

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Telemanutenção Ferroviária

Reengenharia de um processo de monitorização de unidades circulantes

Ricardo Matos Lopes Mesquita

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

Orientador: Prof. Dr. Adriano Carvalho
Co-orientador: Eng. Augusto Costa Franco

Julho de 2008

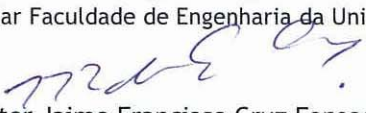
© Ricardo Matos Lopes Mesquita, 2008

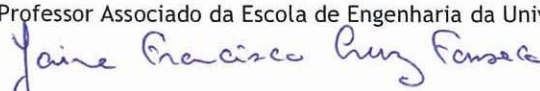
A Dissertação intitulada
“Telemanutenção Ferroviária”

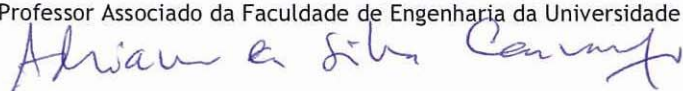
foi aprovada em provas realizadas em 24/Julho/2008

o júri

Presidente Professor Doutor Mário Jorge Rodrigues de Sousa
Professor Auxiliar Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto


Professor Doutor Jaime Francisco Cruz Fonseca
Professor Associado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho


Professor Doutor Adriano da Silva Carvalho
Professor Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto


O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.

Autor - Ricardo Matos Lopes Mesquita



"Logic will get you from A to B. Imagination will take you everywhere."

Albert Einstein

Resumo

O transporte ferroviário encontra-se actualmente envolvido num ambiente de concorrência permanente com os outros meios de transporte. As indústrias deste sector, responsáveis pelo desenvolvimento, operação e manutenção do Material Circulante Ferroviário (MCF), têm assumido um papel activo no estabelecimento de sinergias com o intuito de vencer o desafio da competitividade com as restantes empresas do sector.

O sistema apresentado nesta dissertação tem o objectivo de melhorar a manutenção aplicada ao MCF, através da monitorização em tempo real do seu estado de funcionamento e do seu conseqüente processamento e análise. Com a implementação da Telemanutenção Ferroviária, são expectáveis grandes benefícios a nível de disponibilidade do MCF e redução de custos de manutenção.

Abstract

Nowadays, train service is involved in an environment of permanent competitiveness with other means of transport. Industrial sector responsible for the development, action and support of Railways Rolling Stock (RRS) have assumed an active role in synergies establishment in order to win the challenge of competitiveness with remaining sector enterprises.

The presented system is directed to improve the maintenance of RRS, through the real time monitoring of its operation and consequent processing and analysis. With the implementation of Railway Telemaintenance, it's expectable great benefits regarding the disponibility of RRS and reduction of maintenance costs.

Agradecimentos

Para Eles, que nunca deixaram de me apoiar, o meu sincero agradecimento.

Índice

1 - Introdução	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - Apresentação da EMEF	2
1.2.1 - História da EMEF	2
1.2.2 - Grupo Oficinal do Porto	3
1.2.3 - Unidade de Inovação e Tecnologia Ferroviária	4
1.3 - O projecto de Telemanutenção Ferroviária na EMEF	4
1.4 - Organização do relatório	6
2 - Caracterização e enquadramento do problema	7
2.1 - Estado da arte	7
2.2 - Reengenharia	15
2.3 - Telemetria	15
3 - Modelo do sistema	17
3.1 - Plataforma da Telemanutenção	17
3.1.1- Apresentação das automotoras Allan 0350	17
3.1.2 - Sistema de comando e supervisão: descrição técnica	24
3.1.3 - Variáveis e grandezas físicas envolvidas	27
3.1.4 - Descrição da arquitectura adoptada	27
3.1.5 - Aplicação de controlo do computador embebido	29
3.2 - Centro de Telegestão	36
3.2.1- O que é o Centro de Telegestão?	36
3.2.2 - Newsletter RDF	36
3.2.2.1- Descrição das Secções	37
3.2.2.2 - Aferição de Alertas	41
3.3 - Integração da Telemanutenção Ferroviária na estratégia de manutenção da EMEF	42
4 - Implementação	43
4.1 - Depuração dos erros do software do computador embebido	43
4.2 - Implementação do interface no computador embebido	44
4.3 - Remapeamento das variáveis monitorizadas no autómato do veículo	45

4.4 - Reestruturação da base de dados	46
4.5 - Criação de rotina para análise e inserção dos dados	48
4.6 - Criação de uma nova secção na <i>Newsletter RDF</i>	49
5 - Análise qualitativa das tecnologias de suporte	51
5.1 - Controlo da Plataforma de Telemanutenção	51
5.2 - Sistema de transmissão de dados	54
6 - Avaliação e discussão dos resultados	57
6.1 - Melhorias provenientes da Telemanutenção Ferroviária	58
7 - Conclusão	59
7.1 - Trabalhos futuros	60
Bibliografia	63
Anexos	65

Lista de figuras

Figura 1.1 - Instalações do Grupo Oficinal do Porto	3
Figura 2.1 - O computador FIRE desenvolvido pela General Motors [5].	8
Figura 2.2 - Ferramenta de previsão de falhas “o mais cedo possível” [5].	10
Figura 2.3 - Sistema SKF MasCon16R [6].	11
Figura 2.4 - Software SKF Procon [6].	12
Figura 2.5 - Sistema CMU da <i>General Electric</i> [7].	13
Figura 2.6 - Software LocoCom [7].	13
Figura 2.7 - Interligação entre os sistemas <i>Pinpoint</i> , ERED e <i>LocoCam</i> [7].	14
Figura 3.1 - Automotora Allan 0350.	17
Figura 3.2 - Circuito de combustível [12].	20
Figura 3.3 - Circuito de Arrefecimento [12].	21
Figura 3.4 - Circuito hidráulico [12].	21
Figura 3.5 - Controlo de excitação do gerador principal [12].	23
Figura 3.6 - Painel de contactores de tracção e freio [12].	24
Figura 3.7 - Sistema de comando e supervisão da série Allan 0350 [8].	26
Figura 3.8 - Plataforma de Telemanutenção.	28
Figura 3.9 - Diagrama da arquitectura do sistema.	29
Figura 3.10 - Diagrama de fluxo da <i>thread</i> main.	30
Figura 3.11 - Diagrama de fluxo da <i>thread</i> datamanager.	31
Figura 3.12 - Diagrama de fluxo da <i>thread</i> GPS.	31
Figura 3.13 - Diagrama de fluxo da <i>thread</i> filesender.	32
Figura 3.14 - Exemplo de um ficheiro de texto criado, onde é possível observar as diferentes secções (PLC1, GPS, INFO, EOF) e os diferentes tipos de variáveis lidas (analógicas, 16 bit, 1 bit e alarmes), a sua localização e o seu valor.	35
Figura 3.15 - Diagrama lógico da arquitectura cliente-servidor.	36

Figura 3.16 - Página do Estado Operacional da Frota.	37
Figura 3.17 - Página de pesquisa.	38
Figura 3.18 - Página do Histórico.	39
Figura 3.19 - Lista de alarmes.	40
Figura 3.20 - Lista de alertas.	40
Figura 3.21 - Resultado de uma pesquisa.	41
Figura 4.1 - Interface do computador embebido.	44
Figura 4.2 - Remapeamento de variáveis (<i>software Concept</i> , da <i>Schneider Electric</i>).	46
Figura 4.3 - Diagrama da base de dados.	48
Figura 4.4 - Secção para vizualização dos dados da UTE 2240.	49
Figura 5.1 - Computador embebido do fabricante MOXA.	51
Figura 5.2 - Plataforma modular W@de - W315.	53
Figura 6.1 - Validação do sistema.	57
Figura 7.1 - Diagrama da arquitectura cliente-servidor, já com o servidor Infotec.	61

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Ficha técnica da automotora Allan 0350.	18
Tabela 3.2 - Características da automotora Allan 0350.	18
Tabela 3.3 - Características técnicas dos Motores Diesel.	19

Abreviaturas

CP	Comboios de Portugal, EP
CBM	<i>Condition Based Maintenance</i>
CT	Centro de Telegestão
EMEF	Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário, SA
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FIRE	<i>Functionally Integrated Railway Electronics</i>
GE	<i>General Electrics</i>
GM	<i>General Motors</i>
GOP	Grupo Oficinal do Porto
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IEC	<i>Interstate Electronics Corporation</i>
ISQ	Instituto de Soldadura e Qualidade
MCF	Material Circulante Ferroviário
MIIT	Manutenção Industrial Informatizada e Tecnologia
OSA	<i>Open Systems Architecture</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PHP	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PT	Plataforma de Telemanutenção
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RSC	Rádio Solo Comboio
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
UITF	Unidade de Inovação e Tecnologia Ferroviária
VAL	Valor Actual Líquido
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Enquadramento

Este projecto teve origem no estabelecimento de um protocolo entre a EMEF – Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário, SA – e a FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Este protocolo visa a integração de alunos da FEUP que estejam a terminar o Mestrado Integrado, com o propósito de efectuarem na EMEF a sua tese de dissertação do Mestrado Integrado de Engenharia Electrotécnica.

Este projecto desenvolveu-se na Unidade de Inovação e Tecnologia Ferroviária, localizado no Grupo Oficinal do Porto, durante um período de cinco meses.

Durante o ano de 2007 foi desenvolvido um projecto-piloto de Telemanutenção Ferroviária aplicado a quatro veículos. O processo de reengenharia que visa este estágio irá incidir na avaliação, adaptação, melhoramento e integração dos diferentes módulos que compõem a plataforma da Telemanutenção (a ser instalada no veículo), tendo como principal objectivo a realização de testes de validação em laboratório.

O funcionamento do centro de Telegestão deverá igualmente ser alvo desta metodologia neste período temporal. A aplicação *web* de gestão já se encontra parcialmente desenvolvida (parceria FEUP/EMEF/CP).

De modo a ser possível integrar os diferentes módulos que compõem o sistema, foi necessário realizar um estudo aprofundado e exaustivo sobre as tecnologias que os compõem, sendo estas de grande complexidade e diversidade. No presente documento irão ser apresentadas descrições destes módulos previamente desenvolvidos.

Devido ao facto de a EMEF já possuir o hardware da plataforma de telemanutenção, não foi possível alterar, no período em causa, qualquer componente da sua estrutura física. No entanto, serão apresentados estudos comparativos com diversas soluções, acompanhados por argumentos que justifiquem eventuais alterações.

1.2 - Apresentação da EMEF

A EMEF - Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário, SA – é a maior empresa portuguesa que desenvolve a sua actividade na área da metalomecânica, nomeadamente no fabrico, reparação, reabilitação e manutenção de Material Circulante Ferroviário (MCF).

É de salientar que em Portugal, a EMEF é a única empresa que se dedica a esta área de negócio.

1.2.1 - História da EMEF

A EMEF foi constituída em Dezembro de 1992, como sociedade anónima, pela CP (Comboios de Portugal, EP), que detém 100% do seu capital. Resultou da autonomização da antiga Direcção Industrial da CP que tinha como responsabilidade a reparação do material circulante.

Foi constituída com os Serviços Centrais de Lisboa, Grupo Oficinal do Porto, Grupo Oficinal do Entroncamento, Grupo Oficinal do Arreiro e Grupo Oficinal da Figueira da Foz, tendo sido efectuada a transmissão da posição contratual da maior parte dos trabalhadores que integravam na altura a antiga Direcção Industrial da CP.

Alargando a sua área de actividade à manutenção do material ferroviário em 21 de Novembro de 1994, passaram também a pertencer à EMEF os seguintes estabelecimentos: a Região de Manutenção de Lisboa (incluindo as oficinas de manutenção de Campolide, Oeiras e Santa Apolónia), a Região de Manutenção Norte (incluindo as oficinas de manutenção de Contumil, Boavista, Mirandela, Livração, Régua e Sernada do Vouga), a Manutenção de Material e de Mercadorias no Entroncamento, a Região de Manutenção Sul (incluindo as oficinas de manutenção do Barreiro e de Vila Real de Santo António) e a Região de Manutenção Centro (incluindo as oficinas de manutenção do Entroncamento, Coimbra e Figueira da Foz).

Em Setembro de 1997, a Manutenção de Material e de Mercadorias passou a designar-se Manutenção e Reparação de Mercadorias, como resultado da transferência do centro de resultados de reparação dos vagões do Grupo Oficinal do Entroncamento. Também nesta data, a Região de manutenção Centro passou a ocupar-se da manutenção de Material Circulante realizada exclusivamente no Entroncamento, vindo a agregar mais tarde o centro de resultados de Coimbra.

Em Março de 1998, o posto de Boavista da Região de Manutenção Norte passou a ficar dependente do Grupo Oficinal do Porto. Em Novembro de 1998, a EMEF iniciou negociações com a TRANSDEV no GOP, com vista a assegurar a manutenção qualificada de Material Circulante a afectar ao metro ligeiro de superfície da área metropolitana do Porto.

A 9 de Março de 1999, a EMEF preparou-se para a internacionalização das suas actividades com a participação de 35% na constituição da FERTREM – Operações Ferroviárias Internacionais, SA – da qual fazem parte também a FERBRITAS e a FERNAVE. Esta sociedade, com sede em Lisboa, vai dedicar-se à assistência técnica, industrial e comercial a entidades nacionais e estrangeiras no sector ferroviário. Do seu objecto social consta ainda a elaboração de estudos e projectos no âmbito da criação, organização, funcionamento e

exploração de empresas no sector de equipamentos, tanto de veículos ferroviários como de outros veículos de transporte. Os mercados potenciais são a América do Sul e África, em especial os PALOP.

Em Agosto de 2000, a empresa obteve a certificação da qualidade de acordo com a norma NP EN ISO 9002.

A 1 de Janeiro de 2002, foi criada a Região de Manutenção da Figueira da Foz. As Regiões de Manutenção passaram a designar-se apenas por Manutenções a 16 de Setembro de 2002.

Neste momento, as suas actividades incidem sobre uma variedade de veículos, abrangendo toda a frota da CP (locomotivas, automotoras, carruagens e vagões) e ainda veículos pertencentes a outros clientes (vagões, máquinas pesadas e ligeiras de manutenção de via). Apesar da EMEF ter clientes espalhados por todo país e também internacionais, nomeadamente na Argentina, a CP é o seu maior cliente, correspondendo a cerca de 95% dos serviços prestados pela EMEF.

1.2.2 - Grupo Oficinal do Porto

O Grupo Oficinal do Porto (GOP) é uma moderna e dinâmica unidade que tem desenvolvido ao longo dos anos um *know-how* no domínio da engenharia de manutenção aplicada a veículos ferroviários ao nível da grande reparação.



Figura 1.1 - Instalações do Grupo Oficinal do Porto

A sua actividade exerce-se, desde Fevereiro de 1990, nas suas instalações localizadas em Guifões, no cruzamento da Linha da Póvoa com o Ramal de Leixões. Esta unidade, associada a uma nova reorganização, maior especialização técnica e melhor qualificação das equipas técnicas, possui o privilégio de ser considerada a mais actual das unidades do parque

industrial das empresas do grupo CP, em condições de enfrentar os novos desafios das modernas tecnologias aplicadas ao Material Circulante Ferroviário.

Da actividade desenvolvida por este estabelecimento salienta-se:

- Grandes Reparações de Automotoras Diesel de Média Potência, VL e VE;
- Grandes Reparações e modernização de Carruagens;
- Modernização de interiores de veículos;
- Remotorização e Reabilitação de Automotoras Diesel;
- Reparação de Motores Diesel;
- Recondicionamento de Componentes Térmicos, Mecânicos, Pneumáticos, Hidráulicos, Eléctricos e Electrónicos;
- Estudos de *layout* de instalações industriais na área da Manutenção de Material Circulante;
- Projecto e execução de bancos de ensaio, aplicados no controlo da fiabilidade do material circulante;
- Elaboração de estudos económicos na aquisição de equipamentos industriais;
- Manutenção do Metro do Porto.

Em 2002, face ao início do funcionamento do Metro do Porto, o GOP passou a ser composto por duas áreas oficiais distintas: uma para a manutenção e grande reparação de MCF da CP e outra para assegurar a manutenção dos veículos do Metro.

1.2.3 - Unidade de Inovação e Tecnologia Ferroviária

A EMEF criou formalmente em Dezembro de 2007 a Unidade de Inovação Ferroviária e Tecnologia Ferroviária, na qual está enquadrado este projecto. Esta unidade terá em 2008 o ano da sua consolidação, estando previsto o reforço de competências do seu quadro. Tem como missão o desenvolvimento de projectos de Investigação e Desenvolvimento para o universo ferroviário nacional e internacional, incluindo a criação de competências na área da Alta Velocidade Ferroviária.

Entre os projectos já desenvolvidos, destacam-se o sistema de informação "Infotec" e estudos avançados na área da Telemanutenção Ferroviária e no desenvolvimento do projecto "Bogie inteligente" – destinado à aplicação da tecnologia CBM (*Condition Based Maintenance*) e integrada na nova política de manutenção RCM (*Reliability Centred Maintenance*), aposta da CP.

1.3 - O projecto de Telemanutenção Ferroviária na EMEF

A Telemanutenção Ferroviária tem o objectivo de melhorar a manutenção aplicada ao MCF, através da monitorização em tempo real do estado do seu funcionamento. Este sistema permite recolher informação remota sobre o estado de funcionamento dos veículos, bem como conhecer em cada instante qual a sua localização geográfica. Com base nos dados

recolhidos, será possível realizar um diagnóstico remoto, inteligente e automático no Centro de Telegestão do Material circulante.

Está actualmente em desenvolvimento na EMEF – UITF, podendo vir a assumir um papel de relevo na prevenção preventiva e correctiva do material circulante.

A implementação total deste sistema na CP introduzirá, fundamentalmente, vantagens a nível da disponibilidade do material circulante, diminuição das visitas por avaria e custos de manutenção, ou seja, conduziria à optimização dos parâmetros RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*) e do Custo do Ciclo de Vida do MCF. Podem ser definidas três áreas principais de incidência do projecto da Telemanutenção Ferroviária:

- **Gestão de Operações:** Providenciar informação sobre a *health condition* do MCF, suportando a decisão de o manter ao serviço sob um determinado conjunto de condições técnicas;
- **Gestão da Manutenção** (orientado ao Operador de Manutenção): Responsáveis pelos diferentes níveis de manutenção, disponibilizando no dia-a-dia e em tempo real toda a informação relativa ao estado operacional das frotas de veículos envolvidas, possibilitando no curto prazo uma eficiente gestão de chamada dos veículos à oficina e a preparação do trabalho de Manutenção em oficina - recursos humanos, ferramentas e sobresselentes. Serão reduzidos assim os tempos de imobilização do MCF, e a médio longo prazo a optimização dos ciclos de manutenção e dos demais recursos a este associados;
- **Projecto de Reengenharia:** Favorecer o *feedback* automático dos dados de manutenção e exploração para os fabricantes, despoletando acções de reengenharia (ex. actualização de *software* remota) com vista ao aumento da fiabilidade intrínseca do MCF.

Foi desenvolvido durante o ano de 2007 um projecto-piloto de Telemanutenção Ferroviária aplicado a quatro automotoras (modelos da série Allan 0350 Após os primeiros testes realizados, foi necessária a reestruturação profunda de um módulo do sistema, por forma a torná-lo aplicável em escala industrial. Devido a este facto, surgiu uma necessidade de reestruturação dos restantes módulos de modo a comunicarem entre si, restabelecendo o fluxo de dados do sistema.

Estão actualmente em curso os seguintes trabalhos de extensão deste projecto:

- **Série UQE 2300/2400:** Será apresentado até final do mês de Julho de 2008 à Comissão Executiva da EMEF e às Direcções Executivas da CP-Lisboa e CP-Frota, o estudo de viabilidade técnica e económica resultante da aplicação deste projecto a toda a série, incluindo a concretização do Centro de Telegestão do material circulante afecto à linha de Sintra até final de 2009. Este estudo evidenciará, para além dos aspectos de pormenor técnico, a projecção de análise de investimento a efectuar, com a estimação dos parâmetros de avaliação da rentabilidade do projecto: VAL, TIR e *Pay-Back period*. É objectivo da equipa de projecto que este estudo técnico-económico possa servir de referência para a extensão da aplicação deste projecto a demais séries de material circulante.

- **Série CPA 4000:** Está em curso o estudo técnico de aplicação do projecto a esta série, em realização pela EMEF-UITF e EMEF-Manutenção Norte. Será apresentado até final do mês de Outubro de 2008 à Comissão Executiva da EMEF e às Direcções Executivas da CP-Longo Curso e CP-Frota, o estudo de viabilidade técnica e económica resultante da aplicação deste projecto a toda a série.
- **Série UTE 2240:** Está em curso o estudo técnico de aplicação do projecto a esta série, no âmbito do projecto SIMEF (parceria EMEF, CP, Alstom, Universidades do Porto e Coimbra, ISQ e MIIT) enquadrado numa candidatura aos projectos mobilizadores do QREN (Quadro de Referência Estratégico Nacional). Será apresentado até final do mês de Dezembro de 2008 à Comissão Executiva da EMEF e às Direcções Executivas da CP-Regional e CP-Frota, o estudo de viabilidade técnica e económica resultante da aplicação deste projecto a toda a série.

Está em curso o processo de patenteação deste produto tecnológico,

1.4 - Organização do relatório

Este documento encontra-se estruturado em seis capítulos.

No primeiro capítulo é realizada uma apresentação do projecto de estudo, bem como uma descrição genérica da instituição onde este decorreu.

O segundo capítulo deverá incidir sobre o estado da arte da Telemantenção Ferroviária, bem como uma descrição de metodologias de interesse para o projecto.

No terceiro capítulo é apresentada uma descrição do modelo do sistema e dos seus componentes. É apresentado também a integração deste projecto na política de manutenção da empresa.

No quarto capítulo são descritas as adaptações realizadas aos diferentes módulos do sistema.

No quinto capítulo é realizada uma análise qualitativa às tecnologias que compõem os diversos módulos do sistema, sendo estas comparadas com possíveis alternativas.

É no sexto capítulo que são apresentados e analisados os testes experimentais de validação do sistema desenvolvido. São expostos ainda as vantagens expectáveis da implementação da Telemantenção Ferroviária.

No sétimo capítulo são discutidas as conclusões desta dissertação e são apresentadas propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Caracterização e enquadramento do problema

2.1 - Estado da arte

Existem actualmente alguns sistemas embebidos que permitem realizar a monitorização de veículos ferroviários, e deste modo implementar a manutenção preventiva. Começando a afirmar-se cada vez mais como de importância vital para o melhor funcionamento dos veículos ferroviários, o conceito de telemanutenção começa também a dar passos significativos em outras áreas, nomeadamente na área militar (tanques, navios, força aérea).

De seguida, são apresentados alguns exemplos de sistemas já existentes na área da telemanutenção ferroviária.

INTELLITRAIN

A General Motors (GM), para além do fabrico de veículos automóveis, destaca-se também na área do desenvolvimento, inovação e produção de locomotivas. Nos últimos anos, e de modo a usufruir das vantagens da telemanutenção preventiva, a GM decidiu promover o desenvolvimento de um sistema de monitorização/gravação de dados e comando do funcionamento do seu MCF. O sistema desenvolvido, em conjunto com a *L3 Communications/Interstate Electronics Corporation* (L3/IEC), foi apelidado de FIRE – *Functionally Integrated Railway Electronics*.



Figura 2.1 - O computador FIRE desenvolvido pela General Motors [5].

O sistema de telemanutenção preventiva, apelidado de “IntelliTrain”, apresentou resultados acima dos esperados, detectando 80% das avarias críticas com antecedência de sete a dez dias. Esta capacidade de previsão de avarias facilitou a manutenção e reparação do MCF, originando uma considerável redução dos custos associados a cada uma das acções (segundo dados da General Motors [5]).

Os principais benefícios da aplicação deste sistema em projectos-piloto foram os seguintes:

- Aumento da fiabilidade da manutenção;
- Redução dos custos de manutenção;
- Aumento do período médio de funcionamento entre falhas;
- Eliminação do esquema de reparações periódicas;
- Antecipação de falhas com 7 a 10 dias de antecedência;
- Localização geográfica de cada locomotiva;
- Controlo remoto da locomotiva.

Para aplicação no MCF, foi desenvolvido o computador FIRE (figura 2.1), pela GM e IEC (*Interstate Electronics Corporation*) com o intuito de realizar o interface com os sensores presentes no MCF, coordenar a aquisição de dados e as comunicações *wireless* e permitir o controlo do comboio. Recorrendo a uma arquitectura distribuída, podem ser ligadas até três carruagens/vagões a cada locomotiva.

O computador FIRE pode operar em condições extremas, incluindo temperaturas até - 40°C. Computador, memória, modem GPRS (*General Packet Radio Service*), *Wireless Local Area Network* (WLAN), GPS, interface série, fonte de alimentação e monitor estão integrados numa única unidade compacta.

O sistema apresenta as seguintes funções principais:

- Sensores embebidos;
- Sistema operativo e aplicações de software
- Comunicação *wireless*,
- Alto nível de segurança, autenticação e privacidade
- Ferramentas de diagnóstico e prognóstico

O computador FIRE realiza o interface com os barramentos do veículo, com o visor e os dispositivos *wireless*. Utiliza o sistema operativo Windows-embedded XP e executa diversas aplicações que permitem a utilização de uma rede concêntrica – *Open Systems Architecture* (OSA). São utilizados os protocolos TCP/IP com encriptação de modo a assegurar a privacidade e segurança no envio e recepção de dados.

“IntelliTrain” recorre a um modelo heurístico e criado especificamente para cada locomotiva, baseado na informação recolhida dos sensores. A vantagem de cada locomotiva ter o seu modelo personalizado reside no facto de se poder inserir possíveis variações que ocorreram no fabrico da locomotiva (o que aumenta a sensibilidade na detecção de falhas sem a indução de falsos-positivos). Durante o seu funcionamento normal, os dados recolhidos nos sensores são comparados com o modelo de *software* criado para aquela locomotiva. Através da comparação do funcionamento do modelo criado com os dados recolhidos em tempo real, torna-se possível detectar em avanço a degradação do sistema, prevendo assim a falha que iria ocorrer num mínimo de sete dias. Seguidamente, peritos recorrem à análise do *software* tomando decisões em relação ao tipo de manutenção necessária para cada veículo.

As técnicas de monitorização tradicionais assentam em definições de limites de alarme bastante largos, de modo a prevenir a ocorrência de falsos alarmes. No entanto, isto significa que muitas falhas serão detectadas somente depois da avaria de equipamento, tal como ilustrado na figura 2.2. Neste caso a previsão de possíveis falhas não é possível. Para evitar este facto, amostras de dados são recolhidas dos sensores A a E. Estes dados são subtraídos ao modelo criado para cada sensor, originando um conjunto residual. Daqui resultam indicadores confiáveis e precisos, que por sua vez não seriam detectáveis por sistemas tradicionais de CBM (*Case Based Maintenance*). Se qualquer um dos resíduos medir fora da banda pré-estabelecida de funcionamento, o sistema terá localizado a falha “o mais cedo possível”, tal como demonstrado na figura 2.2. Acções de manutenção podem então ser planeadas de modo a corrigir a falha o mais economicamente possível.

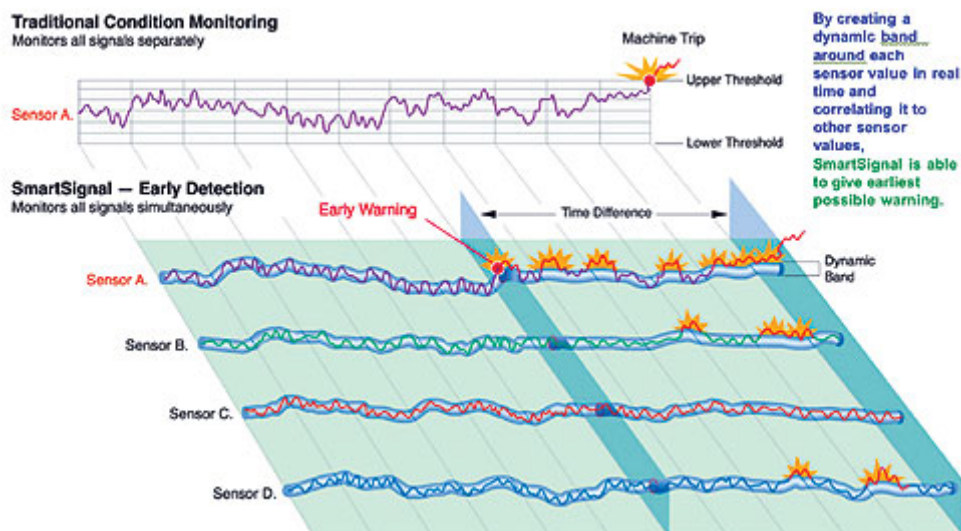


Figura 2.2 - Ferramenta de previsão de falhas “o mais cedo possível” [5].

O sistema possui também um GPS para localização da locomotiva e múltiplos modos de comunicação – fundamentais para o envio de dados para o centro remoto de telemanutenção. Este pode enviar mensagens para a locomotiva, para a oficina de reparação e para o centro de planeamento, de modo a informar que tipo de acções serão necessárias executar na locomotiva em causa.

Após o atentado ocorrido a 11 de Setembro de 2001 nos E.U.A., foi adicionada a funcionalidade de controlar o andamento da locomotiva remotamente.

Recentemente, foram realizados avanços significativos na tentativa de adaptar a telemanutenção preventiva ao equipamento militar. Esta é uma área onde a manutenção preventiva seria de importância vital, uma vez que a previsão de uma falha envolvendo um veículo fulcral para uma determinada missão seria extremamente benéfica na possibilidade de salvar vidas. Os veículos militares apresentam duas diferenças significativas em relação às locomotivas. A primeira está relacionada com a falta de utilização que os veículos militares têm em tempos de paz. A segunda assenta no desconhecimento da duração de cada operação de combate.

Para a situação de longos períodos de inactividade, os componentes ligados à WLAN podem ser usados periodicamente para aceder remotamente ao estado do equipamento. Para verificar a condição de operabilidade do veículo, o centro de telemanutenção pode iniciar o sistema, comandá-lo e desligá-lo de modo a realizar um diagnóstico ao estado do veículo e confirmar a sua localização.

Durante uma operação de combate a informação mais crítica (localização GPS do veículo, estado dos sistemas críticos, previsão da ocorrência de uma falha) é continuamente enviada para o centro de comando, permitindo o planeamento em avanço de eventuais substituições de equipamento ou operações de resgate durante a própria operação. Deste modo, torna-se mais fácil a escolha dos veículos para cada missão baseada num profundo conhecimento do seu estado.

SKF MasCon16R

A empresa SKF apresenta uma solução atractiva para a Manutenção Preditiva, denominado MasCon16R. Este sistema de monitorização foi desenvolvido com o intuito de detectar e prevenir falhas no funcionamento do MCF, sugerir correcções/reparações e operar segundo CBM (*Condition Based Maintenance*).



Figura 2.3 - Sistema SKF MasCon16R [6].

Este sistema possui opções de monitorização periódica ou contínua, dependendo das características de cada máquina. Possui as seguintes funções de monitorização:

- Condições de rolamento e temperatura do eixo/roda;
- Desgaste da roda;
- Tempo estimado de vida da massa lubrificante;
- Sensor de instabilidade/oscilação do bogie;
- Descarrilamento;
- Condição de propulsão do sistema;
- Problemas de ressonância;
- Qualquer componente rotativa do comboio;
- Condições da linha férrea;

O sistema MasCon16R disponibiliza avisos e alarmes automáticos que podem despoletar:

- Comunicação a bordo e remota (informação para o maquinista, transferência de informação para o centro de controlo em terra);
- Processamento de dados para diagnósticos automáticos e análise das causas da falha;
- Ligação ao sistema de gestão da manutenção, para agendamento, substituição de peças e gestão da ordem de trabalhos;
- Encerramento do sistema de monitorização através de comunicação Web.

O *software* SKF ProCon – parte integrante do sistema de monitorização da SKF – é um *software* especializado de diagnósticos inteligentes para uma correcta monitorização do funcionamento do sistema e seus processos.

O sucesso na monitorização do veículo é baseado num *software* de diagnóstico *user-friendly* para o tratamento e análise dos dados recolhidos.

Funciona com o sistema operativo Microsoft Windows® 95/98/ 2000/XP/NT. Possui rede protegida com *password*, podendo ser acedido remotamente através da internet.

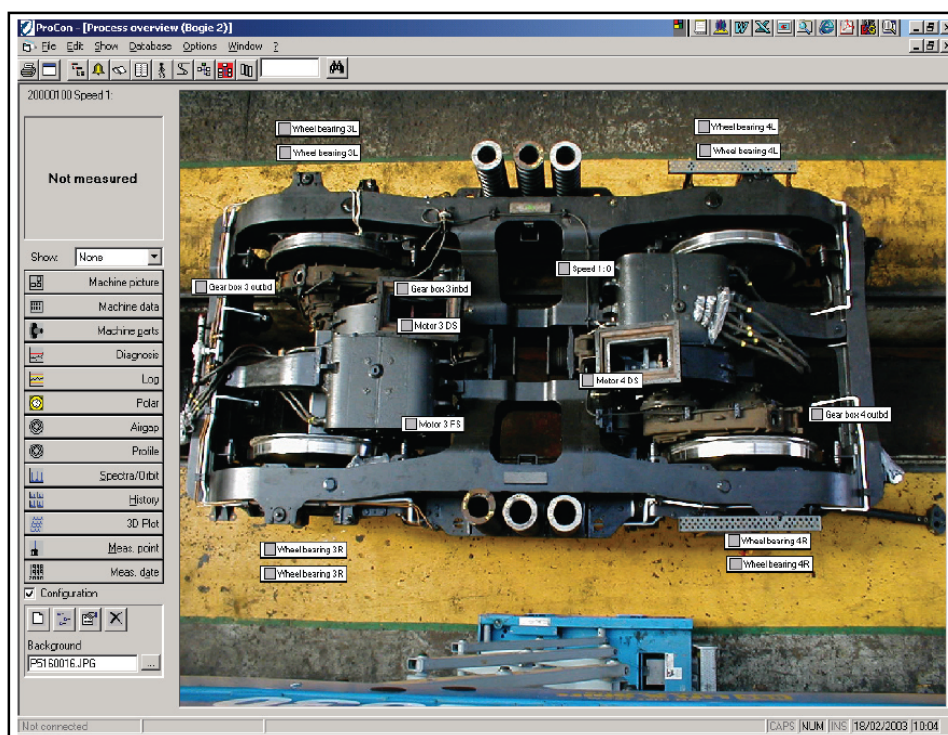


Figura 2.4 - Software SKF Procon [6].

SISTEMA CMU – Expert On Alert, da GENERAL ELECTRICS

No ano de 2007, a *General Electrics* (GE) apresentou uma pequena plataforma desenvolvida para a indústria ferroviária, denominada CMU. Possui como principal função o estabelecimento de comunicação entre o Material Circulante Ferroviário e o centro remoto de telemanutenção.



Figura 2.5 - Sistema CMU da *General Electric* [7].

O CMU disponibiliza diversas aplicações, de onde se destacam:

- **PinPoint** para acesso às variáveis do sistema. O facto de se conhecer o estado do funcionamento do sistema permite ao utilizador remoto a possibilidade de delinear um plano de poupança de consumo, promovendo uma redução de custos e emissão desnecessária de gases para o ambiente;
- **LocoCam** realiza a gravação de vídeo e som no meio envolvente ao movimento da locomotiva, permitindo a documentação de eventuais acidentes (para posterior análise e a averiguação de responsabilidades);
- **Fuel Loss Detection** para controlo e detecção de fugas de combustível;
- **Expert On Alert** para permitir monitorização e diagnóstico remoto por peritos especializados na área da manutenção ERED para gravação, gestão e envio de dados. Esta aplicação recolhe informações das variáveis directamente do sistema da locomotiva, utilizando-as para a criação de ficheiros configuráveis que ficam alojados no CMU (até estarem prontos para envio).

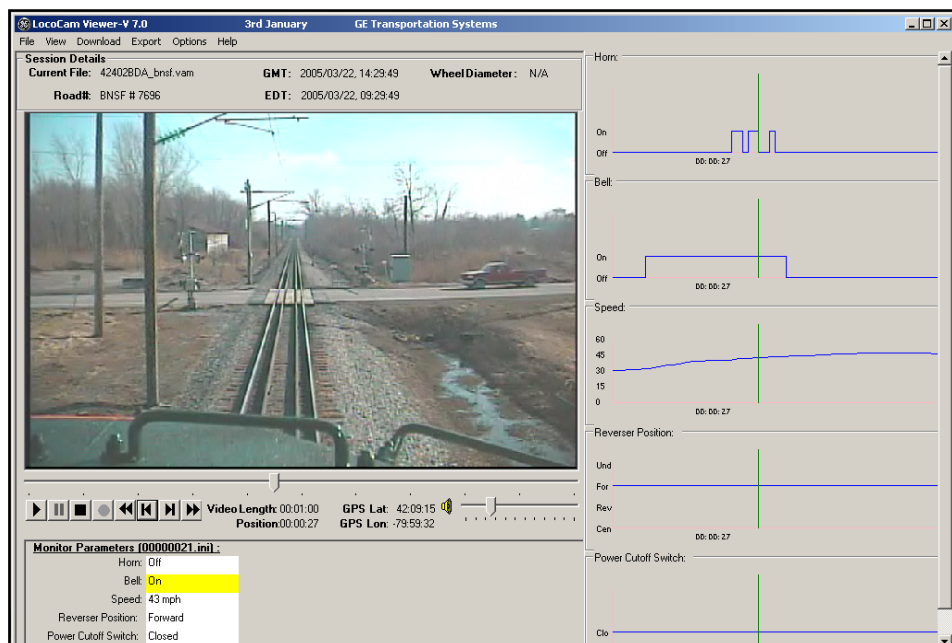


Figura 2.6 - Software LocoCom [7].

O sistema CMU disponibiliza também a possibilidade de ser ligado a uma antena, permitindo assim comunicações multi-modo e estabelecendo a ligação entre o centro de controlo remoto e a locomotiva.

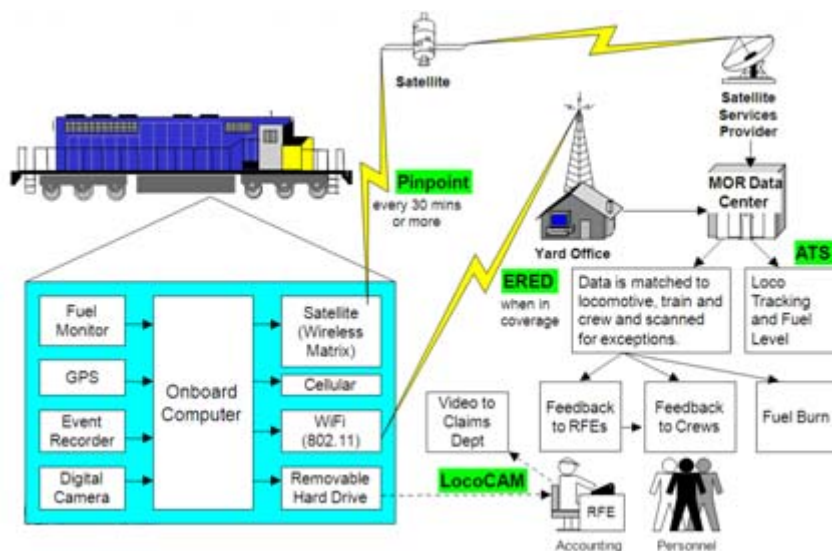


Figura 2.7 - Interligação entre os sistemas *Pinpoint*, ERED e *LocoCam* [7].

O CMU possui um receptor GPS que permite conhecer a localização de cada locomotiva em tempo-real.

Os primeiros resultados experimentais da implementação deste sistema apontam para as seguintes vantagens:

- Redução de 26% de frenagens impróprias;
- Redução de 30% em frenagens de potência impróprias, o que resulta numa redução de 43% de consumo de combustível e poupança de aproximadamente 1 milhão de euros (podendo este valor ser aumentado até 4,5 milhões de euros anuais).

Resumo

Após a análise dos sistemas existentes no mercado, é possível concluir que o sistema que se pretende desenvolver possui objectivos e metas equivalentes às definidas, com o valor acrescentado de introduzir novas ferramentas de inteligência artificial para a fase de extracção de conhecimento. Deste modo, é expectável que a implementação do projecto de estudo no Material Circulante partilhe das mesmas vantagens e benefícios.

2.2 - Reengenharia

O desenvolvimento deste projecto é enquadrado na aplicação de uma metodologia de reengenharia. A reengenharia pode ser entendida como a busca de uma nova forma de realizar um processo a partir de uma nova realidade tecnológica, a fim de obter o desempenho máximo pela utilização dessa nova tecnologia.

O conceito de reengenharia é vulgarmente utilizado num contexto empresarial, aplicado na reformulação da organização da empresa de modo a alcançar a optimização do seu funcionamento e da utilização dos seus recursos, mantendo sempre a competitividade.

Através da análise de algumas metodologias, podem ser definidos algumas etapas do processo, tendo algumas aplicação directa neste projecto:

- Definição inicial das especificações do projecto;
- Inclusão de uma fase de *brainstorming*, e avaliação de novas ideias;
- Avaliação da relação custo/benefício das novas soluções;
- Planeamento e Implementação de uma solução;
- Avaliação dos resultados práticos na eficiência do processo.

2.3 - Telemetria

O objectivo de um sistema de telemetria é a recolha de dados num local remoto ou de difícil acesso, e o envio dos mesmos para um posto de controlo onde estes serão interpretados ou gravados. Os termos supervisão, controlo e aquisição de dados são utilizados quando o sistema tem como função o controlo e a recolha de dados.

Com o desenvolvimento e evolução das redes sem fios, a utilização da telemetria está em clara expansão, sendo actualmente aplicada em diferentes áreas, nomeadamente:

- Medicina;
- Agricultura;
- Fins militares;
- Desportos motorizados;
- Controlo do consumo e qualidade de água canalizada.

Neste projecto, a telemetria corresponde a um sistema de monitorização através de sensores aplicados em vários sistemas do Material Circulante.

Cada automotora possui uma plataforma de hardware que estabelece comunicação com o Centro de Telegestão via GPRS e transmite os dados recolhidos pelos sensores.

Capítulo 3

Modelo do sistema

3.1 - Plataforma da Telemanutenção

3.1.1- Apresentação das automotoras Allan 0350

Designa-se por automotora, um veículo de transporte de passageiros dotado de força motriz, movendo-se assim pelos seus próprios meios.



Figura 3.1 - Automotora Allan 0350.

O modelo apresentado é uma unidade diesel-eléctrica, em virtude da sua principal fonte de energia serem motores diesel, cuja potência é transmitida aos rodados por meio de um equipamento eléctrico.

A sua ficha técnica e características principais são apresentados na Tabela 3.1 e 3.2, respectivamente.

Tabela 3.1 - Ficha técnica da automotora Allan 0350 [12].

Ficha técnica da Allan 0350	
Série	Allan 0350
Peso em ordem de marcha	≈ 5000 Kg
Nº de lugares sentados	94
Sistema de taquimetria e Homem Morto	Implementado por PLC Adtranz
Ar refrigerado	Hispacod Modelo 039F3 Potência frigorífica - 45000 Kcal/h
Aquecimento	Aproveitamento da água de refrigeração do motor Diesel Potência calorífica - 18000 Kcal/h
Monitorização	Toda a informação de supervisão através de <i>display</i> na mesa de comando do maquinista
Equipamento de Sonorização	Rádio com leitor de cassetes Sony Leitor de CDs Sony com caixa para 10 CDs
Equipamento de informação aos passageiros	Anúncio da próxima estação, temperatura interior e velocidade da composição

Tabela 3.2 - Características da automotora Allan 0350 [12].

Características da automotora	
Caixa	N. V. Allan e C ^a
Motor Diesel	Poyaud C. 6 150T (2 x 240 CV)
Circuito de Refrigeração	Volvo
Gerador Principal	Smit G 40/35 225/425 V, 147 KW
Modo de tracção	Smit GT 30/27 225/425 V, 59 KW
Ano de construção	1954, N. V. Allan e C ^a
Ano de inicio de reabilitação	1999, GOP - EMEF
Tipo de composição	USD
Velocidade máxima	100 km/h
Disposição dos rodados	Bo' Bo'
Diâmetro das rodas	920 mm
Número de cabines	2
Comando em unidades múltiplas	Até 3
Freio pneumático de comando electropneumático	Ar comprimido SAB-WABCO
Freio dinâmico	Adtranz
Bitola da via	1668 mm
WC ecológico em circuito fechado	

Equipamento da Cadeia Cinemática de tracção

Este equipamento é fundamentalmente constituído pela seguinte aparelhagem:

- Motor Diesel
- Gerador Principal
- Motores de Tracção
- Bogies

Tabela 3.3 - Características técnicas dos Motores Diesel [12].

Características Técnicas	
Potência nominal	240 CV
Número de cilindros	6
Disposição dos cilindros	Em linha, inclinados $\pm 5^\circ$
Diâmetros dos cilindros	150 mm
Curso dos êmbolos	180 mm
Cilindrada	19,8 l
Tipo de ciclo	4 tempos
Tipo de injeção	Directa
Tipo de combustão	Interna
Velocidade do ralenti mínimo em vazio	850 rpm
Velocidade nominal	1800 rpm
Velocidade máxima em vazio	1900 rpm
Tipo de arrefecimento	Por água
Temperatura ideal da água à saída do motor	80 °C
Pressão do óleo de lubrificação	3,5 bar
Capacidade máxima do óleo de lubrificação	60 litros
Peso do motor a seco	2450 Kg
Tipo de combustível	Gasóleo
Consumo médio de combustível por quilómetro	0,6 litros
Raio de acção	500 Km

Circuito de Combustível

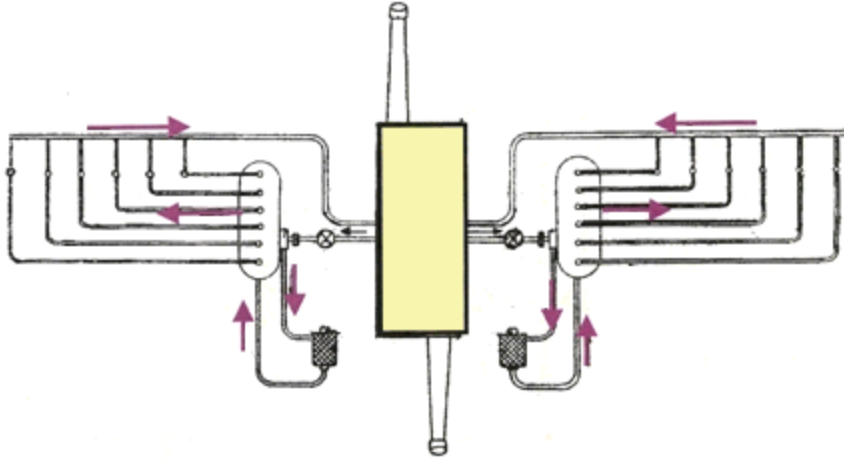


Figura 3.2 - Circuito de combustível [12].

O combustível do reservatório é aspirado por uma bomba de alimentação montada na bomba de injeção e accionada por esta. O combustível aspirado passa primeiro através de um pré-filtro montado antes da bomba de alimentação, sendo em seguida, o combustível comprimido a pressão constante, passando através do filtro principal, antes de chegar à bomba de injeção. A bomba de injeção envia a quantidade de combustível necessária sob alta pressão aos injectores. O pequeno retorno dos injectores regressa ao reservatório do gasóleo.

Circuito de refrigeração

O ar é aspirado pela ventoinha, lateralmente, através do radiador, que está protegido por uma saia lateral rendilhada para impedir a entrada de objectos estranhos. Este circuito é dividido em dois:

Circuito de arrefecimento

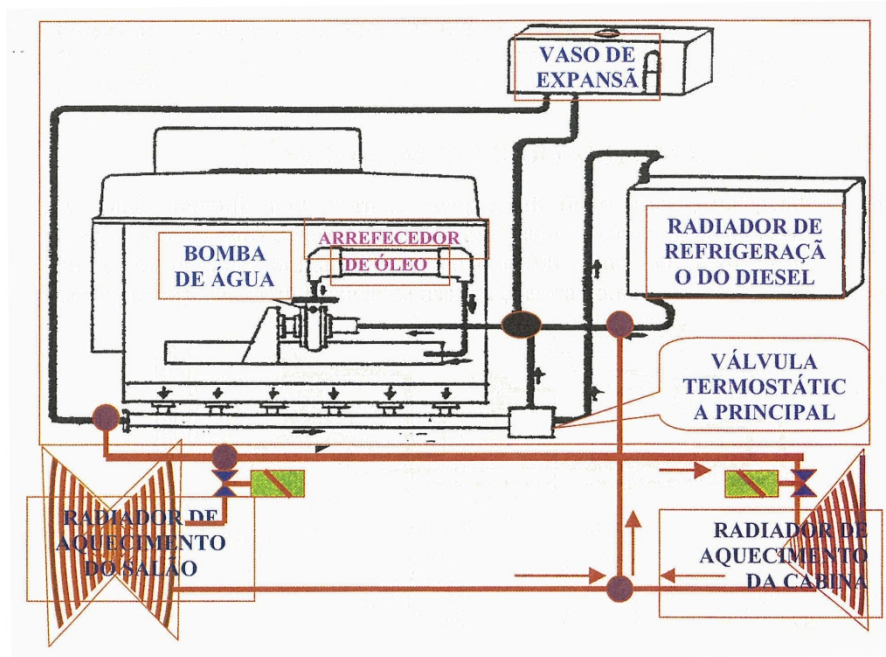


Figura 3.3 - Circuito de Arrefecimento [12].

A água sai do motor Diesel através de uma válvula termostática principal que inicia a abertura da água para o radiador aos 74 °C, estando completamente aberta aos 80 °C. Existem ainda duas válvulas termostáticas inseridas numa derivação da saída do Diesel do lado oposto à válvula termostática principal, que fazem a sua abertura aos 62 °C com a finalidade do aproveitamento da temperatura da água de refrigeração para o sistema de aquecimento do salão e das cabinas.

Circuito hidráulico

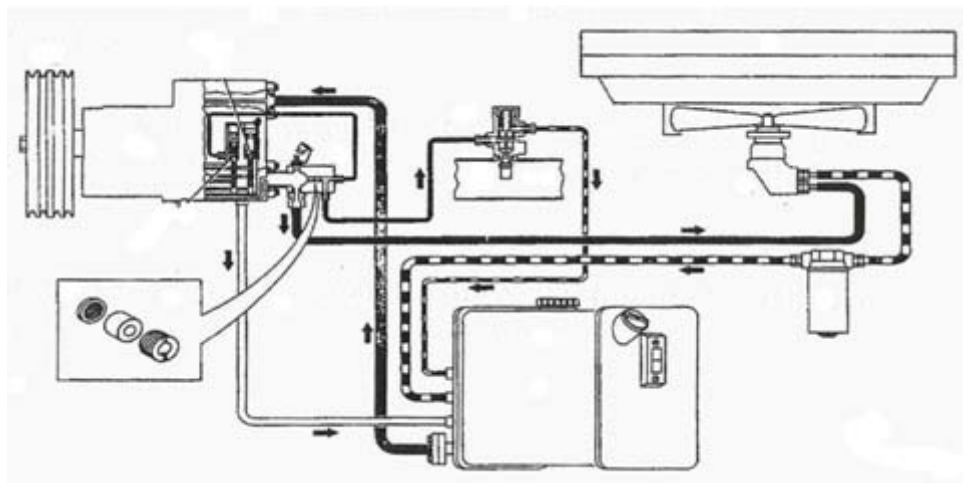


Figura 3.4 - Circuito hidráulico [12].

Este circuito tem como função comandar a ventoinha acoplada ao motor hidráulico. Os principais componentes deste circuito são:

- Depósito de óleo;
- Bomba hidráulica;
- Válvula de pressão;
- Válvula termostática;
- Motor hidráulico;
- Filtro de óleo;
- Ventoinha.

A bomba hidráulica fornece um fluxo básico, independente da temperatura da água de arrefecimento. Este fluxo básico tem uma pressão de 15 bar colocando o motor hidráulico a rodar a 700 rpm. O fluxo básico é constante e independente das rotações da bomba. Quando a temperatura da água atinge os 84 °C, a válvula termostática começa a estrangular o fluxo de comando, o que implica o aumento da pressão no tubo que a antecede. Este aumento na pressão de comando faz aumentar o ângulo de ataque, aumentando desse modo as rotações da ventoinha.

No ondulator, que está montado à saída da bomba, existe um injector que equilibra o fluxo do comando para a válvula de comando, reduzindo a pressão de comando por meio da abertura da válvula termostática. Este facto é importante para o controlo das rotações da ventoinha com temperatura baixa de água de arrefecimento.

As rotações máximas da ventoinha são de 2700 rpm, com um consumo de potência de 14 KW. A desmultiplicação entre a bomba hidráulica e o motor hidráulico é de 1,8 : 1.

Circuito de lubrificação

A lubrificação dos órgãos vitais do motor Diesel é garantida pelo sistema de cárter seco, sendo a lubrificação sob pressão efectuada por uma bomba de carretos instalada no interior do motor. A pressão é regulada por meio de uma válvula afinada para 3,5 bar, quando o motor está quente e a 1800 rpm. O motor pára caso a pressão fique inferior a 1,2 bar.

Geradores e motores de tracção

O circuito de tracção (cadeia cinemática) compreende o gerador principal, os motores de tracção, os contadores com comando de segurança intrínseca e o Conversor DC - DC de um quadrante.

A potência do gerador principal é de 147 KW e a tensão nominal é 225/425 V. A velocidade máxima é 1800 rpm e a mínima 850rpm.

A potência dos motores de tracção é de 59 KW e a tensão nominal é 225/425 V. A velocidade mínima é 1250 rpm e a máxima 3250 rpm.

A transmissão do movimento motor ao rodado é feita por intermédio de um pinhão de 9 dentes, engrenando numa roda de 49 dentes. A relação é 5,44:1.

O arrefecimento dos motores de tracção é assegurado por ventilação forçada. Um ventilador próprio montado no veio do gerador principal aspira o ar através de um filtro montado numa porta lateral do veículo, enviando-o através de uma conduta de foles de comunicação aos dois motores de tracção do bogie respectivo.

Controlo de excitação do gerador principal

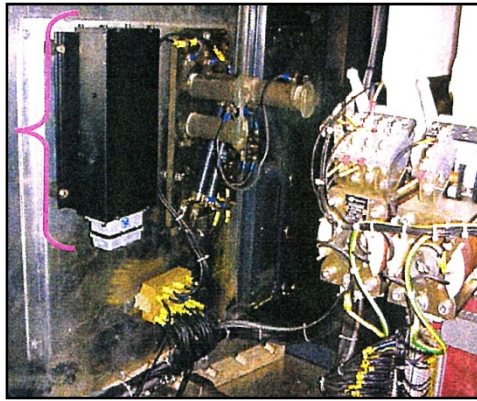


Figura 3.5 - Controlo de excitação do gerador principal [12].

O controlo de excitação é um sistema que depende do autómato e que interage directamente com o gerador principal, regulando a corrente de excitação do campo independente através de um semiconductor IGBT e de um circuito de controlo do mesmo.

Este sistema recebe do autómato os seguintes sinais:

- Alimentação de 24 Vcc;
- 24 Vcc para desacoplamento a adaptação de níveis de sinais;
- Ordens para aumentar ou diminuir a corrente de excitação.

O controlo de excitação devolve ao autómato um sinal codificado em frequência sobre o seu próprio estado de funcionamento e o valor real da corrente de excitação normalizado de 0 a 20 mA.

Outra função do controlo de excitação é processar o sinal do taco-gerador do motor Diesel para indicar ao autómato a velocidade do mesmo através de um sinal em frequência proporcional ao regime de rotações.

Painel de contactores de tracção e freio

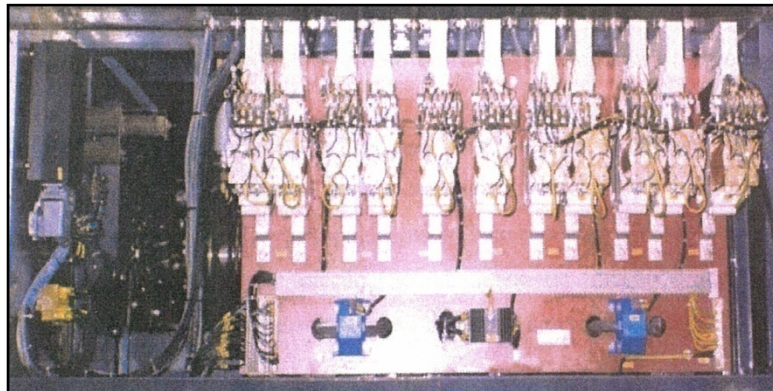


Figura 3.6 - Painel de contactores de tracção e freio [12].

Neste painel de contactores distinguem-se dois conjuntos de componentes:

- Os próprios contactores, que actuam comandados pelo autómato através dos relés de estado sólido do andar de saída. Têm como função configurar os motores de tracção nos diferentes sentidos de marcha, ou actuar como geradores sobre as suas resistências durante a frenagem reostática;
- Transdutores de corrente dos motores (um por cada motor) e o transdutor de tensão do gerador. Estes transdutores fornecem um sinal de corrente proporcional à entrada, que é interpretado pelo autómato.

3.1.2 - Sistema de comando e supervisão: descrição técnica

Na série Allan 0350, o sistema de comando e supervisão assenta numa arquitectura centralizada. O autómato programável – “REMAS” – presente no veículo é composto por uma série de cartas de entradas/saídas analógicas e digitais, e um módulo CPU que processa a informação que recebe pelas entradas e actualiza ciclicamente as saídas.

É responsável pelas seguintes funções:

- Regulador de marcha:
 - Controlo da potência;
 - Controlo de excitação do gerador;
 - Comando do motor Diesel;
 - Inversão do sentido de marcha;
 - Configuração do circuito de tracção/freio eléctrico;
 - Protecções da cadeia de tracção;
 - Regulações do freio eléctrico;
 - Sobreposição do freio eléctrico / freio pneumático;

- Controlo de auxiliares:
 - Controlo de iluminação;
 - Controlo das portas;

- Controlo do veículo:
 - Homem-Morto;
 - Antipatinagem;
 - Interface homem-máquina;
 - Comunicação entre unidades múltiplas;
 - Registo de velocidades e pressões

Para a identificação de avarias, a automotora está equipada, para além do autómato programável, de um sistema composto por vários transdutores de diversas grandezas (temperatura, pressões, velocidades, tensões, etc.) que, aplicados em pontos estratégicos, permitem, em tempo real, o estabelecimento de um diagnóstico das avarias ocorridas no decorrer do funcionamento da unidade. Em caso de alguma grandeza medida se encontrar fora dos valores admissíveis, será emitido um alarme para o condutor, informando-o da ocorrência.

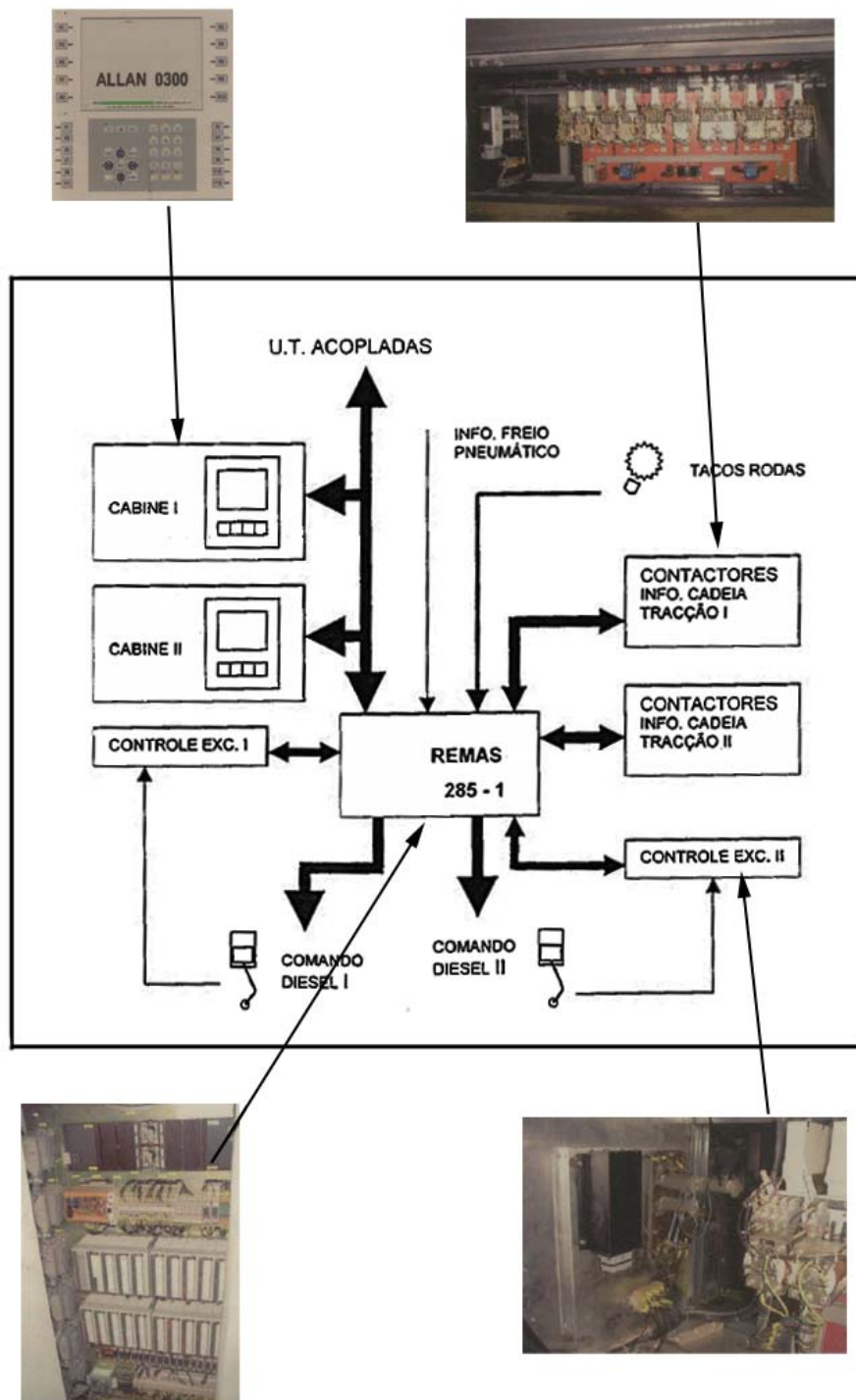


Figura 3.7 - Sistema de comando e supervisão da série Allan 0350 [8].

Todos os componentes do autómato estão preparados para operar em ambientes agressivos, possuindo uma gama de temperatura de operação estendida e protecção contra perturbações electromagnéticas.

3.1.3 - Variáveis e grandezas físicas envolvidas

São monitorizadas no veículo 36 variáveis digitais de 16 bits e 91 alarmes de estado. Apresentam-se de seguida alguns exemplos dos parâmetros de monitorização presentes no MCF:

- Tensões/Correntes indesejáveis;
- Variáveis do sistema de frenagem;
- Sistema de Portas;
- Rolamentos;
- Filtros;
- Pressão / temperatura: óleo, água, ar comprimido, etc.;
- Máquinas rotativas diversas;
- Potencial descarrilamento;
- Controlo geométrico das rodas.

A lista total de variáveis e alarmes monitorizados é apresentada em Anexo.

3.1.4 - Descrição da arquitectura adoptada

Cada veículo dispõe de uma rede de sensores que se liga ao autómato presente no veículo. Os valores das medições realizadas ficam armazenados na memória interna do autómato "REMAS".

Em cada veículo é instalada uma plataforma de comunicações (designada por Plataforma de Telemanutenção) constituída por um computador embebido, um autómato secundário, um receptor GPS e um modem GPRS. Tem como função a aquisição, processamento e transmissão de dados. O computador embebido é responsável por aceder à memória do autómato "REMAS", possuindo o sistema operativo *Linux* que providencia uma arquitectura aberta para comunicações com diferentes protocolos de comunicação.

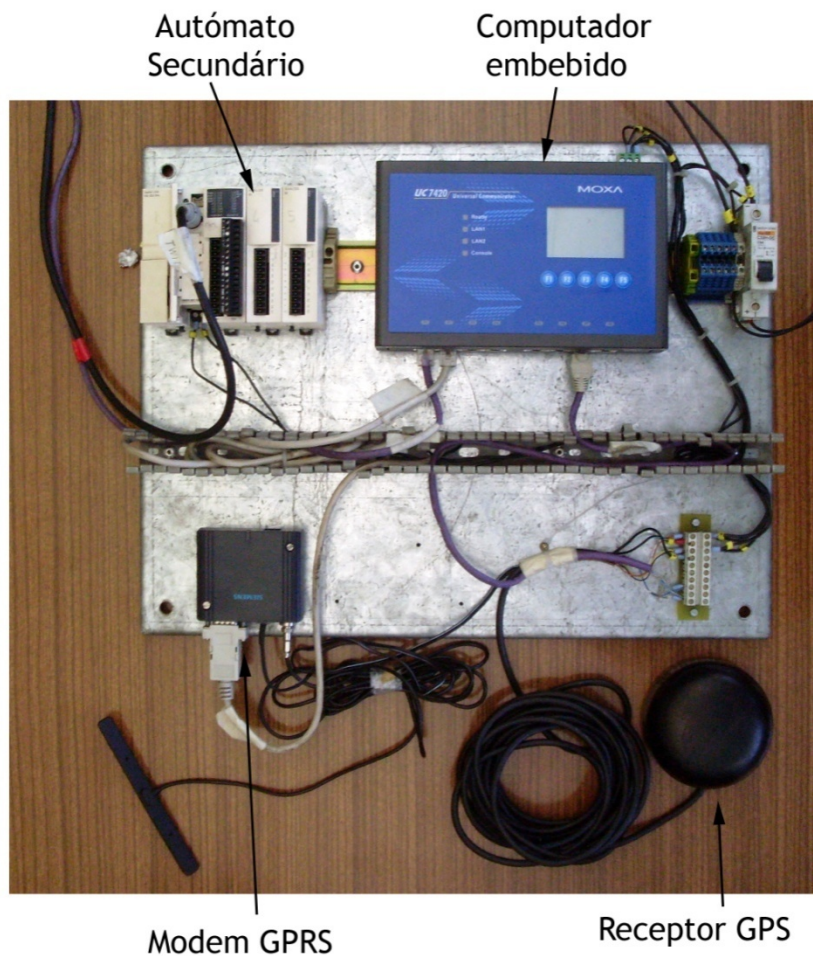


Figura 3.8 - Plataforma de Telematutención.

Devido à necessidade de recolher informação de variáveis não monitorizadas pelo autómato presente nos veículos da série Allan 0350, torna-se essencial a utilização de um autómato secundário para expansão de entradas. Este encontra-se ligado ao autómato central, escrevendo directamente em posições de memória previamente definidas do autómato "REMAS".

Através do receptor GPS, obtém-se conhecimento sobre a localização geográfica do veículo, a hora e a data. O envio de dados para o Centro de Telegestão (actualmente sediado nas instalações da UITF, no GOP) é realizado através do modem GPRS. O funcionamento do modem GPRS e do receptor GPS é coordenado pelo computador embebido.

O funcionamento correcto do sistema depende das rotinas realizadas pelo computador embebido:

- Através da comunicação série estabelecida com o autómato instalado no MCF, adquire os dados dos sensores que, dependendo da variável em causa, podem ser analógicos ou digitais;
- Através de comunicação série, recebe a posição geográfica da automotora a partir do receptor GPS instalado na mesma;

- Os dados recolhidos são armazenados, formatados e armazenados num ficheiro de texto;
- Os ficheiros criados são enviados com uma frequência predefinida para o Centro de Telegestão através de um modem GPRS que comunica através de porta-série com o computador embebido.

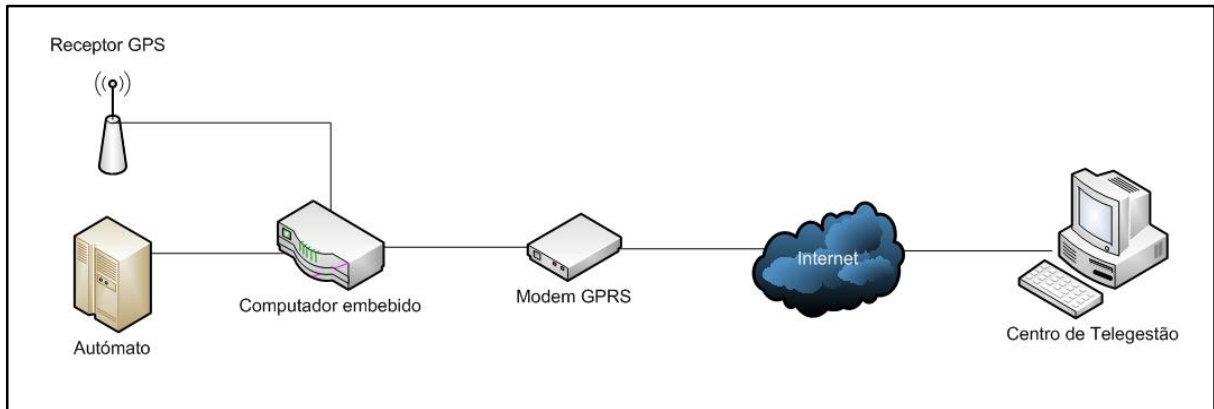


Figura 3.9 - Diagrama da arquitectura do sistema.

3.1.5 - Aplicação de controlo do computador embebido

Este software é responsável por realizar as leituras à memória do PLC da automotora, receber os dados do receptor GPS, realizar o tratamento das variáveis obtidas, criar um ficheiro com os dados pretendidos e enviá-lo por FTP para o servidor instalado no Centro de Telegestão (CT), através de um modem GPRS.

O seu modo de funcionamento por defeito é *time-trigger*, isto é, periodicamente procede à leitura de dados dos dispositivos e ao envio para o CT. Aquando da ocorrência de um alarme, um ficheiro é enviado de imediato com os dados do momento sendo o seu funcionamento neste caso *event-trigger*.

O software encontra-se dividido em doze módulos, estando estes interligados maioritariamente através do ficheiro *main.c*. Cada módulo é responsável por uma funcionalidade interna de processamento de dados (por exemplo: escrita de logs, monitorização dos directórios, envio de ficheiros...) ou por uma funcionalidade externa ao processamento (ligação através do modem GPRS, recolha de dado de GPS, leitura do PLC, por exemplo).

O ficheiro *main.c* é responsável por disponibilizar a informação no visor do computador embebido e pela inicialização do sistema. Durante a sua execução são executadas simultaneamente quatro *threads*:

- Main
- Datamanager
- GPS
- Filesender

A grande vantagem da utilização de *threads* neste programa é a rapidez e fluidez de execução do mesmo. Caso estas não fossem utilizadas, os diferentes processos teriam que ocorrer de modo sequencial: cada processo só poderia ser inicializado quando o anterior terminasse e disponibilizasse os seus resultados. Com a utilização de *threads*, a execução das mesmas é simultânea, não estando a sua execução dependente do término de outros processos. Por exemplo: o *datamanager* está sempre a criar ficheiros com as variáveis obtidas, independentemente do seu envio estar a ser bem sucedido ou não. Deste modo, evita-se a perda de dados devido a erros de transmissão por parte do modem.

De seguida, é apresentada uma breve descrição das *threads* utilizadas:

- A thread "main" é responsável por aguardar que qualquer tecla de interface do painel do computador embebido seja pressionada, incluindo a tecla de encerramento do programa.

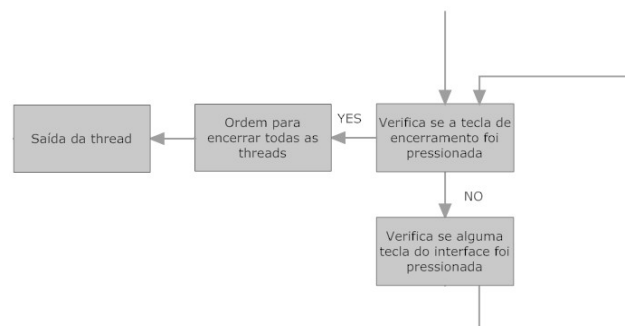


Figura 3.10 - Diagrama de fluxo da *thread* main.

- A thread "datamanager" é responsável pela criação dos ficheiros, pela sua colocação no directório de envio e pela leitura do PLC e obtenção dos dados do GPS lidos assincronamente.

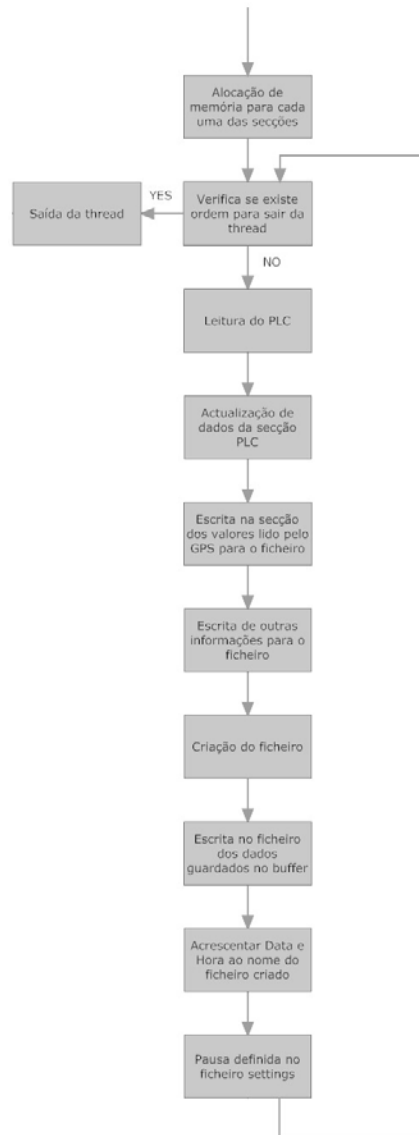


Figura 3.11 - Diagrama de fluxo da *thread* datamanager.

- A thread "GPS" actualiza periodicamente os dados provenientes do GPS.

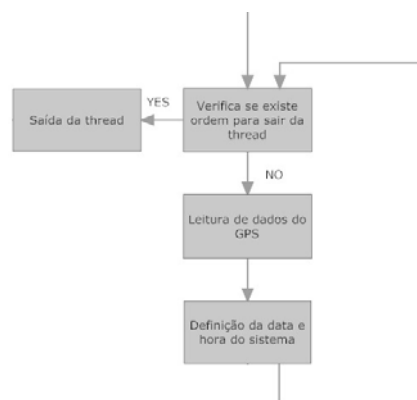


Figura 3.12 - Diagrama de fluxo da *thread* GPS.

- A thread "filesender" encontra-se continuamente a verificar a existência de novos ficheiros para envio. Caso estes existam, procede ao seu envio; caso contrário, continua a pesquisa de novos ficheiros para enviar.

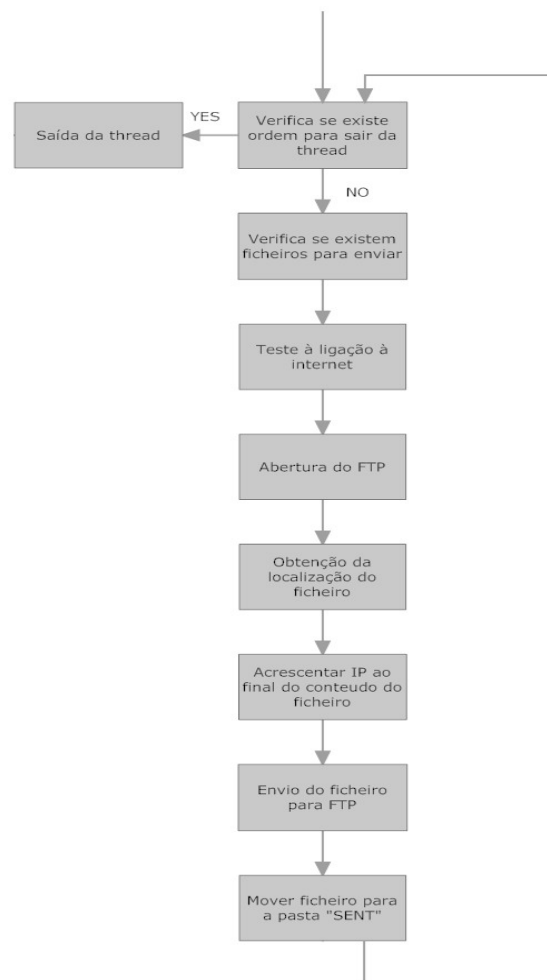


Figura 3.13 - Diagrama de fluxo da *thread* filesender.

É apresentada de seguida uma breve descrição de cada um dos módulos existentes.

O módulo *datamanager*, para além da execução da sua thread, é responsável pela criação do ficheiro a enviar para o CT (identificando-o com a data e hora actual) e pela sua colocação na pasta de envio (caso seja para enviar) ou na pasta de enviados. Faz a leitura de dados do PLC e guarda os dados obtidos assincronamente do GPS.

O módulo *GPS* utiliza duas funções disponibilizadas pelo receptor GPS adoptado: *RMC (recommended minimum specific GPS/transit data)* e *GGA (global positioning system fix data)*. Estas disponibilizam um conjunto de informações correspondentes à posição do receptor (latitude, longitude, altitude), hora e data de envio, número de satélites utilizados, qualidade do sinal e velocidade.

O módulo *logger* é uma maneira simplificada de realizar escrita de ficheiros de registo em formato de texto. Permite a criação de dozes ficheiros de registo, estando

actualmente seis em utilização (*datamanager*, *filesender*, *GPRS*, *GPS*, *main*, *PLC*). Caso exista necessidade de adicionar um novo ficheiro de registo, realiza-se a função de inicialização dos registos (*logger_start*) indicando o nome pretendido para o ficheiro (é retornada uma variável do tipo "inteiro", funcionando como identificador do mesmo). Quando se pretender escrever para um ficheiro, utiliza-se a função de escrita *logger_write*, utilizando o identificador previamente atribuído, e indicando o conteúdo que se pretende registar.

O *checkfilesystem* possui como função a monitorização de determinados directórios, verificando a presença de novos ficheiros. Este módulo está directamente relacionado com a possibilidade de realizar actualizações ao programa do computador embebido (através da verificação do directório *ftptemp*) e com o envio dos ficheiros de dados (verificação do directório *send*).

O módulo *filereader* realiza a leitura e o tratamento das diferentes secções do ficheiro de definições *settings.emd*, guardando em diferentes variáveis as leituras efectuadas. Permite também criar os ficheiros de envio através das funções de escrita. Possui ainda uma função que permite escrever as variáveis lidas no monitor, para uma confirmação do seu correcto funcionamento.

O envio dos ficheiros, através do modem GPRS, é da responsabilidade do módulo *filesender*. A sua thread testa a conexão à internet, estabelece a ligação com a aplicação servidor FTP, obtém a localização do ficheiro (que deverá ser o directório de envio "send"), adiciona o IP ao final do conteúdo do ficheiro a enviar, procede ao seu envio e altera a sua localização para a pasta de ficheiros enviados, "sent". Este módulo possui ainda uma biblioteca FTP (*ftplib.h*) que é responsável pela ligação ao servidor FTP utilizado na unidade remota de controlo.

O módulo *Global2* possui como principal função a criação do Identificador do processo de cada thread (PID) e da sua escrita no ficheiro *telemanut.sys.pid*. Possui também uma função responsável por criar uma pausa em milisegundos, que é utilizada em diversos módulos.

A ligação à internet é estabelecida no módulo *GPRS*. Possui funções de ligação à internet, teste da conexão, obtenção do próprio IP da ligação e terminação da mesma.

No *modem* estão os ficheiros de configuração do próprio modem. Está preparado para comunicar com qualquer uma das redes de comunicação móvel nacionais. Este módulo possui o ficheiro *install.sh* – ficheiro de instalação do modem GPRS no computador embebido, tendo como função a colocação dos ficheiros de configuração na sua correcta localização.

As funções de interface utilizadas no computador embebido são definidas no módulo *MOXA*. As funções inicializadas são as referentes à activação do interface do utilizador, através das teclas presentes no painel frontal do computador, da luz que ilumina o visor e da apresentação de informação no visor.

Os ficheiros objecto criados pela compilação do programa encontram-se no directório **Out**.

O módulo PLC é responsável pela ligação do computador ao PLC e pela leitura da memória do mesmo. Possui diversos ficheiros responsáveis pela leitura dos vários tipos de variáveis (analógicas, digitais e registos) e uma biblioteca do protocolo de comunicação de modbus. Este possui as funções necessárias para a leitura de dados através deste protocolo.

Nos directórios **telemanut.starter.src** e **telemanut.upd.src** encontra-se o código fonte dos ficheiros *telemanut.starter* e *telemanut.upd*. Este directório é necessário para permitir a utilização de actualizações. O ficheiro *telemanut.starter* é o ficheiro base das actualizações.

Caso se pretenda adicionar um novo módulo, cria-se um novo directório com os ficheiros de código pretendidos e com o ficheiro de compilação do mesmo. Caso seja necessário interligar o novo módulo com outros já existentes, deve ser incluído o *header* do novo ficheiro do módulo nos ficheiros aos quais se pretende estabelecer a ligação.

Com o propósito de realizar a compilação do software, cada módulo contém um ficheiro "*make*" que contém os parâmetros necessários para a compilação do mesmo. De modo a compilar a aplicação total, executa-se o ficheiro *makesc*, que se encontra no directório-raiz. Este compila todos os módulos, e cria os seguintes ficheiros necessários para a execução do programa:

- **telemanut.starter**: verifica se há actualizações no directório *ftptemp*. Caso existam, extrai o seu conteúdo para o directório-raiz, substituindo os ficheiros "antigos". De seguida executa o *telemanut.upd*.
- **telemanut.upd**: inicializa o ficheiro *telemanut.sys*.
- **telemanut.sys**: executa o sistema total (sem a funcionalidade de actualizações).

A vantagem da existência de duas camadas para o arranque do sistema é a possibilidade de se poder construir um diferente tipo de utilizações através do *telemanut.upd*, existindo sempre uma base de segurança, para o caso de qualquer imprevisto.

Para a instalação e configuração de um novo computador, é necessário copiar o directório *modem* (com os ficheiros de configuração do modem) para o computador, executar o ficheiro de instalação *install.sh* e criar os directórios *ftptemp*, *logs*, *send* e *sent*. É necessário também introduzir os ficheiros *telemanut.upd*, *telemanut.sys*, *telemanut.starter* e *settings.emd* no directório-raiz.

O software presente no computador embebido localizado na automotora pode ser actualizado remotamente, através do envio de um ficheiro com o nome *update.tar*, com todos os directórios ou ficheiros que se pretende actualizar - este tipo de ficheiro agrupa um conjunto de ficheiros, não realizando qualquer compressão. O ficheiro *update.tar* deve ser colocado no directório *ftptemp*. Aquando da execução do *telemanut.starter*, os

ficheiros/directórios actualizados serão extraídos no directório-raiz, substituindo os que possuírem o mesmo nome.

```
#PLC1
anal:1=101
anal:2=223
reg:1=2048
reg:2=548
reg:3=0
reg:4=78
reg:5=0
reg:6=4
reg:7=0
reg:68=38
regbit:8-6=0
regbit:8-9=1
regbit:8-10=0
regalarmbit:1-0=0
regalarmbit:4-8=0
regalarmbit:6-9=1
regalarmbit:10-10=0
regalarmbit:15-1=1
regalarmbit:28-15=1
regdword:15=0
#GPS
time=15:53:02
date=08/03/10
satellites=0
quality=0
warn=V
latitude=4112.2139
longitude=839.6622
altitude=0
speed=0.000000
#INFO
motora=Allan 360
#eof

77.54.181.1
```

Figura 3.14 - Exemplo de um ficheiro de texto criado, onde é possível observar as diferentes secções (PLC1, GPS, INFO, EOF) e os diferentes tipos de variáveis lidas (analógicas, 16 bit, 1 bit e alarmes), a sua localização e o seu valor.

3.2 - Centro de Telegestão

3.2.1- O que é o Centro de Telegestão?

O Centro de Telegestão (CT) é constituído por um computador, com acesso à *Internet* através de uma ligação com IP fixo. Neste computador é executada uma aplicação de software que tem como função a recolha, tratamento e apresentação dos dados recebidos da plataforma de telemanutenção localizada no veículo, via GPRS.

O software necessário para a execução da aplicação é o sistema operativo Microsoft Windows XP® e o Microsoft SQL SERVER®.

As especificações de hardware para o Centro de Telegestão são:

- Processador: Pentium IV a 3 GHz;
- Memória RAM: 1 GB;
- Placa de rede;
- Monitor;
- Teclado e rato.

3.2.2 - Newsletter RDF

A aplicação executada no CT, apelidada de *Newsletter* RDF - Relatório de Fiabilidade, possui uma arquitectura cliente-servidor. O modem GPRS, localizado na plataforma de telemanutenção das automotoras, transmite os dados para o servidor do Centro de Telegestão, que por sua vez actualiza os dados no servidor MSSQL.

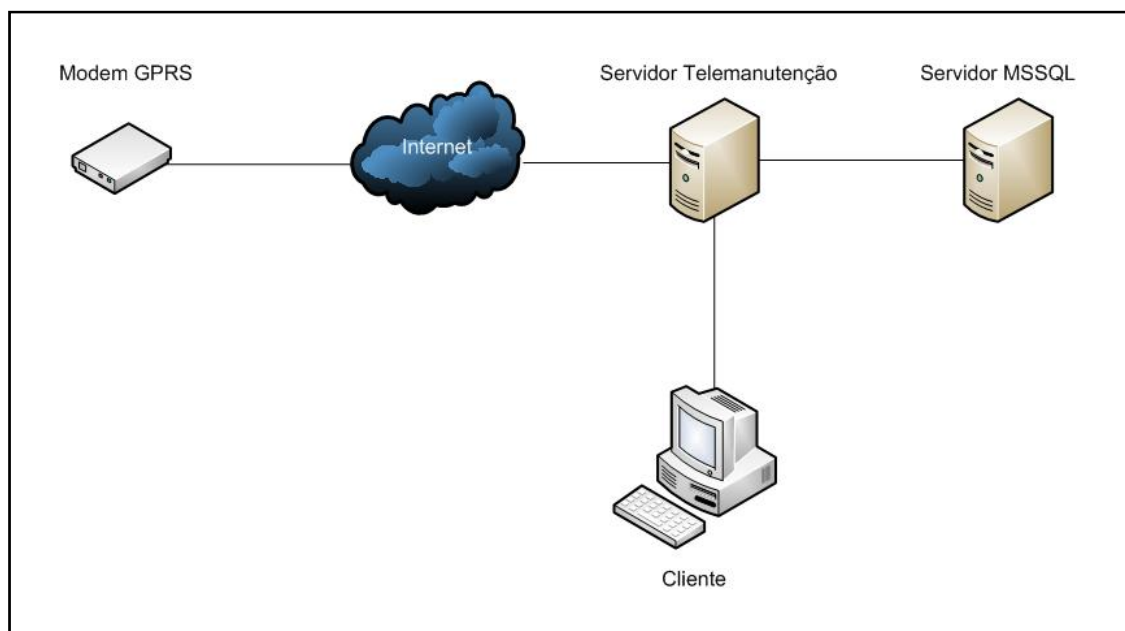


Figura 3.15 - Diagrama lógico da arquitectura cliente-servidor.

Para aceder ao sistema de informação é necessária uma autenticação, permitindo assim o acesso apenas a utilizadores registados. Depois de autenticado, é apresentado um menu onde é disponibilizado ao utilizador:

- O estado operacional da frota;
- Pesquisas dos valores das variáveis monitorizadas;
- O histórico de avisos e alarmes.

3.2.2.1- Descrição das Secções

Estado operacional da frota

O estado operacional da frota apresenta ao utilizador a informação mais relevante da frota para diagnóstico de possíveis causas de avaria. Os dados que compõem a tabela são:

- A identificação do veículo;
- A manutenção afecta a cada veículo;
- Os quilómetros percorridos;
- O estado do veículo;
- O instante da última comunicação;
- O estado da cadeia cinemática;
- O estado dos módulos auxiliares;
- O estado do módulo de refrigeração;
- O estado do módulo do freio;
- Informação da unidade múltipla;
- Uma ligação para visualização da posição geográfica do veículo;
- Uma contagem de eventos (avisos e alarmes) do próprio dia.

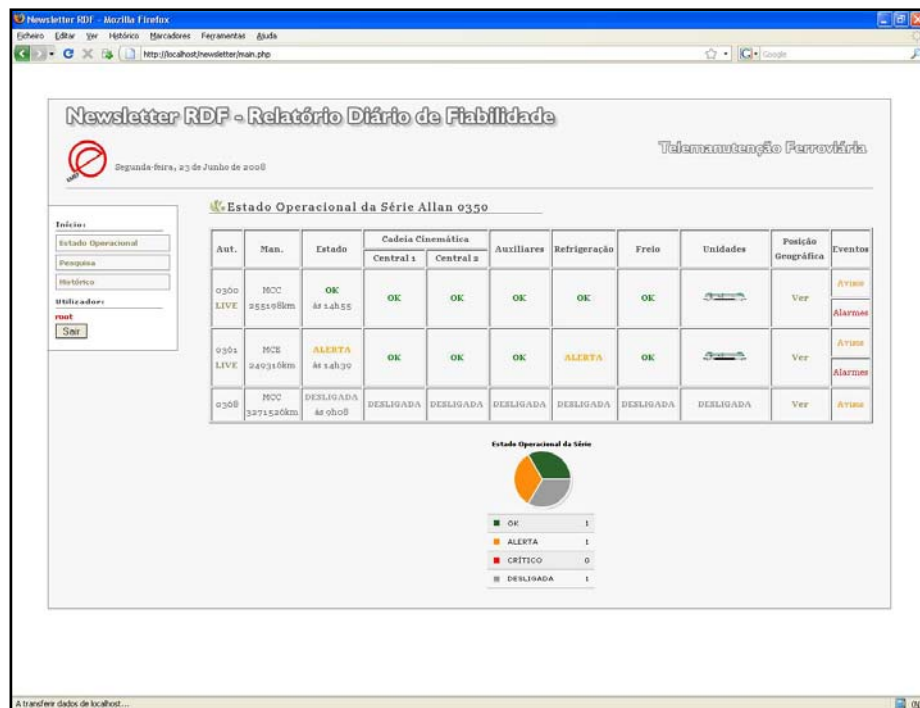


Figura 3.16 - Página do Estado Operacional da Frota.

Os estados podem ter quatro valores diferentes: **OK**, **ALERTA**, **CRITICO** ou **DESLIGADA**.

O estado OK informa que o veículo não se encontra com problemas nem suspeitas de qualquer anomalia. O estado ALERTA significa que se verificou, mediante um conjunto de regras carregadas na aplicação (sistema pericial RULE-BASED), um aviso de uma possível causa de avaria. Um grupo assume o estado de ALERTA quando se verifica uma reincidência de avisos num período de tempo preestabelecido. Na coluna "estado do veículo", o estado ALERTA fica visível por um período de duas horas, para que a informação da ocorrência de um alerta não passe despercebida ao utilizador, podendo assim intervir caso seja necessário. O estado CRITICO ocorre quando a automotora envia um alarme, baseado na análise das variáveis no autómato. O estado DESLIGADA significa que a automotora se encontra desligada ou numa zona sem cobertura de rede, não efectuando comunicações para o servidor do Centro de Telegestão. Este estado é activado se o veículo não efectuar nenhuma comunicação durante um período de uma hora.

Na informação da unidade múltipla, é apresentada uma imagem da composição do veículo, podendo esta ser simples, ou múltipla (num máximo de 3 veículos acoplados).

Esta página é actualizada de minuto a minuto, para que a informação disponibilizada esteja sempre actualizada.

Pesquisa

The screenshot shows a web browser window displaying the search interface of the 'Newsletter RDF - Relatório Diário de Fiabilidade' application. The page is titled 'Pesquisa' and is part of the 'Telmantenção Ferroviária' system. The search criteria are set to 'Data inicial: 23 Junho 2008' and 'Data final: 23 Junho 2008'. The 'Séries' dropdown is set to 'USD 030 (Allan)'. The 'Veículos' dropdown is set to 'Escolha o veículo'. The search parameters are organized into three columns of checkboxes:

- Column 1:**
 - Velocidade do veículo
 - Velocidade motor Diesel 1
 - Velocidade motor Diesel 2
 - Tensão no gerador 1
 - Tensão no gerador 2
 - Corrente de excitação do gerador 1
 - Corrente de excitação do gerador 2
 - Corrente do motor de tração 1
 - Corrente do motor de tração 2
 - Corrente do motor de tração 3
 - Corrente do motor de tração 4
- Column 2:**
 - Pressão do óleo do motor Diesel 1
 - Pressão do óleo do motor Diesel 2
 - Pressão hidráulica no motor hidrotático 1
 - Pressão hidráulica no motor hidrotático 2
 - Pressão na conduta principal
 - Pressão no freio do bogie 1
 - Pressão no freio do bogie 2
- Column 3:**
 - Temperatura à entrada do radiador da central 1
 - Temperatura à entrada do radiador da central 2
 - Temperatura à saída do radiador da central 1
 - Temperatura à saída do radiador da central 2
 - Diferencial térmico da central 1
 - Diferencial térmico da central 2
 - Temperatura na cabeça do compressor de ar 1
 - Temperatura na cabeça do compressor de ar 2
 - Temperatura exterior
 - Temperatura interior

At the bottom of the search area, there is a 'Pesquisar' button and a 'Voltar' link.

Figura 3.17 - Página de pesquisa.

Esta secção permite ao utilizador pesquisar os valores das variáveis monitorizadas num determinado intervalo de tempo, mediante o preenchimento de um formulário. É necessário indicar o período de consulta, a série e a identificação do veículo em causa e as variáveis que pretendidas.

As variáveis possíveis de monitorização são as seguintes:

- Velocidade instantânea;
- Velocidade dos motores Diesel;
- Tensão nos geradores;
- Corrente de excitação dos geradores;
- Corrente nos motores de tracção;
- Pressão de óleo nos motores Diesel;
- Pressão hidráulica dos motores hidrostáticos;
- Pressão na conduta geral;
- Pressão no freio dos bogies;
- Temperatura à entrada e saída dos radiadores;
- Temperatura na cabeça dos compressores;
- Temperatura exterior e interior.

Após submeter o formulário é apresentado o gráfico correspondente aos valores das variáveis escolhidas, para o período e veículo em causa. Existe também a possibilidade de consultar os dados em forma de tabela, para uma análise mais detalhada.

Histórico

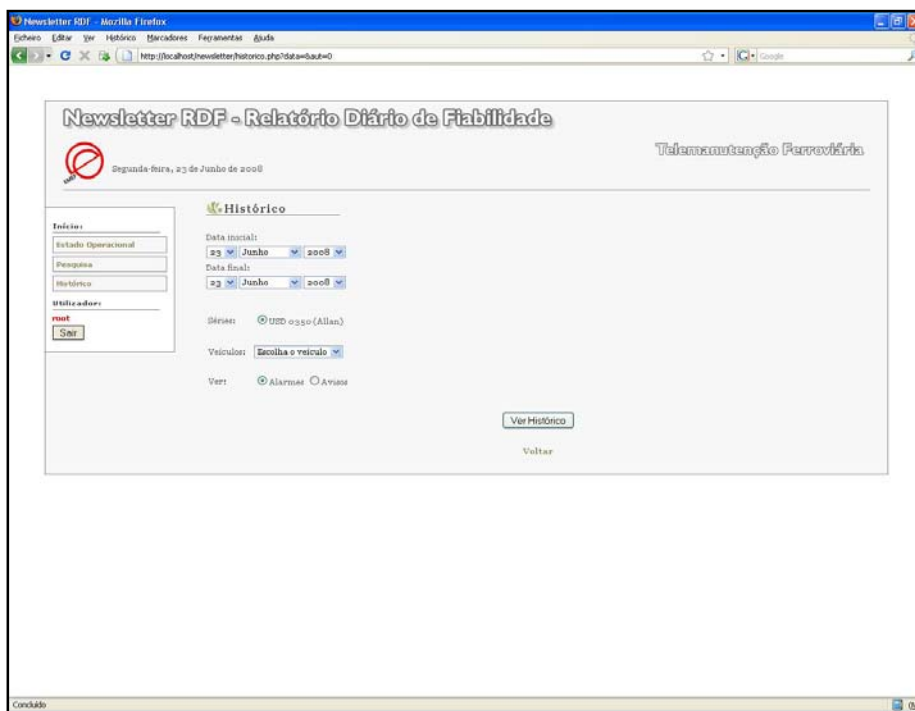


Figura 3.18 - Página do Histórico.

A consulta do histórico de avisos e alarmes é possível na secção “Histórico”.

O formulário contém o período de tempo pretendido, a série e a identificação do veículo em causa e a possibilidade de escolher entre a visualização dos avisos ou alarmes.

Ao submeter o formulário, é apresentada a lista de alarmes ou de avisos ocorridos no período de dias seleccionado, com informação da data e hora da última ocorrência, uma descrição do aviso ou alarme, o número de ocorrências no período escolhido, a sua prioridade e o código RCM.

Newsletter RDF - Relatório Diário de Fiabilidade
Segunda-feira, 23 de Junho de 2008
Telmantenção Ferroviária

Histórico da Automotora 0361

Alarmes

Data da última	Descrição	Ocorr.	Prioridade	Cód. RCM
2008-10-23 15:02	Falha de Comunicação	10	●	
2008-10-23 14:58	Avaria da Urc	9	●	
2008-10-23 14:58	Avaria do Controlo de Excitação do Gerador 2	8	●	
2008-10-23 14:58	Avaria do Controlo de Excitação do Gerador 1	8	●	
2008-10-20 11:35	Aviso Homem Morto	6	●	
2008-10-23 21:22	Baixa Velocidade do Motor Diesel 2	4	●	
2008-10-23 21:22	Baixa Velocidade do Motor Diesel 1	3	●	
2008-10-23 05:54	Falha Taro - Eixo 3	13	●	
2008-10-20 07:00	Falha Taro - Eixo 4	3	●	

Ver Avisos | Voltar

Figura 3.19 - Lista de alarmes.

Newsletter RDF - Relatório Diário de Fiabilidade
Segunda-feira, 23 de Junho de 2008
Telmantenção Ferroviária

Histórico da Automotora 0361

AVISOS

Data da última	Descrição / Diagnóstico	Ocorr.	Prioridade	Cód. RCM
2008-12-04 11:27	Baixa pressão de óleo no motor Diesel 1	1	●	3
2008-12-05 05:16	Pressão residual no freio de bogie 1	1	●	10
2008-12-05 05:16	Pressão residual no freio de bogie 2	1	●	11
2008-12-05 05:34	Desequilíbrio nos motores de tracção da central 1	4	●	17
2008-12-05 05:34	Desequilíbrio nos motores de tracção da central 2	4	●	18
2008-12-23 10:58	Baixa velocidade do motor Diesel 1	1	●	1
2008-12-04 13:51	Sobrecarga do campo independente da central 1	1	●	12

Ver Alarmes | Voltar

Figura 3.20 - Lista de alertas.

Caso o utilizador seleccione a visualização dos avisos, é apresentado um gráfico correspondente às variáveis relacionadas com o aviso, salientando os pontos onde este ocorreu. É possível a visualização dos dados seleccionados em forma de tabela.

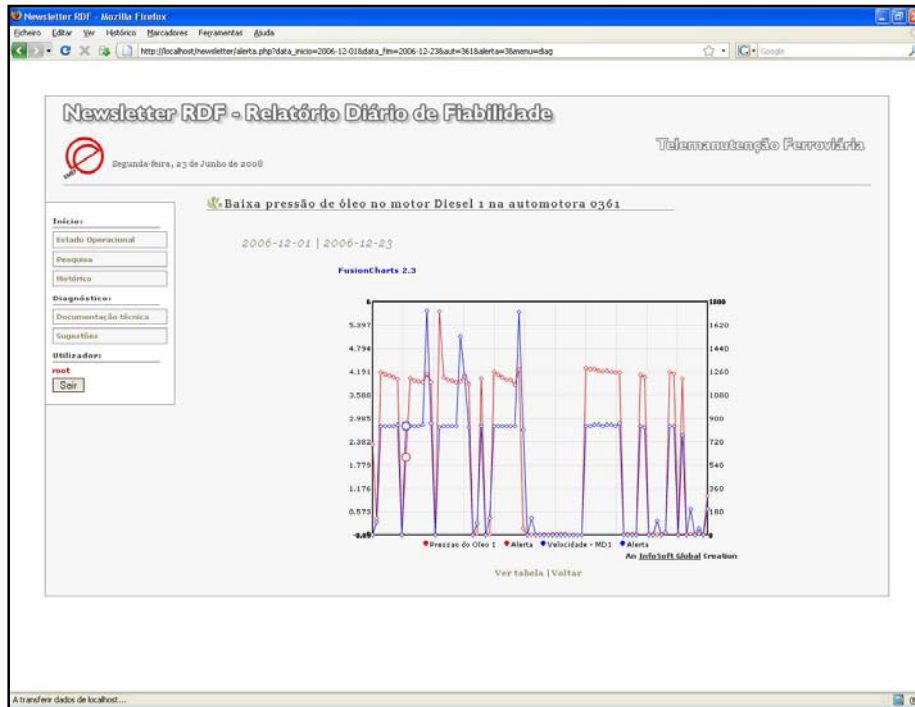


Figura 3.21 - Resultado de uma pesquisa.

Nesta situação são acrescentados mais dois separadores ao menu: “Documentação Técnica” e “Sugestões”. Deste modo, é conferido ao sistema a função de *Help-Desk* ferroviário. Na documentação técnica estão disponíveis documentos, relatórios, instruções de trabalho, esquemas eléctricos e mecânicos relacionados com o aviso em causa. Nas sugestões são indicadas potenciais causas que estiveram na origem do aviso, bem como medidas de despenhagem conducentes À correcção da eventual avaria a ocorrer.

3.2.2.2 - Aferição de Alertas

Existe uma lista de avisos e alarmes predefinida. Os alarmes são detectados pelo autómato instalado na automotora e enviados para o Centro de Telegestão. Os avisos são gerados mediante a aplicação de regras (incorporadas no sistema) aos valores das variáveis recebidas.

As regras implementadas no sistema de gestão foram estabelecidas com base em reuniões efectuadas com os peritos que trabalham directamente com o MCF, conhecendo assim a dinâmica das variáveis dos principais sistemas constituintes do mesmo. Devido a este facto, o sistema desenvolvido adquire o carácter pericial (baseado em regras), sendo dotado de um comportamento semelhante ao efectuado por um perito na área técnica em questão.

Esta vertente da Inteligência Artificial é amplamente utilizada em aplicações de diagnóstico automático associado a sistemas de apoio à decisão.

As regras desenvolvidas são do tipo determinístico:

IF <condição 1> **AND** <condição 2> **AND** ... <condição n> **THEN** <operação>

As regras desenvolvidas são referentes a:

- Baixa velocidade do motor Diesel;
- Baixa pressão de óleo no motor Diesel;
- Baixa pressão na conduta de alimentação;
- Alta temperatura à entrada do radiador;
- Baixa pressão hidrostática;
- Pressão residual no freio do bogie;
- Sobreexcitação do campo independente;
- Deficiência do campo próprio;
- Falha de comunicação crítica;
- Desequilíbrio eléctrico nos motores de tracção.

3.3 - Integração da Telemanutenção Ferroviária na estratégia de manutenção da EMEF

Todo o material circulante da CP tem associado um ciclo de manutenção preventivo temporal, em que a exploração do potencial de vida dos órgãos em função do seu estado de condição não é equacionada. Os sistemas de apoio à decisão permitem a introdução de um conceito de manutenção com estreitas ligações à filosofia RCM (Manutenção Centrada na Fiabilidade, do acrónimo inglês *Reliability Centered Maintenance*).

A metodologia RCM, introduzida pela primeira vez na década de 60 na área da aviação civil, providencia uma forma prática e estruturada de se alcançar resultados otimizados na estratégia de manutenção adoptada para cada sistema alvo. A CP tem apostado de forma sustentada nesta política de manutenção.

O objectivo central é a determinação das acções necessárias para garantir que os activos físicos cumpram as funções que lhe são exigidas no enquadramento do seu contexto operacional.

Um dos aspectos determinantes na implementação dos programas de gestão de manutenção é a obtenção de informação/dados suficiente sobre a performance de uma dada frota de MCF, tais como falhas correlacionadas, avarias e outras medidas que permitam aferir a condição do equipamento.

A avaliação, agrupamento e comparação de uma quantidade apreciável de informação, cada vez mais comum com a crescente automatização dos sistemas/processos embarcados no MCF, não poderão ser geridos de forma eficiente por um sistema de informação generalista (não personalizado) no qual é dada importância apenas a parâmetros de integração global. Na metodologia RCM, diferentes tipos de componentes e equipamentos conduzem inevitavelmente ao desenvolvimento de distintas políticas de manutenção, que envolvem naturalmente uma grande variedade de padrões de modos de falha.

Capítulo 4

Implementação

De modo a adaptar os módulos, restabelecendo a comunicação entre eles, foram desenvolvidas as acções apresentadas neste capítulo.

4.1 - Depuração dos erros do software do computador embebido

Após o estudo, teste e análise da aplicação de controlo do computador embebido, foram detectados alguns erros na execução da mesma.

Um dos erros detectado ocorria na conversão dos valores lidos (em formato binário) para o valor armazenado (em formato decimal). A correcção desta falha foi demorada e de difícil detecção, uma vez que a primeira suspeita apontava para um erro de endereçamento da leitura da memória do autómato. No entanto, após confirmação do correcto endereçamento e pesquisa do valor encontrado na memória definida do autómato, foi possível eliminar esta suspeita. De seguida, a verificação do funcionamento da aplicação incidiu na formatação dos valores para inserção no ficheiro de texto com os dados recolhidos. Foi detectado então que a função de conversão do formato binário para decimal não estava correctamente implementada, tendo esta sido corrigida.

Outra falha detectada ocorria quando a aplicação era executada durante um período longo. Após o envio de vários ficheiros através do modem GPRS, o correcto funcionamento do software era bloqueado. Após vários testes, em que foram desactivados ciclicamente os módulos do software, foi circunscrito o problema à thread "*filesender*". Uma das bibliotecas utilizadas para o envio dos dados não terminava os processos iniciados. Deste modo, cada vez que se procedia ao envio de um ficheiro, era iniciado um novo processo, não sendo este terminado no final, levando à não libertação de recursos e conseqüente mal funcionamento da aplicação.

Para a compilação do programa e de modo a corresponder à arquitectura do computador embebido, foi necessária a utilização de um conjunto de ferramentas de software utilizadas para construir aplicações, e denominadas de *toolchains*. O *toolchain* utilizado foi obtido através do site do fabricante do computador embebido adoptado, ficando assim assegurado a utilização do *cross-compiler* correcto. O termo *cross-compiler* representa um compilador capaz de gerar um código executável para uma plataforma diferente daquela em qual o compilador corre (neste caso, um computador pessoal). A sua razão de existência deve-se ao facto de os sistemas embebidos – plataforma alvo destas compilações – disporem de recursos de *hardware* bastante limitados, como a memória não volátil para o armazenamento das aplicações (e sistema operativo caso esteja disponível), a memória RAM e também o processador (que não seria capaz de compilar as aplicações mais complexas com a celeridade desejada).

4.2 - Implementação do interface no computador embebido

Uma das funcionalidades disponibilizadas pelo computador embebido adoptado mas não utilizada era a existência de um *display* LCD e cinco botões externos de interface configurável.



Figura 4.1 - Interface do computador embebido.

O *display* foi utilizado para interface com o operador do veículo, em caso de mal funcionamento do sistema de Telemanutenção. É disponibilizado no visor o endereço IP da ligação do modem, de modo a ser possível aceder aos dados recolhidos e armazenados no computador embebido em caso de mal funcionamento da Plataforma de Telemanutenção ou a realizar alterações ao seu software. Em qualquer momento é possível estabelecer contacto telefónico com o maquinista do veículo, solicitando-lhe o endereço apresentado no visor. Deste modo, acede-se ao conteúdo do computador embebido pelo seu servidor FTP, realizando as alterações pretendidas remotamente e evitando uma deslocação à oficina. Os botões externos de interface foram também configurados, de modo a disponibilizarem funções simples ao operador, nomeadamente a iluminação do *display* e a possibilidade de reinicializar o computador.

4.3 - Remapeamento das variáveis monitorizadas no autómato do veículo

Os endereços das variáveis a monitorizar encontravam-se dispersos pela memória interna do autómato.

De modo a tornar a leitura das variáveis mais rápida e eficiente, foi discutido e analisado com o responsável pela manutenção dos veículos em causa a possibilidade de remapear, de modo sequencial, as variáveis monitorizadas pelo sistema de telemantenção. Para ser possível executar esta acção, foi realizado um estudo ao código que é executado no autómato para controlo da automotora. A linguagem utilizada é Ladder Logic 984. De modo a interferir o mínimo possível com o software de controlo do veículo, foi criada uma nova secção, denominada de supervisão. Nesta, procedeu-se ao remapeamento de todas as variáveis de interesse, estando neste momento localizadas numa secção de memória bem definida.

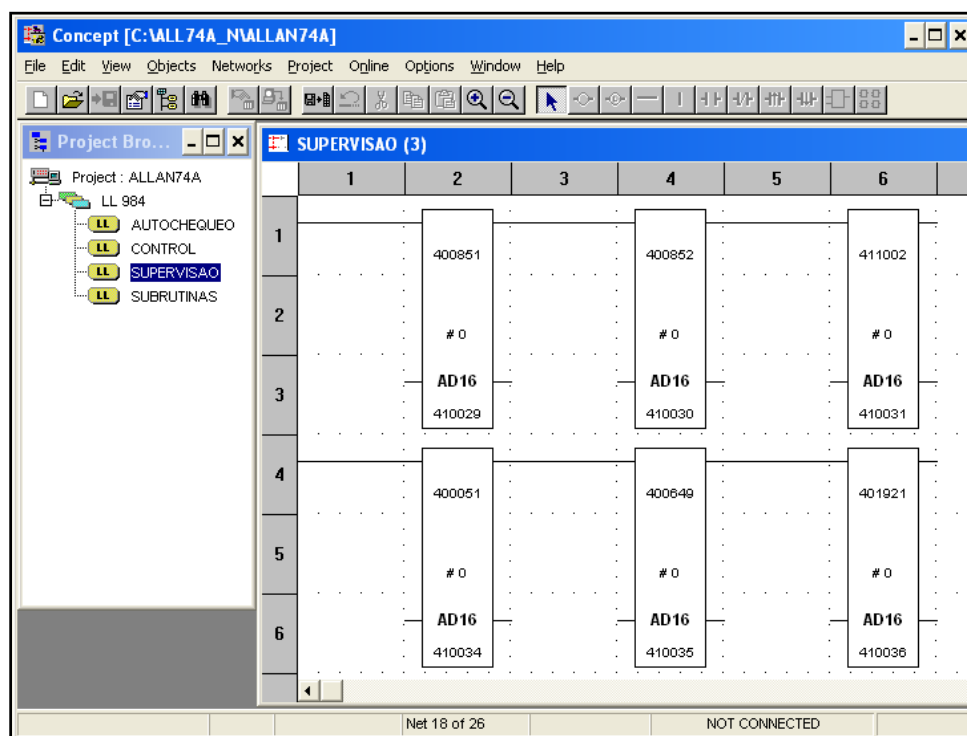


Figura 4.2 - Remapeamento de variáveis (*software Concept, da Schneider Electric*).

Embora este estudo e alteração do software tenha sido supervisionado e o seu resultado analisado pelo responsável por esta série de veículos, é de extrema importância a realização de um teste ao funcionamento desta versão do software numa automotora. Deve ser analisado o impacto das alterações efectuadas, nomeadamente a nível das alterações ao tempo de execução do seu ciclo e as suas consequências.

4.4 - Reestruturação da base de dados

A base de dados utilizada no Centro de Telegestão está alojada num servidor MSSQL. Após uma análise e reestruturação da sua estrutura, a informação presente na base de dados, com os dados provenientes dos veículos equipados com a Plataforma Telematização, assenta em oito tabelas:

- **Veiculos:** onde é inserida o nome do veiculo em causa, sendo-lhe atribuído automaticamente uma identificação (veiculo_id) Esta identificação irá ser utilizada

em todas as tabelas da base de dados, sempre que se pretenda relacionar o veículo com qualquer informação. Nesta tabela será também armazenada o endereço de IP da ligação do modem GPRS. A série a que corresponde o veículo em causa é extraída da tabela Tipo_veiculo.

- **PosicaoVeiculos:** é nesta tabela que fica armazenada a posição do veículo obtida através do receptor GPS, bem como a hora a que esta foi obtida. Deste modo é possível recriar o percurso executado pelo veículo.

- **ConfVariaveis:** possui a configuração das variáveis, a série de veículos a que corresponde, com o endereço de memória do autómato e a correspondente descrição da variável (por exemplo: "Corrente de Excitação Gerador 1", "Tensão das baterias").

- **ConfAlarmes:** semelhante à tabela anterior, mas referente aos alarmes.

- **ConfAlertas:** esta tabela possui informações de configuração dos Alertas, nomeadamente as variáveis envolvidas na ocorrência do alerta e a descrição do mesmo.

- **RegistosVariaveis:** são armazenados os valores das variáveis provenientes dos veículos e a hora a que estas medições ocorreram.

- **RegistoAlarmes:** semelhante à tabela anterior, mas referente aos alarmes.

- **RegistoAlertas:** semelhante à tabela anterior, mas referente aos alertas.

- **Alarmes:** nesta tabela ficam armazenados os alarmes ocorridos, com a informação de terem sido reconhecidos ou não.

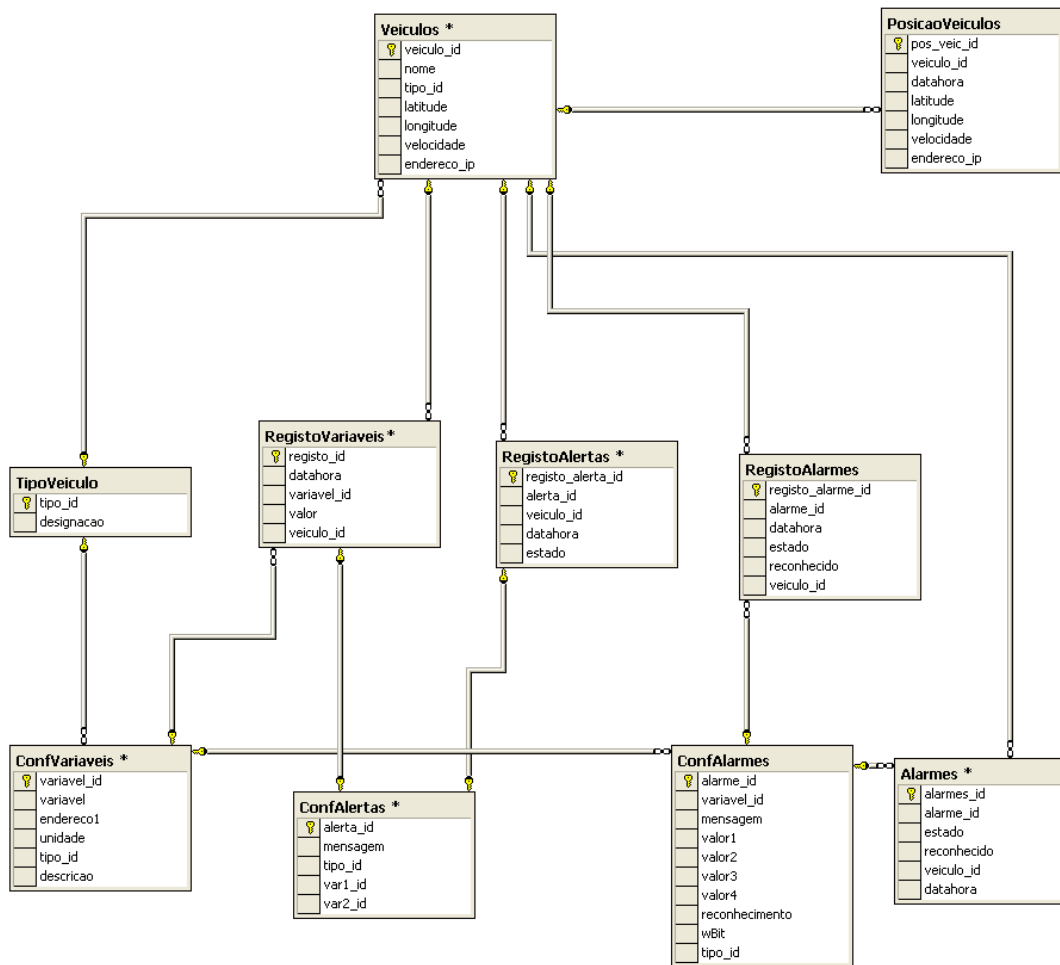


Figura 4.3 - Diagrama da base de dados.

4.5 - Criação de rotina para análise e inserção dos dados na base de dados

De modo a interligar a Plataforma de Telemanutenção e o Centro de Telegestão, foi necessário proceder à análise dos ficheiros recebidos no CT e inserção do seu conteúdo na base de dados. Deste modo, o sistema de gestão *Newsletter* RDF acede à base de dados e apresenta o seu conteúdo nas secções anteriormente descritas.

Esta rotina de análise e colocação da informação dos ficheiros recebidos na base de dados foi desenvolvida em PHP. Este *parsing* aos ficheiros é realizado por secção (PLC1, GPS, INFO, EOF) e por tipo de variável (*bit*, *word*, *double word*,...), colocando os dados nas tabelas respectivas da base de dados. À medida que cada ficheiro é processado, este é movido para um directório onde são armazenados todos os ficheiros recebidos.

A integração desta rotina na execução da *Newsletter RDF* é realizada nos instantes em que esta actualiza a informação das suas páginas, acedendo à base de dados para consultar os registos mais recentes. Aquando desta actualização (que ocorre todos os minutos), a aplicação é direccionada para a rotina de PHP que realiza o processamento dos ficheiros. Quando não existir mais nenhum ficheiro no directório, é recarregada a página actual da *Newsletter RDF*, apresentando já os dados mais recentes recebidos da Plataforma de Telemantenção e inseridos na base de dados do Centro de Telegestão.

4.6 - Criação de uma nova secção na *Newsletter RDF*

O Centro de Telegestão está neste momento preparado para apresentar dados referentes aos veículos da série Allan 0350. Foi acrescentada uma nova secção ao seu software, de modo a ser possível visualizar os dados recebidos referentes à série de veículos UTE 2240, actualmente em fase de estudo da implementação do sistema de Telemantenção Ferroviária. Tal como toda a aplicação do Centro de Telegestão, esta secção foi desenvolvida em PHP.

Na secção criada é possível consultar o estado operacional da frota, através da condição da sua "Cadeia cinemática", do sistema de "Comando e controlo", "Refrigeração" e ainda "Produção de Ar e Freio". Caso se pretenda uma descrição pormenorizada do valor de cada variável monitorizada, é disponibilizada uma tabela onde estes são discriminados.

De modo a testar o funcionamento desta nova secção desenvolvida, foi criada na base de dados uma nova tabela e, recorrendo à rotina criada para análise e inserção dos ficheiros recebidos, os seus valores foram sendo permanentemente actualizados.

Newsletter RDF - Relatório Diário de Fiabilidade
 Telemantenção Ferroviária
 Sexta-Feira, 11 de Julho de 2008

Estado Operacional da Série Allan 0350 | UTE Série 2240

Aut.	Man.	Estado	Cadeia Cinemática	Comando e Controlo	Refrigeração	Produção de Ar e Freio	Descrição detalhada
UTE 2240	345500 km	Ligada	OK	OK	OK	cahrico	CONSULTAR

Estado Operacional da Série Allan 0350 | UTE Série 2240

Rp1 M Rp2

BCE1

Declar. recollido em: 11 Jun 2008 08:06

ENTRADAS

BYTE 0	BYTE 1	BYTE 2
Oil Compressor Start/End	Adairy Long Status	Vehicle Id 0
Oil Compressor C. Fault	Speed Sensor Fault	Vehicle Id 1
Compressor Equipment Fault	One Axle Failure	CR0/A TIP Card Failure
Compressor Command Fault	Several Axle Failure	EB0/A Card Failure
Compressor Temperature Fault	Wheelset System Fault	EB0/A Card Failure
CONVEL Brake Activation	AW1.1 Box. B Civi Failure	Load Sensor Fault
Emergency Brake Activated	AW1.1 Box. 2 Civi Failure	Pressure Sensor Fault
Electric Brake Cut Off	Bleeding Activation	Electric Brake Fault

BYTE 3 **BYTE 4** **BYTE 5**

Braking Fault	Brake Cylinder Reggias level	Parking Brake Released: 1: other
---------------	------------------------------	----------------------------------

Figura 4.4 - Secção para visualização dos dados da UTE 2240.

Capítulo 5

Análise qualitativa das tecnologias de suporte

5.1 - Controlo da Plataforma de Telemanutenção

Computador embebido

O computador embebido é responsável por aceder à memória do autómato “REMAS”, possuindo o sistema operativo *Linux* que providencia uma arquitectura aberta para comunicações com diferentes protocolos de comunicação.

A ferramenta utilizada para processar as leituras efectuadas no autómato “REMAS”, coordenar a leitura do receptor GPS e proceder ao envio dos ficheiros criados foi um computador embebido do fabricante MOXA.



Figura 5.1 - Computador embebido do fabricante MOXA.

Este computador possui as seguintes características:

- Processador: IXP-422 266MHz;
- Memória RAM: 128Mb;
- Memória flash de 32 Mb;
- 2 x Placa de Rede;
- 8 x Porta RS-232/422/485 (portas RJ45);
- 2 x Porta USB 2.0;
- Entrada para placa PCMCIA 2.1/ JEIDA 4.2;
- *Display*: matriz de 128x64 pontos;
- 5 botões externos de interface configurável;
- Alimentação: 12 a 48 V;
- Consumo de Potencia: 890 mA@12 VDC, 12W;

Características mecânicas:

- Dimensões: 197 x 125 x 44 (mm)
- Peso: 875 g

Ambiente:

- Temperatura de Operação: -10 a 60°C
- Anti-Vibration: 1G @ IEC-68-2-6, sine wave, 5-500 Hz, 1 Oct./min, 1 hr/axis
- Anti-shock: 5G @ IEC-68-2-27, half sine wave, 30 ms

Este computador tem como principais vantagens o facto de possuir oito portas de série, o que é bastante importante caso este tenha que ser ligado a diversos autómatos ou módulos externos. A existência de um visor LCD permite a exibição de mensagens de texto para auxílio do operador do veículo, em caso de mal funcionamento do sistema, bem como a permanente exibição do endereço de IP da ligação via modem GPRS.

Carta no autómato

Uma outra solução para o processamento e envio de dados para o Centro de Telegestão seria a inclusão de uma carta no autómato que controla a automotora. Esta seria responsável por proceder ao envio dos valores das variáveis pretendidas, podendo este ser programado para ocorrer temporalmente espaçado ou caso ocorra um evento.

Uma possível solução de carta poderia ser o modelo W315 da série de equipamentos de monitorização remota W@DE da *Telemecanique*.



Figura 5.2 - Plataforma modular W@de - W315.

Este modelo é compatível com o PLC da automotora e possui as seguintes funcionalidades:

- um modem integrado GSM/GPRS;
- um servidor Web embebido, que permite supervisão do processo através de um browser de internet;
- Gateway de comunicação para PLCs, através de MODBUS RS485/RS232.

Com esta integração de uma carta no autómato já existente, iria ser necessário proceder a alterações no código que controla o funcionamento da automotora. Estas modificações no código do PLC seriam possíveis na automotora Allan 0350 uma vez que este código se encontra aberto e livre de qualquer protecção de segurança, estando assim disponível para ser alterado. Obviamente que qualquer alteração realizada no código do PLC central teria que ser devidamente analisado e fundamentado, de modo a evitar qualquer interferência no funcionamento normal da automotora.

A inclusão de uma carta no autómato já existente iria poupar bastante espaço relativamente à inclusão um PC embebido e de um modem GPRS, uma vez que teria que ser criada uma plataforma onde estes fossem colocados. Em relação à carta do autómato, bastaria acrescentá-la no seguimento das outras que compõem o PLC central (dentro do seu armário).

A principal desvantagem desta solução é o facto de nem todos os veículos possuírem uma arquitectura centralizada, onde toda a informação de controlo da automotora está localizada num PLC, com o código totalmente aberto e desprotegido. Este facto torna este veículo único e propício para a instalação de uma única carta com comunicação GPRS. No entanto, seria sempre uma solução específica para esta arquitectura, e dificilmente repetível para outras séries de veículos.

Considerando os argumentos acima apresentados, conclui-se que a utilização de um computador embebido é mais adequada e vantajosa para o sistema pretendido, apresentando-se como uma solução que pode ser adaptada a outras séries de veículos e a requisitos diferentes dos actuais.

5.2 - Sistema de transmissão de dados

A utilização de um modem GPRS foi a solução adoptada para a troca de dados entre a Plataforma de Telemanutenção e o Centro de Telegestão. A sua maior limitação assenta na dependência da cobertura da rede móvel de comunicações em todas as linhas. Não são desprezáveis também os gastos com a transmissão de dados. Como alternativa à sua utilização, existe o sistema Rádio Solo Comboio, já implementado e em utilização na ferrovia portuguesa.

Sistema Rádio Solo Comboio

Com o aparecimento de novas tecnologias, os sistemas de comunicações foram evoluindo, existindo actualmente um sistema celular privado da REFER (Rede Ferroviária Nacional, EP), designado por Sistema Rádio Solo Comboio, permitindo este comunicações de voz e dados. O Rádio Solo Comboio (RSC) é um sistema de transmissão que visa essencialmente a comunicação entre o agente regulador da circulação e os maquinistas com o objectivo de transmitir informações auxiliares de exploração. Para esse efeito, a linha ferroviária encontra-se dividida em vários troços, denominados por sectores de regulação. Em cada sector de regulação funciona um sistema de Rádio Solo Comboio independente, existindo um canal de voz que permite estabelecer as seguintes comunicações:

- Agente regulador ↔ Maquinista (função mais usual)
- Agente regulador ↔ Revisor
- Agente regulador ↔ Passageiros
- Agente regulador ↔ Estação
- Estação ↔ Maquinista

Por concepção do sistema, apenas é possível o estabelecimento de uma única comunicação de fonia em cada momento. A gestão da prioridade das comunicações é assegurada pelo agente regulador. É também possível estabelecer comunicação a partir da rede telefónica, para o interior dos comboios - e vice-versa - utilizando o canal de voz. Este tipo de comunicações passa sempre pelo agente regulador que a autoriza, que lhe concede uma ordem de prioridade e que efectua a comutação necessária à ligação entre as duas redes.

Esta facilidade é actualmente utilizada apenas para comunicação entre o permanente de tracção e os maquinistas. O canal de voz pode difundir uma mensagem de alarme desencadeada por qualquer agente (regulador, maquinista ou chefe de estação), mensagem essa que se sobrepõe às outras comunicações e é recebida por todos os postos. O débito de informação do sistema Rádio Solo Comboio permite a transmissão de dados, mas com capacidade muito limitada. Actualmente, o RSC transmite dados relativos a informações do tipo número de marcha do comboio, estado do ATC (*Automatic Train Control*), estação base, etc., dados esses que são recolhidos num computador central dedicado para o efeito e partilhados através da rede informática interna pelos órgãos interessados.

Os sistemas de sinalização simplificada utilizando a comunicação entre o posto de comando e o maquinista com base no sistema ETCS (*European Train Control System*), cuja aplicação é desejável para determinadas linhas da REFER, requerem como suporte um sistema de transmissão de muito maior débito que o Rádio Solo Comboio. Para além de um canal de voz, deverão ser consideradas múltiplas transmissões de dados do posto de comando para as cabines de condução em circulação, e vice-versa, nomeadamente:

- Envio de mensagens de pedido e autorização de avanço entre o posto de comando e os diferentes comboios;
- Envio de mensagens do posto de comando para a cabine de condução, com indicação das velocidades máximas para diferentes troços e indicações de alteração de marcha;
- Envio de mensagens cadenciadas dos comboios para o posto de comando, com a indicação da distância percorrida e da velocidade instantânea;
- Envio de mensagens do comboio para o posto de comando associadas à passagem por uma baliza, se estas forem instaladas para separação de cantões ou para sincronismo da posição dos comboios.

Este cenário conduz a uma transmissão simultânea de mensagens por diferentes canais, e a uma frequência elevada de envio de mensagens por canal. O sistema de comunicação a utilizar deverá ser concebido de forma a permitir a transmissão segura dos dados, que não introduza atrasos e que garanta o processamento de todas as mensagens necessárias sem congestionamento.

Actualmente, não é possível assegurar a transmissão de dados pretendida à frequência desejada. No entanto, através da utilização de uma rede GSM dedicada, denominada por GSM-R (*Global System for Mobile Communication for Railway applications*), os requisitos de transmissão de dados poderão ser cumpridos.

Deste modo, conclui-se que a solução adoptada – utilização de um modem GPRS – cumpre os requisitos pretendidos, sendo no entanto desejável o estudo mais aprofundado do sistema Rádio Solo Comboio, nomeadamente a realização de testes de transmissão de dados à frequência desejada. Caso a adaptação do sistema, de modo a cumprir os objectivos definidos para o Telemanutenção Ferroviária, seja possível, a integração do sistema RSC seria extremamente vantajosa, quer em termos económicos, como a nível de segurança de transmissão.

Capítulo 6

Avaliação e discussão dos resultados

O projecto final foi alvo de testes a nível laboratorial, onde foi possível replicar o funcionamento da automotora. Os testes consistiram na ligação da Plataforma de Telemantenção a um autómato idêntico ao instalado nos veículos em causa, recolha dos dados pretendidos, envio dos ficheiros para o Servidor da Telemantenção e apresentação dos mesmos no sistema de informação disponibilizado no Centro de Telegestão.

De modo a testar a ocorrência de alarmes ou o mal funcionamento do veículo, acedeu-se directamente à memória do autómato, alterando o valor das variáveis armazenadas e “forçando” a ocorrência de alarmes. Analisando a informação apresentada no Centro de Telegestão e comparando-a com o valor das variáveis do autómato foi possível verificar que o funcionamento do sistema ocorreu sem erros. O facto de o sistema ter recolhido e processado dados durante um longo período, permitiu dissipar falhas provenientes de deficiente alocação e libertação de memória e processos.

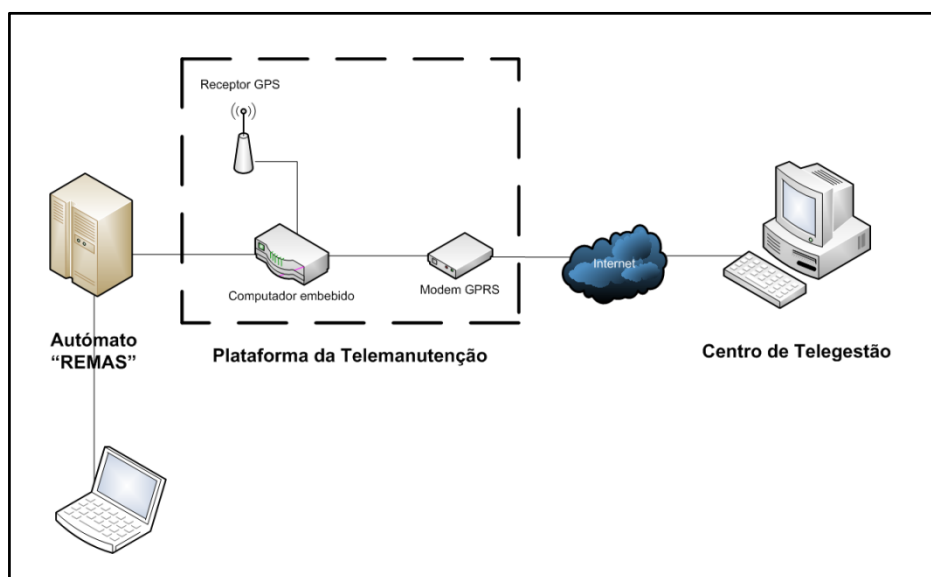


Figura 6.1 - Validação do sistema.

Embora estivesse previsto a realização de um teste experimental, através da instalação da plataforma desenvolvida numa automotora e recolha e análise dos dados durante três dias, este não foi possível de realizar devido a atrasos no desenvolvimento do projecto e incompatibilidade logística da EMEF, tendo este sido adiado. No entanto, a realização do mesmo é de importância fulcral para a validação do projecto, uma vez que determinadas condições do meio de funcionamento pretendido não são possíveis de replicar em ambiente laboratorial, nomeadamente as vibrações sentidas no movimento do veículo ou as dificuldades de captação de rede móvel em certas áreas.

6.1 - Melhorias provenientes da Telemanutenção Ferroviária

Recorrendo a testes realizados em laboratório, e a estimativas provenientes de dados recolhidos no projecto-piloto, é possível deduzir as seguintes vantagens provenientes da implementação do sistema de telemantenção nos veículos da série Allan 0350:

- Aumenta a quantidade de manutenção sob condição;
- Facilita a resolução de avarias intermitentes;
- Melhora a detecção de falhas ocultas;
- Diminui a mão-de-obra utilizada na detecção de falhas;
- Permite direccionar a mão-de-obra para a resolução de avarias;
- Diminui risco da existência de falhas múltiplas;
- Diminui o risco de supressão de comboios em linha;
- Melhora a organização da manutenção através da antecipação da programação das tarefas a desenvolver;
- Permite melhorar a fiabilidade da análise RCM.

Recentemente foi realizado um estudo da responsabilidade da CP/EMEF, onde foram quantificados os benefícios da utilização deste sistema:

- Aumento da disponibilidade em 8% (+ 2800 H / + 59.200 Km)
 - Cumprimento Ciclo Manutenção Preventivo: +1150 h
Diagnósticos errados não permitem a saída do veículo de acordo com o programado;
 - Diminuição Visitas por Avaria: + 1650 h
Parte dos problemas são resolvidos nas Visitas Programadas & Equipas de Intervenção Rápida no terreno e NÃO veículos necessariamente na oficina.
- Redução dos custos de manutenção
 - Manutenção Preventiva: - 8,5 % (37.400 Euros)
Maior rapidez de diagnóstico off-line;
 - Manutenção Correctiva: - 10,5 % (44.400 Euros)
Situação induzida pelo célere e preciso diagnóstico on-line.

Capítulo 7

Conclusão

Considero que os objectivos propostos foram alcançados, estando actualmente o sistema pronto para ser instalado e testado numa automotora. O projecto-piloto estudado apresenta-se actualmente como um modelo com as características necessárias para ser aplicado a escala industrial.

O sistema actual é um modelo mais robusto e com uma arquitectura totalmente aberta. É um sistema mais flexível e versátil do que o inicial, com possibilidade de alteração fácil das variáveis a monitorizar. Devido a estas características, a sua adaptação a outros veículos será facilitada.

A análise qualitativa e a fase de avaliação das tecnologias propostas ao sistema em questão, enquanto etapas da metodologia de Reengenharia, apresentaram-se como sendo uma mais-valia para o desenvolvimento sustentado do projecto, permitindo que o mesmo se desenrolasse sem atrasos significativos, fruto de uma boa estruturação do problema e afectação das etapas do mesmo ao período disponível para o seu desenvolvimento.

Após estudo e análise da solução para o projecto em causa e após a adaptação de que foi alvo, posso concluir que as tecnologias utilizadas são adequadas ao objectivo proposto, cumprindo plenamente a sua função e dando garantias de fiabilidade e robustez.

Um dos estudos de que foi alvo a Plataforma de Telemantenção incidiu na versatilidade e capacidade de adaptação a diferentes arquitecturas. Não se pretendia criar uma plataforma direccionada para um modelo específico, mas sim desenvolver uma que permitisse a sua utilização em diferentes séries de veículos, com um mínimo possível de modificações – preferencialmente só a nível de *software*. A utilização de um computador embebido com múltiplas portas-série permite assegurar esta facilidade de adaptação a diferentes necessidades, podendo a Plataforma de Telemantenção ser produzida em série e adaptando somente o *software* do computador embebido às necessidades do veículo onde esta for aplicada.

Com a possível introdução futura da transmissão dos ficheiros por Rádio Solo Comboio, ficaria ultrapassada uma das fragilidades do sistema: a dependência da transmissão

de dados da rede móvel de comunicações. Ficaria assegurada a cobertura em toda a ferrovia, bem como a sua segurança e rapidez de transmissão. A adopção do RSC como meio de transmissão seria também extremamente vantajosa a nível económico, dado que o proprietário do sistema é a CP.

Destacam-se de seguida algumas das vantagens disponibilizadas actualmente pelo sistema de informação presente no Centro de Telegestão:

- Disponibilização de informação em tempo-real relativamente ao estado operacional de um dado veículo da frota de MCF;
- Possibilidade de pesquisa das variáveis monitorizadas pelo sistema para um determinado período de tempo, sendo esta informação disponibilizada sob a forma de gráfico cartesiano ou tabela;
- Possibilidade de o utilizador consultar o histórico técnico do MCF, de forma a ter acesso a alertas e alarmes (existindo *links* para visualização de toda a informação relevante associada), bem como a tendências de evolução de variáveis, sustentando a tomada de decisões a tomar, por parte das Manutenções ou do Gestor da Frota. Neste ponto será relevante também a indicação clara sob a forma gráfica, relativamente aos pontos de alerta/alarme;

Pelas previsões apresentadas e considerando a instalação do sistema de Telemanutenção Ferroviária na frota de veículos da CP, é possível prever uma poupança de aproximadamente 81800 euros/ano e um aumento de disponibilidade de 2800 horas/ano, o que torna este sistema extremamente vantajoso e fulcral para o desenvolvimento da empresa e da optimização dos seus recursos. É um projecto que merece continuidade e uma evolução progressiva, de modo a corresponder cada vez mais às necessidades da empresa e a tornar-se o mais intuitivo possível para o utilizador.

O facto de este projecto ter decorrido em ambiente empresarial tornou esta experiência mais enriquecedora do ponto de vista pessoal. Permitiu-me estabelecer contacto com uma área até então desconhecida, ser inserido numa equipa de trabalho e participar no desenvolvimento de um projecto pioneiro em Portugal.

7.1 - Trabalhos futuros

Grande parte do desenvolvimento do projecto incidiu no estudo de documentação e análise de módulos previamente desenvolvidos, pelo que alguns módulos poderão sofrer melhoramentos que permitirão dotar o sistema de novas funcionalidades.

De modo a aperfeiçoar o software desenvolvido do computador embebido e adaptá-lo cada vez mais às necessidades da Telemantenção Ferroviária, poderão ser adicionadas futuramente algumas funcionalidades ao *software* actual:

- Envio de ficheiros ou alarmes através de e-mail ou SMS (*Short Message Service* – mensagem de texto);
- Pedido remoto de envio de um conjunto de ficheiros, entre determinado período temporal;
- Devido ao facto de o computador embebido utilizado possuir um servidor HTTP, existe a possibilidade de disponibilizar informação do mesmo através de uma interface *WEB*;
- Possibilidade de enviar os ficheiros comprimidos, de modo a permitir um envio mais rápido dos mesmos e uma poupança nos custos de envio por GPRS.

Deveria também ser ponderada a alteração do formato dos ficheiros de dados a serem enviados, optando hipoteticamente pela utilização da metalinguagem *XML*. Deste modo, os dados seriam organizados numa estrutura facilmente interpretável por outras ferramentas de análise e processamento.

No Centro de Telegestão, seria importante incluir os dados recolhidos no sistema de informação INFOTEC. Deste modo, o servidor “INFOTEC” – onde está instalado o sistema de informação da EMEF – acede ao servidor “Telemantenção” somente para extracção dos dados relativos à Telemantenção Ferroviária. A rede EMEF (cliente 1, cliente 2, ..., cliente n), que possui acesso ao servidor “INFOTEC”, teria desta forma acesso a todos os dados da Telemantenção Ferroviária.

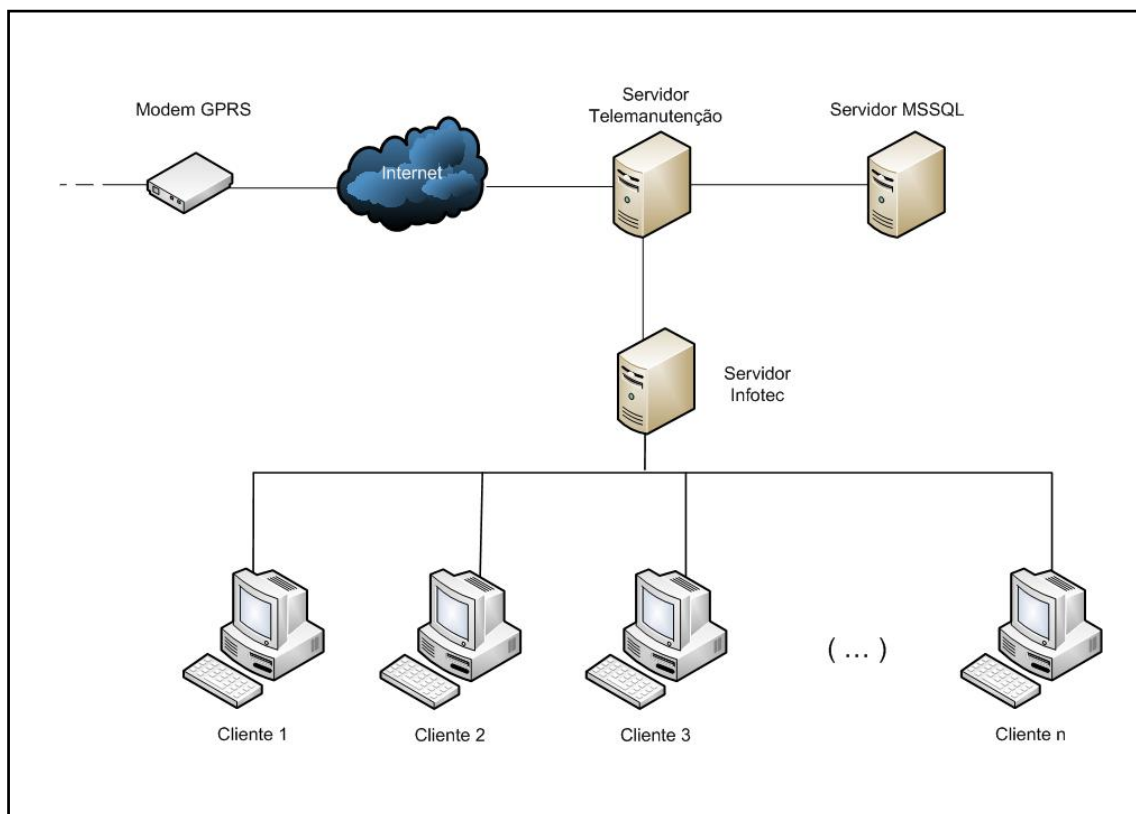


Figura 7.1 - Diagrama da arquitectura cliente-servidor, já com o servidor Infotec.

Uma funcionalidade a desenvolver deverá ser a possibilidade de colocar um veículo em modo *live*. Em modo normal de funcionamento, o veículo efectua transmissão de dados de quinze em quinze minutos. O modo *live* permitiria recolher dados de um veículo com uma periodicidade reduzida de aproximadamente quinze segundos. Com esta funcionalidade seria possível analisar o comportamento de uma determinada variável de um veículo, caso existissem suspeitas de alguma avaria. Embora o Centro de Telegestão já esteja preparado para a amostragem desta funcionalidade, será necessário configurar o envio das definições para a Plataforma de Telemanutenção com a alteração da periodicidade de transmissão.

O Centro de Telegestão encontra-se também preparado para apresentação visual da posição geográfica dos veículos monitorizados. Recorrendo às coordenadas recolhidas no GPS instalado no veículo e enviado com os restantes dados para o CT, é possível identificar, sobre uma representação visual geográfica (por exemplo: a API da *Microsoft Visual Earth*), a localização do veículo em cada instante. Esta funcionalidade não está ainda totalmente operacional, não apresentando a trajectória percorrida pela automotora.

Bibliografia

- [1] Carden, Frank, "Telemetry Systems Engineering", Artech House Incorporated, 2002.
- [2] Davenport, Thomas H. "Reengenharia de processos : como inovar na empresa através da tecnologia da informação", 1994.
- [3] Fowler, J., "Predictive Telemaintenance for Locomotives"
- [4] Fowler, J. and Jordan, L., "Locomotives, Tanks and Predictive Telemaintenance," NDIA 3rd Annual Intelligent Vehicle Systems Symposium & Exhibition, 9 a 12 de Junho de 2003.
- [5] Fowler, J., "Predictive Telemaintenance for Military Vehicles - Condition Based Maintenance with the "Earliest" Warning", 2004.
- [6] SKF, "SKF MasCon16R - On-line mechanical condition monitoring system for the railway industry", 2006.
- [7] General Electric, "iBased Solutions Overview", Dezembro de 2007.
- [8] Franco, Augusto A. M. Costa, "Sistema de Diagnóstico de Avarias Inteligente para Manutenção Ferroviária", 2001.
- [9] Santos, António, "Localização de comboios via rádio", 2003.
- [10] Sousa, Leandro, "Sistema de Apoio à Decisão aplicado à Telemanutenção Ferroviária", 2006.
- [11] Comboios de Portugal, "Manual de condução da série Allan 0350".
- [12] <http://www.scratchbox.org>, Consultado em Março de 2008.

Anexos

Lista de variáveis monitorizadas:

- NÚMERO DA AUTOMOTORA
- NÚMERO DA ACOPLADA A
- NÚMERO DA ACOPLADA B
- VALOR TEORICO DE MARCHA
- VELOCIDADE DA AUTOMOTORA
- NÚMERO DE Quilómetros DA AUTOMOTORA
- RPM MOTOR DIESEL 1
- HORAS DO MOTOR DIESEL 1
- TEMPERATURA DA AGUA DO MOTOR DIESEL 1
- CORRENTE DE EXCITAÇÃO DO GERADOR 1
- CORRENTE DO GERADOR 1
- TENSÃO DO GERADOR 1
- CORRENTE DO MOTOR 1
- CORRENTE DO MOTOR 1
- CORRENTE DO MOTOR 2
- COMUNICAÇÃO ENTRE VEÍCULOS
- NÚMERO DE AVARIAS TACO1
- NÚMERO DE AVARIAS TACO2
- RPM MOTOR DIESEL 2
- HORAS DO MOTOR DIESEL 2
- TEMPERATURA DA AGUA DO MOTOR DIESEL 2
- CORRENTE DE EXCITAÇÃO DO GERADOR 2
- CORRENTE DO GERADOR 2
- TENSÃO DO GERADOR 2
- CORRENTE DO MOTOR 3
- CORRENTE DO MOTOR 3
- CORRENTE DO MOTOR 4
- CORRENTE DO MOTOR 4
- NÚMERO DE AVARIAS TACO3
- NÚMERO DE AVARIAS TACO4
- PRESSÃO NA CONDUTA GERAL
- DIAMETRO DAS RODAS
- CORRENTE DIFERENCIAL
- TENSÃO DA BATERIA
- ESTADO TRACÇÃO/FREIO
- IK1 a IK7
- IIK1 a IIK7

Lista de alarmes:

- NIVEL DE AGUA DO DIESEL 2
- BAIXA VELOCIDADE DO DIESEL 2
- EXCESSO VELOCIDADE DO DIESEL 2
- TEMPERATURA DO DIESEL 1
- PRESSAO DO OLEO DIESEL 1
- NIVEL DE AGUA DO DIESEL 1
- BAIXA VELOCIDADE DO DIESEL 1
- EXCESSO VELOCIDADE DO DIESEL 1
- FALHA DE COMUNICAÇÃO
- AVARIA DA UCC
- VELOCIDADE MAXIMA
- BATERIA DA UCC
- CARGA DA BATERIA
- RELE DE TERRA
- HOMEM MORTO
- AVISO HOMEM MORTO
- INCÊNDIO DIESEL 2
- INCÊNDIO DIESEL 1
- GERADOR AUXILIAR 2
- GERADOR AUXILIAR 1
- SOBREINTENSIDADE NO MOTOR 4
- SOBREINTENSIDADE NO MOTOR 3
- SOBREINTENSIDADE NO MOTOR 2
- SOBREINTENSIDADE NO MOTOR 1
- AVARIA DO CONTROLE EXCITAÇÃO G2
- SOBRETENSAO DO GERADOR 2
- SOBREXCITAÇÃO DO GERADOR 2
- AVARIA DO CONTROLE EXCITAÇÃO G1
- SOBRETENSAO DO GERADOR 1
- SOBREXCITAÇÃO DO GERADOR 1
- TEMPERATURA DO DIESEL 2
- PRESSAO DO OLEO DIESEL 2
- A - AVARIA CONTROLE EXCITAÇÃO1
- A - SOBRETENSAO DO GERADOR 1
- A - SOBREXCITAÇÃO DO GERADOR 1
- A - TEMPERATURA DO DIESEL 2
- A - PRESSAO DO OLEO DIESEL 2
- A - NIVEL DE AGUA DO DIESEL – 2
- A - BAIXA VELOCIDADE DIESEL 2
- A - EXCESSO VELOCIDADE DIESEL2
- A - TEMPERATURA DO DIESEL 1
- A - PRESSAO DO OLEO DIESEL 1
- A - NIVEL DE AGUA DO DIESEL 1
- A - BAIXA VELOCIDADE DIESEL 1

- A - EXCESSO VELOCIDADE DIESEL1
- A - BATERIA DA UCC
- A - RELE DE TERRA
- A - ERRO MEDIÇÃO TEMPERATURA
- A - GERADOR AUXILIAR 2
- A - GERADOR AUXILIAR 1
- A - SOBREINTENSIDADE MOTOR 4
- A - SOBREINTENSIDADE MOTOR 3
- A - SOBREINTENSIDADE MOTOR 2
- A - SOBREINTENSIDADE MOTOR 1
- A - AVARIA CONTROLE EXCITAÇÃO2
- A - SOBRETENSAO DO GERADOR 2
- A - SOBREXCITAÇÃO DO GERADOR 2
- A - INCÊNDIO DIESEL 1
- A - INCÊNDIO DIESEL 2
- B - AVARIA CONTROLE EXCITAÇÃO1
- B - SOBRETENSAO DO GERADOR 1
- B - SOBREXCITAÇÃO DO GERADOR 1
- B - TEMPERATURA DO DIESEL 2
- B - PRESSAO DO OLEO DIESEL 2
- B - NIVEL DE AGUA DO DIESEL 2
- B - BAIXA VELOCIDADE DIESEL 2
- B - EXCESSO VELOCIDADE DIESEL2
- B - TEMPERATURA DO DIESEL 1
- B - PRESSAO DO OLEO DIESEL 1
- B - NIVEL DE AGUA DO DIESEL 1
- B - BAIXA VELOCIDADE DIESEL 1
- B - EXCESSO VELOCIDADE DIESEL1
- B - BATERIA DA UCC
- B - RELE DE TERRA
- B - ERRO MEDIÇÃO TEMPERATURA
- B - INCÊNDIO DIESEL 2
- B - INCÊNDIO DIESEL 1
- B - GERADOR AUXILIAR 2
- B - GERADOR AUXILIAR 1
- B - SOBREINTENSIDADE MOTOR 4
- B - SOBREINTENSIDADE MOTOR 3
- B - SOBREINTENSIDADE MOTOR 2
- B - SOBREINTENSIDADE MOTOR 1
- B - AVARIA CONTROLE EXCITAÇÃO2
- B - SOBRETENÇÃO DO GERADOR 2
- B - SOBREXCITAÇÃO DO GERADOR 2

