro do SEAPR é uma preocupação constante.

A programação do movimento de carga vertical foi um desafio de elevada dificuldade devido à complexidade do sistema hidráulico. Apesar de se ter conseguido atingir e corrigir o valor de carga sobre o piso que era exigido pelo operador, seria importante uma futura ação de calibração deste sistema.

Devido às particularidades do servomecanismo usado para controlo da cilindrada das bombas hidráulicas no movimento de tração, nomeadamente não linearidades como zona morta e histerese, será de prever um comportamento um pouco diferente do esperado no comando automático do movimento de tração.

As medições de deslocamentos e pressões efetuadas pela máquina e que servem de suporte ao controlo dos mesmos, não devem ser realizadas nas unidades que serão disponibilizadas para visualização no SCADA. O operador deve ter à sua disposição números com os quais possa rapidamente criar uma ideia da grandeza em causa e o PLC deve trabalhar numa escala pelo menos dez vezes inferior a essas unidades.

A programação do PLC pautou-se pela preocupação de facilitar a ligação entre o *software* criado para o autómato e para o SCADA através da existência de variáveis indicativas do estado da máquina.

A troca de informações entre os dois *softwares* pode ser feita encriptando variáveis Binárias numa Word que é enviada e novamente repartida nos bits de origem. Isto permite diminuir o número de variáveis que têm que ser importadas e tornar as comunicações mais eficientes.

O SCADA deve ser um sistema graficamente atraente e amigo do utilizador. A criação de um ambiente uniforme entre páginas com a disposição da informação de tipo idêntico na mesma área permite ao utilizador rapidamente perceber e interagir com o sistema.

A geração de *templates* utilizando elementos gráficos existentes nos exemplos fornecidos pelo Vijeo Citect possibilita alguma poupança de tempo.

Trabalhos futuros

Apesar de neste projecto terem sido criados grande parte dos blocos de *software* necessários à realização de um ensaio sugere-se que numa próxima abordagem ao SEAPR seja implementado o sistema de controlo automático de movimento longitudinal.

Depois disto é possível avançar para a desenvolver o modo de funcionamento de um ensaio automático com todas as nuances que a ele estão associadas, nomeadamente, transferências de dados, avisos, falhas, interrupções, etc.

Também seria útil realizar a construção do circuito electromecânico proposto para a deteção da fonte de alimentação da máquina, visto que, é uma função de *hardware* que tem sido realizada através da simulação por *software*.

A implementação do sistema de deteção de fichas do utilizador também seria uma mais-valia exactamente pela razão apresentada no parágrafo anterior.

Por fim, resta referir que seria de grande importância uma calibração dos sistemas de medição de deslocamento mas, principalmente, do de medição de carga sobre o pneu para poder avaliar o seu desvio em relação ao padrão e inseri-lo numa classe relativamente ao erro, pois o seu valor é fundamental para os resultados de um ensaio.

7 Bibliografia

Owusu-Antwi Emmanuel, Mamlouk Michael, McCullagh Frank, Accelerated Pavement Testing, 2000

<http://www.dynatest.com/pdf/HVS.pdf>

<http://www.ucprc.ucdavis.edu/PDF/CALAPT%20Summary%20Report.pdf>

<http://www.lcpc.fr/en/presentation/moyens/manege/index.dml>

http://www.trl.co.uk/facilities/pavement_testing/

Araújo, Abílio, Relatório SEAPR I, 2007

Manual do Modicon M340

Vijeo Citect Documentation, C:\Program Files\Schneider Electric\Documentation\Vijeo Citect User Guide.pdf

<http://infoscience.epfl.ch/record/143449/files/Full%20Paper%20MAIREPAV-Final%20revised.pdf>

Catalogo_M340_2007_PT.pdf

N. F. Coetzee, Task Force on Full-Scale/Accelerated Pavement Testing

http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=3067#_Engineering_Performance

http://nr2c.fehrl.org/?m=23&id_directory=225 ,New Road Construction Concepts, página 18

S F Brown, 25 Years' Experience with the Pilot-Scale Nottingham Pavement Test Facility, 1999

Thomas L. Weinmann, Pavement Sensors Used at Accelerated Pavement Test Facilities

Mellor Stephen J., Wanrd Paul T., Strutured Development for Real-Time Systems, 1985

http://www3.uta.edu/faculty/sroman/AFD40/index_files/world.html

http://www.trl.co.uk/facilities/pavement_testing/

Alagar V.S., Periyasami K., Specification of Software Systems, 1998, Springer-Verlag New York

<http://www.modbus.org/>

Anexo A