

Estratégias de implementação de plataformas de *e-maintenance* na indústria

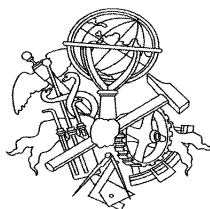
Desenvolvimento de uma aplicação para um Sistema Logístico de Viaturas

Rui Manuel da Silva Abreu

Licenciado em Engenharia Electrónica Industrial
pela Universidade do Minho

Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre em
Engenharia Electrotécnica –
Sistemas Eléctricos de Energia

Dissertação realizada sob a supervisão da
Professora Doutora Zita Almeida do Vale
do Instituto Superior de Engenharia do Porto
e co-orientação do
Engenheiro Adriano Manuel de Almeida Santos
do Instituto Superior de Engenharia do Porto



Mestrado em Engenharia Electrotécnica
Sistemas Eléctricos de Energia
Departamento de Engenharia Electrotécnica
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Porto, Outubro de 2009

Estratégias de implementação de plataformas de *e-maintenance* na indústria

Desenvolvimento de uma aplicação para um Sistema Logístico de Viaturas

Rui Manuel da Silva Abreu

Resumo

A evolução tecnológica, com particular incidência nas tecnologias de informação, e a necessidade de uma integração cada vez mais profunda do sector da manutenção na gestão estratégica global da empresa, contribuíram para o aparecimento do fenómeno denominado *e-maintenance*. Para ir ao encontro das necessidades da empresa do futuro, os conceitos associados à manutenção deverão ser cada vez mais refinados e explorados, tais como a manutenção proactiva, a manutenção baseada em condições, a manutenção remota ou a manutenção colaborativa, entre outras. Neste trabalho o termo *e-maintenance* foi entendido como uma componente de suporte à manutenção, onde se incluem os recursos, serviços e actividades de gestão necessários para habilitar a execução de processos de decisão proactivos.

O desenvolvimento de plataformas de *e-maintenance*, entendidas como a agregação de *software*, *hardware* e outras tecnologias que, integradas, oferecem um determinado serviço, foi determinante para a evolução deste conceito, na medida em que permitiu a estudantes, grupos de investigação ou empresas o aprofundamento das suas diversas valências. Contudo, quando se analisam as realidades concretas de algumas unidades industriais, verifica-se que a implementação de plataformas de *e-maintenance* na indústria não é um processo simples, devido a vários factores, como a heterogeneidade de sistemas em funcionamento, custos envolvidos ou resistência à mudança.

O presente trabalho tem por objectivo desenvolver uma aplicação que irá transformar um sistema automatizado de pesagem de viaturas, usado na indústria cimenteira em vários países, numa plataforma de *e-maintenance*. O sistema é baseado na monitorização constante da degradação dos componentes críticos e através de um sistema de alertas permite antecipar as falhas, enviando ordens de serviço a equipas de trabalho previamente definidas e com habilitações específicas. É ainda enviada a informação documental referente à intervenção, bem como ao conjunto de acessórios e peças de substituição necessários.

A aplicação denomina-se SLV_EMMAINT e foi desenvolvida na *Framework SLV Cement* da empresa Cachapuz. Foram desenvolvidos vários módulos, denominados *e-team*, *e-doc* e *e-sperts*, bem como o módulo de gestão da manutenção que permite definir e controlar todo o fluxo de informação. Um sistema de aquisição de dados faz o interface entre a componente física e o módulo de gestão. Foi desenvolvido um simulador digital para permitir verificar o comportamento do sistema em situação de degradação dos componentes ou de avaria efectiva.

Palavras chave: *e-maintenance*, manutenção baseada em condições, plataformas de *e-maintenance*

Strategies for the implementation of *e-maintenance* platforms in industry

Development of an application for a Vehicles Logistic System

Rui Manuel da Silva Abreu

Abstract

The technological evolution, with particular relevance in the information technologies, aside with the need for a deeper integration for the maintenance area in the global strategic management of the company, contributed for the emergence of the phenomenon called *e-maintenance*. To meet the needs of the company of the future, the concepts related to the maintenance should be gradually refined and exploited, such as Proactive Maintenance, Condition Based Maintenance, Remote Maintenance or Collaborative Maintenance, among others. In the present work, the term *e-maintenance* was understood as a maintenance support component, where are included the resources, services and management activities that are needed to enable the execution of proactive decision making processes.

The development of *e-maintenance* platforms, understood as the aggregation of *software*, *hardware* and other technologies that, when integrated, offer a certain service, was determinant to the evolution of this concept, allowing students, investigation groups or companies to make deeper studies on the various aspects of the *e-maintenance* potentialities. However, when the concrete realities of some industrial facilities are analyzed, it's verified that the implementation of *e-maintenance* platforms in industry is not an easy task, due several aspects such as heterogeneity of the active systems, costs involved or resistance to change.

The present work has as objective the development of an application that will transform an automatic system of weighting vehicles, used by cement industry in several countries, in an *e-maintenance* platform. The system is based in the constant monitoring of the critical components degradation and, through an alert system will allow the anticipation of failures, sending service orders to previously defined work teams and with specific qualifications. The documents necessary to the intervention are send along, as well as the needed set of accessories and spare parts.

The application is denominated SLV_EMaint and was developed in the SLV *Cement Framework*, of the company Cachapuz. Several modules were developed, namely e-team, e-doc e e-sperts, as well as the maintenance management module, which allows the definition and control of all the information flow. A data acquisition system makes the interface between the physical component and the management module. A digital simulator was developed to allow the verification of the behavior of the system in the circumstances of degradation of components or effective failure.

Key words: *e-maintenance*, Condition Based Maintenance, *e-maintenance* platforms

Agradecimentos

É um prazer deixar neste local os agradecimentos às pessoas que tornaram esta tese possível.

Começo por agradecer à Professora Doutora Zita Vale, pela disponibilidade sempre demonstrada na orientação deste trabalho, contribuindo de forma decisiva com os seus conhecimentos, competência e apoio para os resultados obtidos.

Ao Eng^o Adriano Santos que desde o primeiro momento aceitou a co-orientação deste trabalho, e ao longo de todo este percurso sempre acompanhou de perto o seu desenvolvimento, procurando sempre inculcar rigor, profundidade e qualidade nas matérias abordadas.

Ao Sr. José Gonçalves, que me deu a oportunidade de entrar na empresa JMM e aí poder desenvolver as minhas competências profissionais, sendo para mim um modelo de dedicação, exigência e rigor, sempre demonstrando contudo uma absoluta confiança no meu profissionalismo.

Ao Eng^o Luís Almeida que me permitiu conhecer mais profundamente a empresa Swedwood, estando sempre disponível para partilhar a sua experiência e os seus conhecimentos.

Ao Eng^o Cândido Martins que aceitou o desafio de incorporar num dos sistemas da Cachapuz mais conhecidos internacionalmente, o Sistema Logístico de Viaturas, o módulo de *e-maintenance* desenvolvido neste trabalho, disponibilizando para esse efeito recursos físicos e humanos.

Ao Ricardo Abreu, que além de ser meu irmão e amigo de todas as horas, foi um inestimável conselheiro no desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, em particular aos meus pais, que sofrem comigo as minhas dificuldades e se alegram com as minhas vitórias.

À Isabel, que sempre me apoiou, nunca me deixando desistir e procurando sempre que vá mais longe.

Ao meu filho Afonso, que me ajuda a colocar as coisas em perspectiva e me faz ver aquilo que realmente é importante na vida.

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Nomenclatura / Acrónimos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Motivação da investigação	1
1.2 Objectivos do trabalho.....	2
1.3 Organização da tese.....	3
2 A manutenção na perspectiva do <i>e-maintenance</i>	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Abordagem conceptual.....	5
2.2.1 Manutenção correctiva ou curativa	6
2.2.2 Manutenção Preventiva	7
2.2.3 Manutenção preventiva sistemática	7
2.2.4 Manutenção preventiva condicionada	7
2.2.5 Outros tipos de manutenção, derivações e combinações.....	8
2.3 O conceito de e-maintenance	9
2.3.1 Estratégia de manutenção.....	9
2.3.2 Plano de manutenção.....	10
2.3.3 Tipo de manutenção.....	10
2.3.4 Suporte de manutenção	11
2.4 Contribuições para o aparecimento do e-maintenance	11
2.4.1 Aparecimento das e-tecnologias	11
2.4.2 Manutenção – elemento chave da e-empresa.....	12

2.5	Potencialidades do e-maintenance.....	13
2.5.1	Tipo e estratégias de manutenção	13
2.5.2	Suporte e ferramentas de manutenção	16
2.5.3	Actividades de manutenção	16
2.6	Desafios para o e-maintenance	17
2.6.1	Tipo e estratégias de manutenção	17
2.6.2	Suporte e ferramentas de manutenção	18
2.6.3	Actividades de manutenção	19
2.7	Standards desenvolvidos em e-maintenance	19
2.8	Plataformas de investigação	20
2.8.1	Introdução	20
2.8.2	ICAS.....	20
2.8.3	TELMA.....	21
2.8.4	PROTEUS.....	24
2.8.5	C ASIP - <i>Computer Aided Safety and Industrial Productivity</i>	27
2.9	Apoio proactivo da manutenção.....	27
3	Estratégias de implementação de mudança – casos de estudo	29
3.1	Introdução.....	29
3.2	Swedwood Portugal.....	29
3.2.1	Organização da manutenção	30
3.2.2	TPM – <i>Total Production Maintenance</i>	30
3.2.3	OEE – Eficácia Global do Equipamento.....	31
3.2.4	Sistema de Informação Industrial Customizado	34
3.2.5	Trabalho futuro.....	36
3.3	Cachapuz – Equipamentos de Pesagem, Lda.	37
3.3.1	Evolução histórica.....	37
3.3.2	Abordagem evolutiva da manutenção na Cachapuz	39
3.3.3	SLV – Sistema Logístico de Viaturas.....	40
3.3.4	Descrição do sistema	40
3.3.5	Arquitectura e tecnologia	41

3.3.6	Módulos Principais	43
3.3.7	A necessidade do <i>e-maintenance</i>	46
4	Desenvolvimento da aplicação SLV_EMMAINT	49
4.1	Introdução.....	49
4.2	Caracterização da manutenção nos clientes SLV	50
4.3	Desenvolvimento da plataforma	51
4.3.1	Desenvolvimento em plataforma independente	51
4.3.2	Desenvolvimento em plataforma SLV <i>Cement</i>	52
4.3.3	Metodologia adoptada	52
4.4	Implementação do protótipo SLV_EMMAINT	53
4.4.1	<i>Front-End SLV</i>	54
4.4.2	MGM – Módulo de Gestão de Manutenção.....	55
4.4.3	Serviço ou agente MGM	59
4.4.4	SAD – Sistema de Aquisição de Dados.....	60
4.4.5	E-Doc – Módulo de Gestão de documentos	61
4.4.6	E-Team – Módulo de Gestão de equipas.....	63
4.4.7	<i>E-SParts</i> – Módulo de peças de reserva	65
4.5	Simulação de cenários de incidente.....	67
4.5.1	Parametrização inicial da Aplicação	67
4.5.2	Incidente da impressora (papel / <i>cutter</i>).....	69
4.5.3	Incidente na célula de carga	73
4.6	Conclusão.....	75
5	Conclusões e Trabalho Futuro	77
5.1	Trabalho futuro	78
6	Referências	81

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Esquema básico das abordagens da manutenção (Figura adaptada de [56])	6
Figura 2.2 - a produção num contexto de manutenção curativa (Figura adaptada de [5]).....	6
Figura 2.3 - A produção num contexto de manut. prev. sistemática (Figura adaptada de [5])	7
Figura 2.4 – Manutenção Preventiva Condicionada (fonte: [5])	8
Figura 2.5- Visão do <i>e-maintenance</i> integrado na empresa (Figura adaptada de [3])	10
Figura 2.6 – Integração dos sistemas de <i>e-maintenance</i> , e-fabrico e e-business (Fig. Adapt. de [6]).....	13
Figura 2.7 – A implementação do <i>e-maintenance</i> (Figura adaptada de [8])	14
Figura 2.8 – Instalação Típica de Navio CG-47.....	20
Figura 2.9 – O processo físico da Plataforma TELMA	22
Figura 2.10 – A descrição da Plataforma TELMA [11,12].....	23
Figura 2.11 – Componentes gerais da plataforma de <i>e-maintenance</i> (Figura adaptada de [63]).....	25
Figura 2.12 – Arquitectura da Plataforma Proteus (Figura adaptada de [63])	26
Figura 2.13- Camadas OSA-CBM.....	28
Figura 3.1- Os oito pilares do TPM, de acordo com modelo <i>Nakajima</i> (figura adaptada de [66]).....	30
Figura 3.2 – Consequências das “seis grandes perdas”	32
Figura 3.3 – Esquema de tempos de produção para cálculo do OEE	33
Figura 3.4 – Esquema simplificado da plataforma SLV	40
Figura 3.5 – Visão global da integração do SLV	42
Figura 3.6 – A comunicação entre os agentes do sistema SLV	42
Figura 3.7 – modelo de fábrica da indústria cimenteira.....	44
Figura 3.8 – Quiosque SLV-PK.....	44
Figura 3.9 – Modelo de portaria equipada com sistema de pesagem	45
Figura 3.10 – Carregamento a granel	45
Figura 3.11 – Painel de chamada para informações aos motoristas	46
Figura 4.1 – Níveis de maturidade da manutenção (esquema adaptado de Bangemann et al [63])	49
Figura 4.2 – hierarquia de responsabilidade no projecto.....	52
Figura 4.3 – Arquitectura base do protótipo SLV_EMAINT	53
Figura 4.4 – Aspecto geral do <i>front-end</i> SLV	54

Figura 4.5 – Relacionamento de entidades	55
Figura 4.6 – Simulador da aplicação	60
Figura 4.7 – Relacionamento de entidades documentos	62
Figura 4.8 – Relacionamento de entidades técnicos/incidentes/competências	63
Figura 4.9 – Relacionamentos de entidades peças/famílias	65
Figura 4.10 – <i>setup</i> de informação relativo a peças do sistema.....	67
Figura 4.11 – <i>Setup</i> de informação relativo aos técnicos.....	68
Figura 4.12 – <i>Setup</i> de informação relativo aos documentos	68
Figura 4.13 – Procedimento relativo à reposição de papel	69
Figura 4.14 – Procedimento relativo à reposição de papel após implementação protótipo	70
Figura 4.15 – Exemplo de definição de incidentes	71
Figura 4.16 – Definição das condições de incidente	71
Figura 4.17 – Incidente e respectiva acção	72
Figura 4.18 – Exemplo de dois serviços relativos a cenários de impressão	72
Figura 4.19 – Detalhe de serviço emitido relativo a degradação do <i>cutter</i>	73
Figura 4.20 – Procedimento relativo à resolução de problemas com a célula de carga	74
Figura 4.21 – Procedimento relativo à célula de carga após implementação protótipo	75

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Caracterização de incidentes	56
Tabela 4.2 – Associação de acções a incidentes.....	56
Tabela 4.3 – Associação de famílias de peças a incidentes	57
Tabela 4.4 – Associação de competências a incidentes	57
Tabela 4.5 – Associação de documentos a incidentes	58
Tabela 4.6 – Caracterização dos serviços	58
Tabela 4.7 – Associação de técnicos a serviços.....	59
Tabela 4.8 – Associação de peças a serviços	59
Tabela 4.9 – Estados do sistema (exemplo)	61
Tabela 4.10 – Caracterização de documentos.....	62
Tabela 4.11 – Caracterização dos documentos segundo o seu tipo	63
Tabela 4.12 – Associação de tipos ao respectivo documento.....	63
Tabela 4.13 – Caracterização dos técnicos.....	64
Tabela 4.14 – Caracterização das competências dos técnicos	64
Tabela 4.15 – Associação de competências aos técnicos.....	65
Tabela 4.16 – Caracterização das peças	66
Tabela 4.17 – Caracterização de famílias de peças	66

Nomenclatura / Acrónimos

BI	<i>Business Intelligence</i>
C.O.S. [®]	<i>Costumer Oriented Service System</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CASIP	<i>Computer Aided Safety and Industrial Productivity</i>
CBM	<i>Condition Based Maintenance</i>
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i>
COTS	<i>Commercial, off-the-shelf</i>
CSA	Central Service Application
EOSS	<i>Engineering Operational Sequencing System</i>
ERP	Entreprise Resource Planning
FCA	Functional Core Aplications
FMECA	<i>Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis</i>
GWS	<i>Global Weighing Solution</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability</i>
HMI	<i>Human-Machine Interface</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
ICA	Intelligent Core Adapters
ICAS	<i>Integrated Condition Assessment System</i>
IETMs	<i>Interactive Electronic Technical Manuals</i>
MAI	<i>Maintenance Application Integration</i>
MELS	<i>Maintenance Engineering Library Server</i>
MGM	Módulo de Gestão de Manutenção
MIMOSA	<i>Machinery Information Management Open System Alliance</i>
MTBD	<i>Mean Time Between Degradation</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OSA/CBM	Open Systems Architecture for CBM
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PLC	<i>Programable Logic Controller</i>
QREN	<i>Quadro de Referência Estratégico Nacional</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RFID	Radio-Frequency IDentification
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>
SLV	Sistema Logístico de Viaturas
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>

1 Introdução

1.1 Motivação da investigação

No passado a manutenção foi entendida como simples trabalho de reparação, onde as máquinas eram operadas até que acontecesse uma falha, pois não existia forma de prever as mesmas. Todavia, nos anos 50 iniciaram-se práticas de engenharia da fiabilidade, trazendo os conceitos de manutenção preventiva e manutenção planeada, baseada na conhecida “curva da banheira”, que representa a variação da taxa de falhas dos produtos ao longo do tempo. Importa salientar que, em alguns casos, as condições do produto não podem ser identificadas simplesmente pelo seu período operacional, uma vez que a taxa de deterioração não depende apenas do tempo decorrido, mas também de outros factores, como por exemplo condições ambientais e operacionais.

A manutenção planeada impõe tratamentos que podem ser considerados desnecessários, com eventuais consequências, tais como interrupção de operações normais ou a indução de avarias por falta de intervenção. Após limitações da manutenção planeada como meio de manutenção preventiva serem identificadas, foi proposto o conceito de Manutenção Baseada em Condições, que emergiu das técnicas de diagnóstico de máquinas, nos anos 70. Neste método de manutenção, as acções preventivas são tomadas quando os sintomas das falhas são reconhecidos através da monitorização ou diagnóstico, pelo que a Manutenção Baseada em Condições permite tomar acções apropriadas no tempo correcto, no sentido de prevenir falhas, tendo em conta a existência de técnicas de diagnóstico adequadas.

Atente-se que a Manutenção Baseada em Condições nem sempre é o melhor método de manutenção, mormente na perspectiva da eficácia no controlo de custos, porque quando as falhas das máquinas ou dos componentes não são críticas, pode ser permitida a utilização da Manutenção Correctiva, nas quais as acções são tomadas quando as falhas são detectadas. Tal também acontece quando o tempo de vida das máquinas ou dos componentes pode ser estimado com elevado grau de precisão, podendo a manutenção planeada revelar-se indubitavelmente como o melhor método a adoptar.

Em meados dos anos 80, começou a ser dada particular relevância à selecção da estratégia de manutenção mais adequada às especificidades de cada caso concreto, tendo surgido algumas metodologias para dar suporte a este propósito, sendo as mais conhecidas a Manutenção Centrada na Fiabilidade e a Manutenção Centrada no Risco.

Apesar dos conceitos e metodologias nesta área terem avançado significativamente nas últimas décadas, a manutenção continua, apesar de tudo, na grande maioria das unidades industriais, a ter uma imagem negativa, pois é encarada meramente como uma medida para evitar problemas. Na organização das empresas a manutenção é muitas vezes estruturada como um centro de custos, que não produz lucro.

Na senda de uma manutenção mais eficiente e de estratégias adequadas aos sistemas de fabrico baseados na e-automação, as novas abordagens à manutenção são de grande proeminência, destacando-se a manutenção proactiva baseada em condições, a manutenção colaborativa, a manutenção remota e o apoio ao serviço. Esta nova realidade existe num contexto em que há acesso à informação em tempo real e uma profunda integração entre a produção e a manutenção, o que levou ao aparecimento de um novo paradigma, que passamos a denominar *e-maintenance*.

Existem hoje em dia várias concepções e definições diversas para este termo, que serão analisadas em pormenor nos próximos capítulos, mas a definição que mais se adequa à abordagem efectuada no presente trabalho é a que considera o *e-maintenance* como uma tecnologia de manutenção proactiva baseada na internet, que consiste numa avaliação remota e em tempo real do estado da degradação dos diversos activos de um sistema, tais como equipamentos, produtos ou processos.

O *e-maintenance* compreende um conjunto de interligações, com canais de comunicação estabelecidos entre si, no sentido de permitir a troca de dados em tempo real entre computadores, controladores lógicos programáveis e toda uma variedade de dispositivos industriais tais como módulos de entradas e saídas, arrancadores de motores, sensores e actuadores, dispersos por toda a unidade produtiva.

A transmissão remota de dados e vários processos de monitorização e controlo são executados de forma cada vez mais simplificada devido aos meios de transmissão sem fios. As tecnologias sem fios possibilitam grandes vantagens do ponto de vista da redução de custos, flexibilidade na organização das unidades de fabrico e também na maior disponibilidade da informação.

Estamos actualmente numa fase de grande desenvolvimento tecnológico, com múltiplas áreas onde os avanços são consideráveis e podem trazer grandiosos contributos às organizações, onde as estruturas tradicionais da empresa estão a ser reconvertidas e adaptadas às novas realidades. Aliado à evolução da técnica e dos métodos, surgem novos conceitos e termos, sendo relativamente comum hoje em dia falar-se de *e-business* ou *e-manufacturing*. Este trabalho irá perscrutar com detalhe estes conceitos e as suas implicações.

O *e-maintenance* tem um papel muito relevante a desempenhar nas empresas actuais, permitindo que no futuro a manutenção adquira um estatuto e um posicionamento estratégico que não tem na actualidade. Os diversos contributos, tanto da comunidade científica como do mundo empresarial, são de crucial importância para a afirmação do *e-maintenance* como disciplina científica. O presente trabalho perspectiva ser mais um contributo para esse desiderato, este oriundo do mundo académico, mas com uma estreita ligação à realidade empresarial.

1.2 Objectivos do trabalho

Esta tese procura contribuir para a consolidação das plataformas de *e-maintenance* na indústria, tendo como principais objectivos a atingir:

- Introduzir o conceito de *e-maintenance* de forma sustentada, através da análise ao seu posicionamento perante a manutenção tradicional, do estudo das suas potencialidades e do seu potencial contributo na optimização do desempenho global da empresa;
- Comparar algumas das plataformas de *e-maintenance* desenvolvidas para o efeito, tanto pela comunidade académica, como por empresas ou grupos de investigação;
- Diagnosticar os pontos de convergência e divergência no que diz respeito à aplicação de estratégias de implementação de mudança na área da manutenção, através da análise da realidade de algumas empresas com elevada componente tecnológica, a operar em Portugal;
- Desenvolver uma aplicação de *e-maintenance*, que permita transformar um sistema a operar com um modelo de manutenção tradicional numa verdadeira plataforma de *e-maintenance*, através da implementação de manutenção baseada em condições, análise de degradações, sistemas de gestão de equipas, gestão documental e gestão de peças;
- Simular alguns cenários que permitam avaliar os impactos da introdução do *e-maintenance*, comparando o comportamento do sistema após a simulação de alguns incidentes críticos e analisando as mudanças na forma de detectar o problema, de emitir os respectivos alertas e de proceder à sua resolução.

1.3 Organização da tese

Este documento está organizado em cinco capítulos, sendo o presente uma introdução ao trabalho.

O **Capítulo 2** faz uma análise ao sector da manutenção, nas suas múltiplas vertentes, tendo como ponto de referência o *e-maintenance*. Depois de uma abordagem conceptual, onde são explanados os tipos e filosofias de manutenção mais usuais, explorou-se o conceito de *e-maintenance*. Foram consideradas várias definições, tendo em conta a forma como o *e-maintenance* se relaciona com a manutenção.

São analisados os principais factores de emergência de *e-maintenance*, com relevo para o aparecimento das e-tecnologias e também do papel que a manutenção tem vindo a assumir como elemento chave da e-empresa, onde as decisões da manutenção são gradualmente caracterizadas por uma integração do sistema, no sentido em que não se limitam apenas ao âmbito da função manutenção mas estabelecem acções coordenadas com os objectivos de outras funções. São categorizadas também as principais potencialidades do *e-maintenance*, sendo as mesmas agrupadas em várias categorias, nomeadamente tipo e estratégias de manutenção, suporte e ferramentas de manutenção e actividades de manutenção. Por outro lado apresentam-se estruturados da mesma forma os principais desafios e possível trabalho futuro nesta matéria, sendo descritas as principais normalizações que suportam hoje em dia o *e-maintenance*.

São apresentadas algumas das plataformas de *e-maintenance* que mais contribuíram para o desenvolvimento desta área ou cuja importância histórica foi mais marcante, sendo referidas as plataformas ICAS, desenvolvida pela Marinha Norte Americana, a plataforma PROTEUS, que explora essencialmente potencialidades do *software* de *e-maintenance*, a plataforma CASIP que oferece uma solução completa de *software* e finalmente a plataforma TELMA, uma das mais completas e totalmente consistente com a filosofia global de *e-maintenance*. Uma plataforma foi entendida neste contexto como sendo um conjunto de *software*, *hardware* e novas tecnologias que integradas oferecem um determinado serviço de *e-maintenance*. O capítulo 2 termina com uma breve análise à temática do apoio proactivo da manutenção.

O **Capítulo 3** compara dois casos de estudo de empresas estruturalmente distintas, no sentido de avaliar os pontos de convergência e divergência no que concerne à aplicação de estratégias de implementação de mudança na área da manutenção. Apresenta-se a Swedwood Portugal, uma empresa de fabrico de mobiliário, com linhas de produção de grande dimensão e complexidade de interacções entre os vários componentes da organização. Com um modelo totalmente distinto apresenta-se a “Cachapuz – Equipamentos para Pesagem, Lda.” uma empresa do grupo Bilanciai, detentora de uma forte orientação para a exportação dos seus sistemas de pesagem. Além da caracterização da manutenção nesta empresa, é apresentado o SLV (Sistema Logístico de Viaturas), uma solução orientada para a automatização logística dos processos. Assim, neste capítulo procede-se à descrição do referido sistema, à apresentação dos módulos principais e ao respectivo enquadramento para o potencial benefício da entidade face ao desenvolvimento de um módulo de *e-maintenance*.

O **Capítulo 4** apresenta uma aplicação desenvolvida no âmbito da presente dissertação com o objectivo de dotar um sistema de pesagem com funcionalidades de *e-maintenance*. O SLV, descrito no capítulo anterior, já se encontra a funcionar em vários países, no sector da indústria cimenteira, e as suas funcionalidades continuam sistematicamente a ser melhoradas e ampliadas. Após uma contextualização da problemática da manutenção nesta área de negócio, discute-se a metodologia adoptada para o desenvolvimento, a implementação do protótipo e a descrição exaustiva dos seus componentes e módulos. Apresentam-se simulações de cenários diferenciados no sentido de avaliar a robustez da aplicação, bem como as mais-valias que pode gerar nos modelos de manutenção adoptados pela empresa.

O **Capítulo 5** congrega as principais conclusões da tese e deixa algumas sugestões de trabalho futuro.

2 A manutenção na perspectiva do *e-maintenance*

2.1 Introdução

Hoje em dia a manutenção assume uma preponderância cada vez maior na generalidade das unidades fabris de cariz produtivo, dado que se verifica uma procura crescente de aumento da produtividade dos sistemas, da disponibilidade, da segurança, da qualidade do produto, da satisfação do cliente, num contexto de margens de lucro cada vez mais apertadas [1]. De facto, a função manutenção desempenha um papel crítico na capacidade da empresa para competir numa base de custo, qualidade e cumprimento dos prazos de entrega, pelo que implica uma inevitável sincronização entre a manutenção e os requisitos da produção [2].

Os paradigmas da manutenção moderna apontam para a identificação, no mínimo, da causa principal das falhas dos componentes, para a redução das falhas dos sistemas de produção, para a eliminação de manutenções não programadas que impliquem paragens totais ou parciais com custos inerentes e, também, para a melhoria da produtividade e da qualidade. No intuito de suportar este conceito, a manutenção foi evoluindo de forma peremptória atravessando várias fases, estando na actualidade sustentada em pressupostos de proactividade.

Neste sentido, foi necessário evoluir do domínio de adopção de práticas de “avaria e reparação” para tecnologias de “prever e prevenir”, ideais para o *e-maintenance* [3], com um irrefutável potencial impacto positivo no serviço ao cliente, na qualidade do produto e na redução de custos. Este facto conduz a que a manutenção seja efectuada quando ocorre um determinado nível de degradação de um equipamento, e não após um determinado período de tempo ou de uso, pelo que se poderá corroborar que passamos das tradicionais práticas MTBF¹ (*Mean Time Between Failures*) para as recentes tecnologias MTBD² (*Mean Time Between Degradation*).

2.2 Abordagem conceptual

A manutenção, enquanto processo, é a denominação que se atribui ao conjunto de actividades e recursos necessários para suportar o desempenho e as condições específicas de determinados bens, num determinado espaço de tempo. Foram várias as definições que foram surgindo ao longo do tempo, reflectindo de forma veemente a constante evolução da indústria nas suas múltiplas vertentes. De acordo com a norma NP EN 13306:2007, a “Manutenção é a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas, da forma mais económica possível, a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir a função requerida”

Esta definição, quando refere “mantê-lo ou repô-lo”, remete de imediato para dois tipos (ou estratégias) de manutenção, conforme está ilustrado na figura 2.1. Por um lado, temos uma abordagem preventiva, onde a manutenção é levada a cabo de modo a prevenir avarias ou falhas. Por outro lado, existe uma abordagem correctiva, agindo após a respectiva avaria ou falha se ter manifestado. Estas duas abordagens de base têm ainda mais ramificações, conforme veremos posteriormente neste trabalho.

¹ MTBF (*Mean Time Between Failures*) pode ser designado como tempo médio entre falhas é um valor atribuído a um determinado dispositivo ou aparelho para descrever a sua fiabilidade.

² MTBD (*Mean Time Between Degradation*) pode ser designado como tempo médio entre degradações.

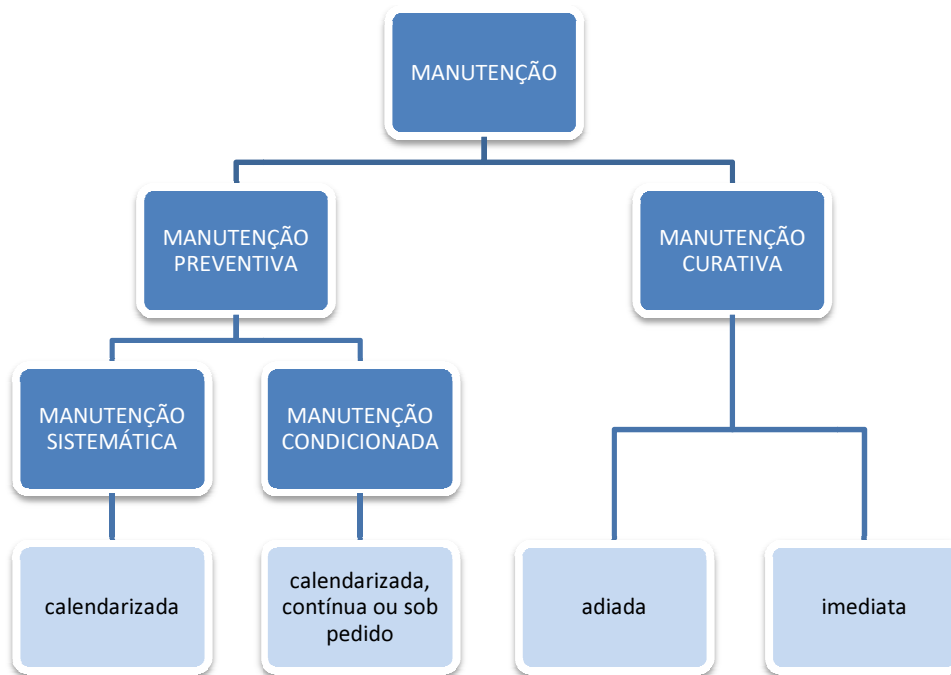


Figura 2.1 – Esquema básico das abordagens da manutenção (Figura adaptada de [56])

De um modo geral, a manutenção de equipamentos ou bens pode ser esquematizada conforme o diagrama acima [4]. Existem duas subdivisões de base, havendo depois subconjuntos e abordagens mais refinadas, cada uma com especificidades próprias. Segue-se uma breve análise dos tipos de manutenção.

2.2.1 Manutenção correctiva ou curativa

A manutenção curativa, também conhecida como correctiva, é um tipo de manutenção levada a cabo após o reconhecimento da falha aleatória e tem como objectivo levar um determinado item para um estado, bem definido, em que seja capaz de desempenhar uma função requerida. As actividades de manutenção são iniciadas, ou determinado equipamento é substituído, após a ocorrência da falha. É uma política de manutenção que responde aos problemas e maus funcionamentos ocorridos em serviço. A sua aplicação acontece após a manifestação da falha, conforme ilustra a figura 2.2.



Figura 2.2 - a produção num contexto de manutenção curativa (Figura adaptada de [5])

A manutenção correctiva pode ser aplicada como uma estratégia consciente, contudo deve ser reservada aos equipamentos cuja indisponibilidade tenha pouca importância sobre a produção e a segurança e cujos custos anuais de reparação, bem como as falhas imprevisíveis sejam aceitáveis.

2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é levada a cabo em intervalos de tempo pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos, tendo como objectivo a redução das probabilidades de falha ou degradação do funcionamento de um bem. A "manutenção preventiva" é um termo genérico que inclui outras estratégias derivadas, tais como "manutenção calendarizada", também designada por "manutenção preventiva sistemática", "manutenção preditiva" e "manutenção baseada em condições".

2.2.3 Manutenção preventiva sistemática

A manutenção preventiva sistemática é um tipo de manutenção preventiva executada de acordo com uma calendarização específica ou através de unidades de uso previamente estabelecidas, conforme ilustra a figura 2.3. Por exemplo, num contexto de sistemas de energia, poderíamos identificar o número de operações de determinado disjuntor ou o tempo de serviço de determinado componente. Por norma encontramos este tipo de manutenção nas operações de lubrificação, nas verificações periódicas obrigatórias e na substituição de componentes com custo reduzido.

A expectativa mínima do tempo de vida dos componentes é dada pela experiência ou pelo construtor. Apresenta como principais vantagens o facto do custo de cada operação de manutenção ser predeterminado, o que em determinadas organizações permite uma gestão financeira mais simplificada. Dessa forma as operações e paragens são programadas de acordo com a produção. Contudo, os custos de cada operação podem tornar-se elevados, devido à periodicidade. Dado que o número de intervenções é em regra superior ao número ideal, aumentando também a possibilidade de erro humano, o custo de mão-de-obra tem um peso significativo, e podem ainda ser despoletadas novas avarias pelo facto da multiplicidade de operações existente. Este tipo de manutenção tem ainda como consequência o incentivo à substituição de peças provocadas pelo "Síndrome da Precaução".

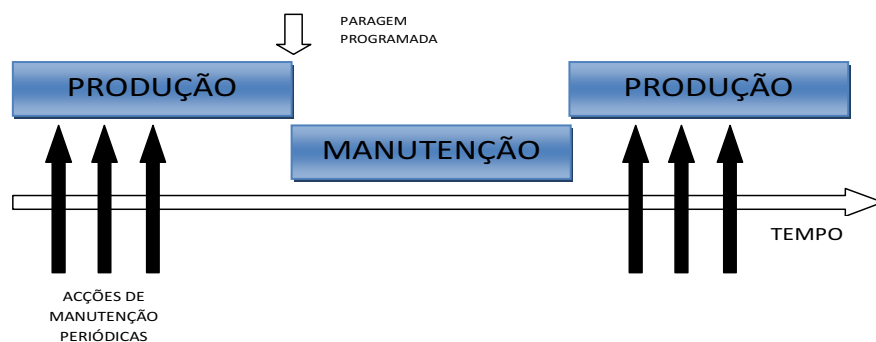


Figura 2.3 - A produção num contexto de manut. prev. sistemática (Figura adaptada de [5])

2.2.4 Manutenção preventiva condicionada

A Manutenção Preventiva Condicionada, também conhecida como Manutenção Baseada em Condições, é um tipo de Manutenção Preventiva que consiste na monitorização dos parâmetros de degradação de componentes e na realização de acções subsequentes. A "Manutenção Baseada em Condições" é o termo genérico para as estratégias de manutenção onde as actividades de manutenção são iniciadas baseadas na avaliação de parâmetros condicionais, que podem ser monitorizados em intervalos regulares, sob pedido ou então de forma permanente. Irá ser aprofundado com mais detalhe neste capítulo o trabalho desenvolvido na procura de *standards* relacionados com este tipo de manutenção.

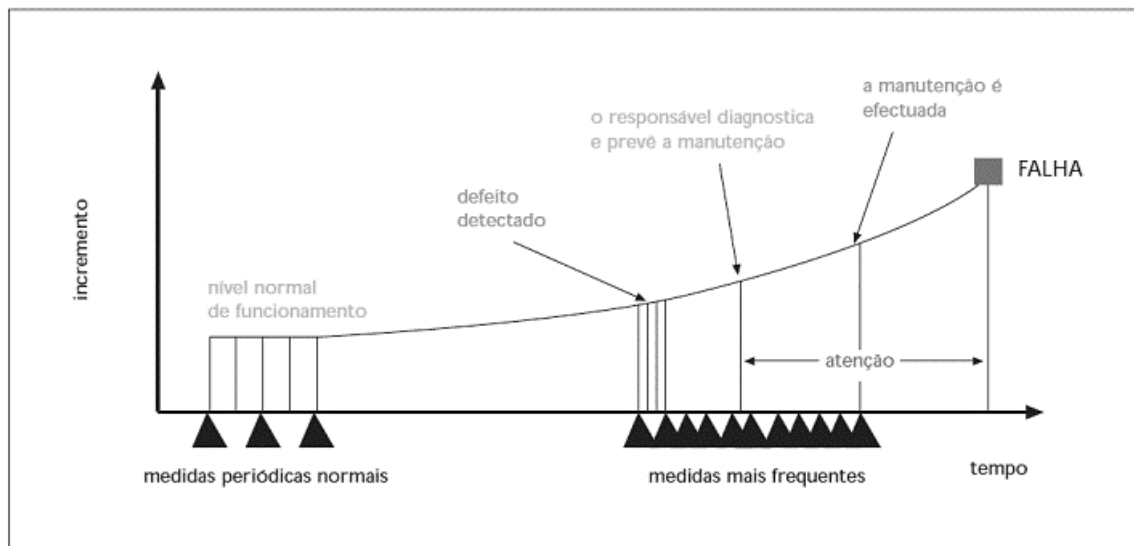


Figura 2.4 – Manutenção Preventiva Condicionada (fonte: [5])

A Manutenção Preditiva é um subconjunto da Manutenção Baseada em Condições. A monitorização constante de parâmetros que fornecem informação fiável acerca dos processos de degradação permite a calendarização preditiva das actividades de manutenção. Esta estratégia é apenas aplicável se a correlação entre a mudança num parâmetro observado e o tempo remanescente até à perda de funcionalidade do equipamento é conhecida com precisão suficiente.

2.2.5 Outros tipos de manutenção, derivações e combinações

O *e-maintenance* deverá ajudar a organização a decidir qual a melhor metodologia de manutenção, escolher a equipa certa, os equipamentos mais adequados e os documentos de apoio necessários. Existem abordagens e variantes diversas, que procuram adequar os tipos de manutenção às realidades concretas, de uma forma tão eficaz quanto possível.

Uma das estratégias de Manutenção que tem vindo a afirmar-se como das mais completas e fiáveis é a RCM (*Reliability Centered Maintenance*), que pode ser designada como Manutenção Centrada na Fiabilidade. De uma forma geral, procura-se determinar as acções de manutenção requeridas para cada componente, no contexto operacional em que está inserido. O seu desenvolvimento é baseado na metodologia FMECA (*Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*), que permite caracterizar detalhadamente os diferentes modos de avaria, quantificando a severidade das suas consequências e frequência de ocorrência. Este conhecimento torna possível efectuar planos de Manutenção mais adequados aos objectivos da organização, conseguindo dessa forma uma redução de custos.

O próprio mercado, através dos seus fabricantes ou grupos de investigação, vai desenvolvendo ferramentas de apoio que poderão ajudar as empresas a melhorar os seus desempenhos nesta área. Podemos citar como exemplo o fabricante ABB³, que tem na sua oferta um programa de serviços abrangente e integrado, centrado na necessidade dos clientes, que denomina C.O.S.[®] (*Customer Oriented Service System*) [6]. Este sistema procura a eficaz interligação entre as partes constituintes do sistema, no fundo entre o homem e a tecnologia. Esse sistema é baseado na Manutenção Centrada na Fiabilidade, e contribui para a determinação da estratégia de manutenção mais adequada tendo em conta o custo e a eficácia, para um dado item de um equipamento, tendo em linha de conta o seu ambiente operativo. Esta metodologia implica a adopção de manutenção preventiva, baseada em condições ou correctiva, para um item específico de equipamento ou grupo de equipamentos,

³ <http://www.abb.com>

dependendo de qual destas três estratégias de manutenção se revela mais favorável para a relação custo/eficácia.

Além da RCM, poderemos destacar uma outra filosofia que as empresas têm vindo a adoptar desde a sua criação nos anos 70, a TPM (*Total Productive Maintenance*), que poderá ser entendida como “Manutenção Produtiva Total”. Será apresentada uma análise mais detalhada desta filosofia de manutenção no caso de estudo apresentado no próximo capítulo.

2.3 O conceito de *e-maintenance*

O termo *e-maintenance* emergiu nos inícios do ano 2000, fruto da exploração de estratégias de manutenção e serviço mais eficientes, aplicadas aos modernos sistemas de fabrico. Em paralelo foram desenvolvidas outras abordagens da manutenção tais como manutenção pró-activa baseada em condições, manutenção colaborativa, manutenção remota, acesso à informação em tempo real e integração da produção com a manutenção [7]. Todo este conjunto de abordagens convergiu e contribuiu para o aparecimento de um novo paradigma que passou a ser designado como *e-maintenance*.

Apesar de actualmente ser um termo muito comum na literatura relacionada com a temática da manutenção, o *e-maintenance* ainda não tem uma definição consistente nas teorias e práticas da manutenção actual. Existem abordagens diversas, tanto da comunidade científica como da engenharia industrial, que abordam este tema como um conceito, ou como uma filosofia, ou como um fenómeno, entre outras abordagens.

Um sistema inteligente de *e-maintenance* pode ser definido como uma tecnologia de manutenção preditiva baseada na internet e *web⁴-enabled⁵* que consiste na avaliação inteligente da degradação da máquina, e-prognóstico e e-diagnóstico de modo a permitir ao fabricantes e clientes ter os produtos e máquinas em condições de “quase-zero-avarias”. A avaliação remota e em tempo real da informação relativa ao desempenho da máquina, requer a integração de diversas tecnologias, incluindo sensores, agentes de avaliação, comunicações *wireless⁶*, integração virtual e plataformas de interface.

Contudo, dependendo da forma como o *e-maintenance* se relaciona com a manutenção, várias definições podem ser consideradas. De acordo com Muller et al [8], poderemos considerar o *e-maintenance* como uma estratégia de manutenção (i.e. um método de gestão), um plano de manutenção (i.e. um conjunto estruturado de tarefas), um tipo de manutenção (tal como manutenção baseada em condições, correctiva, etc.) ou um suporte à manutenção (i.e. recursos e serviços para levar a cabo a manutenção).

2.3.1 Estratégia de manutenção

O conceito de *e-maintenance* pode ser definido meramente como uma estratégia de manutenção, onde as tarefas são geridas electronicamente usando equipamentos de recolha de informação em tempo-real graças às tecnologias digitais (i.e. dispositivos móveis, sensores remotos, monitorização condicionada, engenharia do conhecimento, telecomunicações e tecnologias da Internet) [9]. Deste ponto de vista, o *e-maintenance* é interpretado como um processo de gestão da manutenção [10], que lida com a expansão do volume de informação disponível. A definição é refinada por Baldwin [11] e por Moore e

⁴ *Web* - A *World Wide Web* (WWW ou Web) é um sistema hipertexto que funciona sobre a Internet. A visualização da informação e navegação é feita usando uma aplicação específica - o navegador (*browser*).

⁵ *Web-enabled* – conteúdo que pode ser acedido através de um Web browser ou via http ou https.

⁶ *Wireless* – transferência de informação numa determinada distância sem a utilização de condutores eléctricos. Pode ser traduzida livremente como “comunicação sem fios.”

Starr [12] da seguinte forma: “*E-maintenance* é uma rede de gestão de activos de informação que integra e sincroniza as várias aplicações de manutenção e fiabilidade para recolher e entregar os referidos activos de informação onde são necessários e quando são necessários”.

2.3.2 Plano de manutenção

O conceito de *e-maintenance* também pode ser visto como um plano de manutenção, que vai ao encontro das necessidades do fabrico baseado na e-automatização no que respeita à exploração da Manutenção Baseada em Condições, manutenção proactiva, manutenção colaborativa, manutenção remota e apoio ao serviço, disponibilização do acesso à informação em tempo real e integração da produção com a manutenção [13]. A implementação de um plano de *e-maintenance* requer um esquema de manutenção proactiva, i.e. uma aproximação interdisciplinar que inclui monitorização, diagnóstico, prognóstico [14,15], processos de decisão e controlo.

2.3.3 Tipo de manutenção

De uma forma geral, *e-maintenance* pode ser considerada o símbolo da mudança gradual dos tipos tradicionais de manutenção [16] para tipos mais preditivos/proactivos. A manutenção regular periódica deverá ser avançada e deslocada para uma filosofia de manutenção inteligente, de modo a satisfazer elevados requisitos de fiabilidade [17]. Os autores Koç e Lee [18] referem *e-maintenance* como manutenção preditiva, que proporciona apenas funções de monitorização e prognóstico preditivo. A figura 2.5 apresenta essa visão do *e-maintenance*, e a sua integração na empresa [3,19].

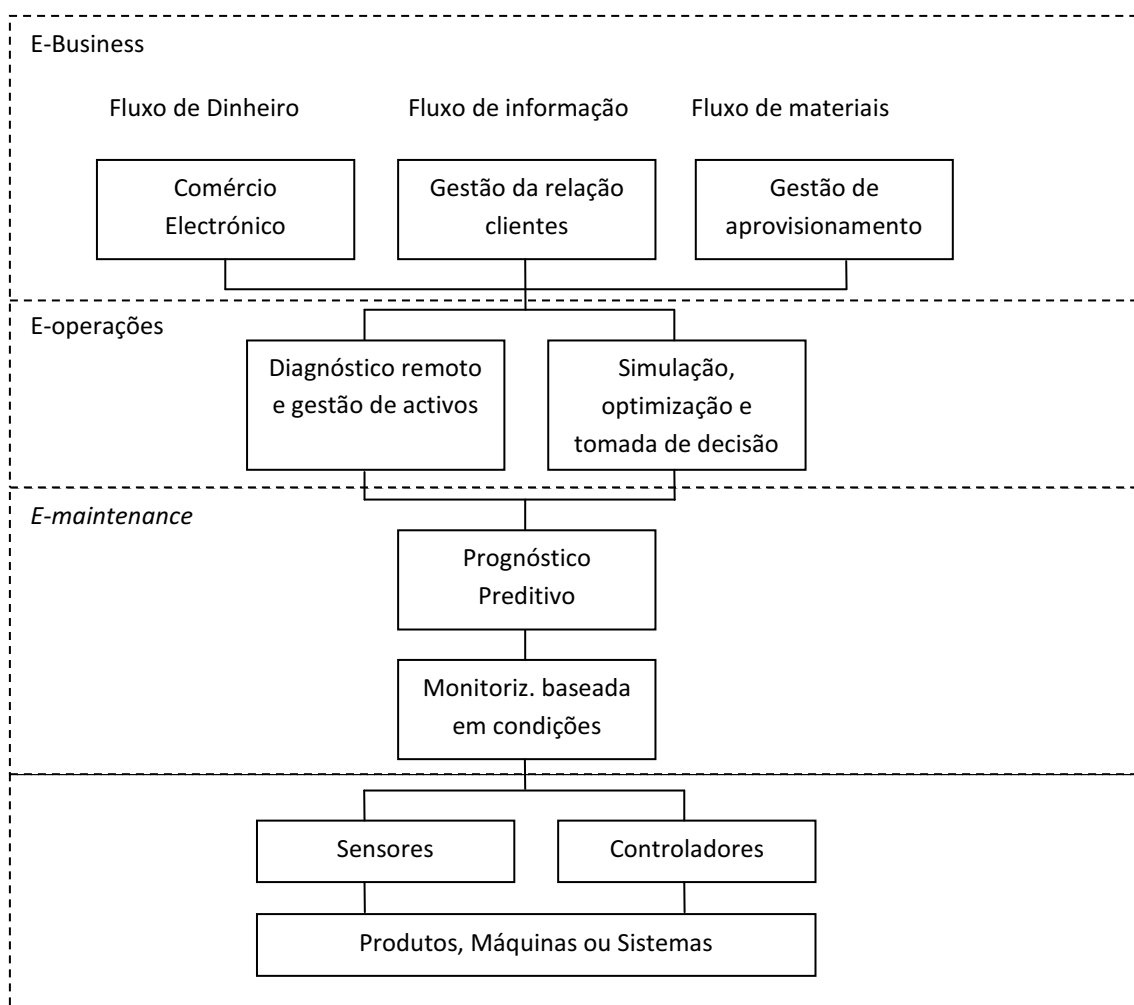


Figura 2.5- Visão do *e-maintenance* integrado na empresa (Figura adaptada de [3])

2.3.4 Suporte de manutenção

Outra abordagem conceptual também muito importante é a que encara o *e-maintenance* como um suporte à manutenção. Zhang et al. [20] consideram que o *e-maintenance* é uma combinação de tecnologias *Web service*⁷ e tecnologias de agentes, que proporcionam uma forma de implementar características de inteligência e cooperação em sistemas, num ambiente de automação industrial. Crespo Marquez e Gupta [21] definem *e-maintenance* como ambiente de inteligência artificial distribuída, que inclui capacidade de processamento de informação, apoio à decisão e ferramentas de comunicação, bem como a colaboração entre processos de manutenção e sistemas periciais.

Na presente dissertação, a abordagem que mais se adequa ao trabalho desenvolvido consiste em considerar o *e-maintenance* como componente de suporte à manutenção, onde se incluem os recursos, serviços e actividades de gestão necessários para habilitar a execução de processos de decisão proactivos. Este suporte inclui as denominadas e-tecnologias, tais como as tecnologias de informação e comunicação, as soluções *wireless* e as tecnologias infotónicas. Este suporte inclui também as actividades de manutenção, tanto operações como processos, tais como e-monitorização, e-diagnóstico, e-prognóstico, entre outros.

2.4 Contribuições para o aparecimento do *e-maintenance*

Os factores que contribuíram para o aparecimento do *e-maintenance* podem ser atribuídos a dois vectores principais. Por um lado, o aparecimento das e-tecnologias, que permitiram o aumento da eficiência, velocidade, proactividade, entre outros factores, de modo a otimizar o fluxo de trabalho relativo à manutenção. Por outro lado, houve também a necessidade de integrar o desempenho do próprio negócio, facto que atribuiu à área da manutenção os seguintes requisitos: abertura, integração e colaboração com os outros serviços da e-empresa.

2.4.1 Aparecimento das e-tecnologias

As denominadas e-tecnologias têm vindo a crescer gradualmente em vários domínios, sendo de destacar o seu papel determinante no apoio à decisão na área da manutenção. A combinação do moderno processamento de informação e ferramentas de comunicação oferecem o suporte técnico necessário para aceder remotamente à informação. Constata-se que é mais fácil transferir informação e conhecimento do sistema e do ambiente para diferentes especialistas de manutenção, de modo que eles possam interagir através de trocas remotas [22]. Tal facto permite às empresas a concepção de novas soluções e sistemas de manutenção distribuídos e inteligentes.

A *Web* proporciona um acesso universal através das diferentes formas de conectividade, para diferentes tipos de plataformas, usando *standards* abertos para publicar, comunicar e interagir em rede. Como a *Web* permite suporte multimédia, interactividade e extensibilidade, pode de uma forma contínua incluir novas formas de conteúdos [23]. Os desenvolvimentos em bases de dados e tecnologias de objectos permitem aos utilizadores a ligação a bases de dados tipo *back-end*⁸ e a aplicações tipo *legacy*⁹ através de interfaces *Web* amigáveis. O transdutor inteligente do futuro terá incorporado um módulo *Ethernet* e

⁷ *Web service* - é uma solução utilizada na integração de sistemas e na comunicação entre aplicações diferentes. Com esta tecnologia é possível que novas aplicações possam interagir com aquelas que já existem e que sistemas desenvolvidos em plataformas diferentes sejam compatíveis.

⁸ Base de dados tipo *back-end* – base de dados que é acedida pelos utilizadores indirectamente através de uma aplicação externa em vez de programação de uma aplicação armazenada na própria base de dados ou por manipulação de baixo nível de dados, como por exemplo através de comandos SQL.

⁹ Aplicações tipo *legacy* – aplicações que herdaram linguagens, plataformas e técnicas anteriores às da tecnologia corrente.

permitirá uma ligação *Plug-and-play*¹⁰ à internet, sem a necessidade de uma ligação ao PC e da existência de uma carta *Ethernet* em separado, como é hoje em dia o caso nos actuais sistemas.

Por outro lado, a tecnologia *wireless* na indústria [24] traz uma redução de custos (nomeadamente devido a redução de cablagem), flexibilidade nas configurações das áreas produtivas e disponibilidade de informação [13]. A transmissão de informação remota, a monitorização e o controlo através da rede são facilitados por tecnologias sem fios, processamento de informação computadorizado, sensores remotos e comunicação em banda larga. Possibilita ao equipamento na fábrica partilhar a sua informação, ficheiros e mesmo permitir operações remotas de equipamento de qualquer parte do mundo. [25].

A porta para novas potencialidades de sistemas interligados está aberta. Novos meios de comunicação, terminais móveis e modos inovadores de acesso à informação contribuem para a melhoria das possibilidades de cooperação. A mobilidade dentro de um sistema cooperativo é, por exemplo, uma grande contribuição que permite aos utilizadores trabalharem em conjunto em novos locais [26].

Em resumo, podemos afirmar que as e-tecnologias aumentam as possibilidades de utilizar a informação de múltiplas origens e de diferentes tipos, permitem processar grandes volumes de informação e contribuir para apoio mais avançado na tomada de decisão e, finalmente, implementar actividades cooperativas (ou colaborativas). A implementação destas e-tecnologias em benefício da área da manutenção é a primeira razão para o aparecimento do *e-maintenance*.

2.4.2 Manutenção – elemento chave da e-empresa

Após a optimização dos diferentes serviços da empresa, essencialmente devido à ciência computacional e às diferentes teorias do controlo automático e da optimização, havia a necessidade da optimização global através de outras abordagens, outras teorias e outras ferramentas. As palavras-chave são, pois, integração, fabrico com computação integrada, abertura, sistemas abertos e interoperabilidade [27]. E-manufactura, teleserviço e empresas virtuais são alguns dos primeiros conceitos que foram entretanto desenvolvidos e aplicados na indústria [28].

Hoje em dia estes requisitos tornam-se cada vez mais prementes na área da manutenção [29] devido ao facto das decisões da manutenção serem gradualmente caracterizadas por uma integração do sistema, no sentido em que não se limitam apenas ao âmbito da função manutenção mas estabelecem acções coordenadas com os objectivos de outras funções [30].

Ao mesmo tempo, *e-maintenance* está em conformidade com uma nova abordagem da função produção (*e-manufacturing*), que está incluído numa nova forma de fazer negócio (*e-business*), que, por sua vez, resulta de uma nova visão do trabalho (*e-work*). Este espírito requer novas funcionalidades e o *e-maintenance* é uma delas. Por exemplo, as novas formas de relacionamento entre clientes e fornecedores a um nível empresarial implicam a reconsideração das relações entre clientes e fornecedores ao nível da manutenção. Por si só, o *e-maintenance* é uma das componentes fundamentais que suporta o sucesso da integração do *e-manufacturing* e do *e-business*, conforme se pode verificar na figura 2.6.

¹⁰ *Plug-and-play* – significa “ligar e usar” e é um termo usado para situações onde um dispositivo é reconhecido e automaticamente configurado, ficando pronto a ser utilizado.

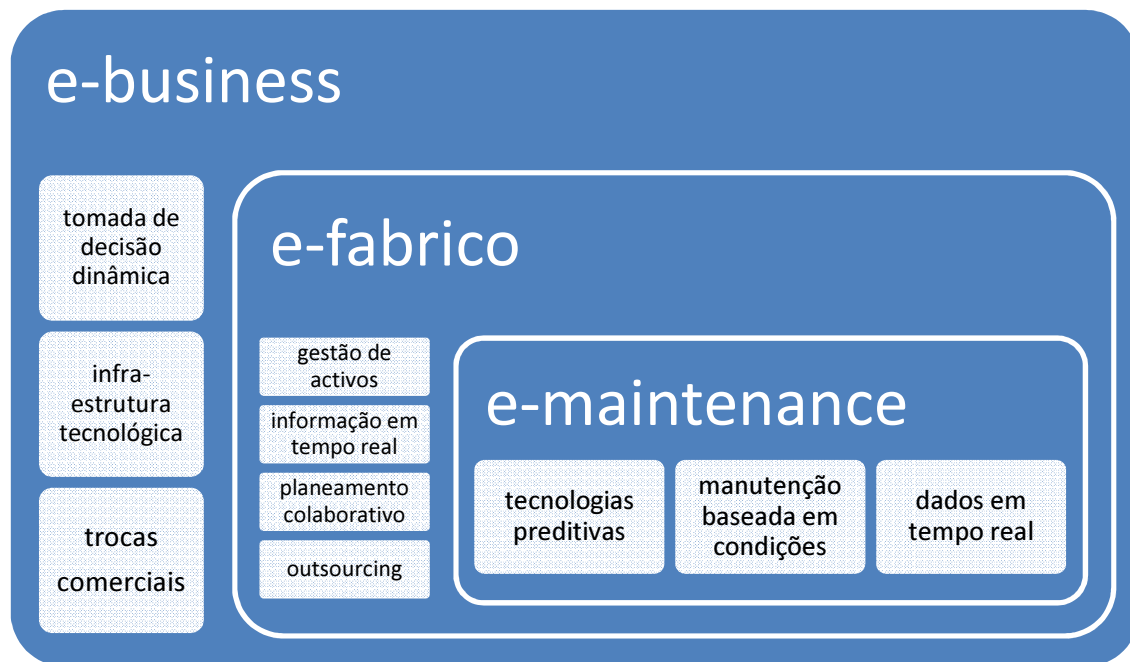


Figura 2.6 – Integração dos sistemas de *e-maintenance*, *e-fabrico* e *e-business* (Fig. Adapt. de [6])

A oportunidade para ir ao encontro dos objectivos da integração e do negócio global requer mais do que tecnologia e existe uma necessidade clara de novos modelos de negócio. De acordo com a complexidade dos sistemas em questão e da heterogeneidade dos modelos existentes, esta actividade de modelização tornou-se extremamente complexa [27]. O surgimento destes novos modelos, métodos ou metodologias no contexto da integração da manutenção é a segunda razão principal que explica o aparecimento do *e-maintenance*.

2.5 Potencialidades do *e-maintenance*

A maximização dos benefícios do *e-maintenance* numa organização também requer mais do que apenas tecnologia. São igualmente fundamentais os modelos e metodologias de modo a tornar o *e-maintenance* um elemento chave para cumprir os requisitos operacionais bem como para a melhoria do desempenho dos sistemas produtivos. De acordo com Crespo-Marquez et al. [31], a identificação e classificação das vantagens trazidas pelo *e-maintenance* podem ser agrupadas em três categorias, que são analisadas em seguida:

- Tipo e estratégias de manutenção;
- Suporte e ferramentas de manutenção;
- Actividades de manutenção;

2.5.1 Tipo e estratégias de manutenção

O *e-maintenance* pode trazer oportunidades de desenvolvimento de novos tipos e estratégias de manutenção. As potenciais melhorias podem ser resumidas nos pontos seguintes:

Operações de manutenção remota e tomada de decisão – através da proliferação da informação, do *wireless* e das tecnologias da Internet, os utilizadores podem efectuar o *login* em qualquer lado e com qualquer tipo de dispositivo, desde que tenham disponível uma ligação à Internet e um *browser*. Qualquer operador, gestor ou perito tem a possibilidade de se ligar remotamente a um equipamento na fábrica através da Internet, permitindo a execução de acções remotas, tais como parametrizações, controlo, configurações, diagnóstico, detecção e correcção de erros, desempenho, monitorização,

recolha e análise de informação [32]. Consequentemente, os recursos humanos do fabricante de máquinas retidos no cliente é reduzido pois existem facilidades para ele diagnosticar problemas quando o erro ocorre e, depois, melhorar a manutenção preventiva graças à monitorização do desempenho da máquina [33].

Na verdade, uma das grandes vantagens do *e-maintenance* é a capacidade de conectar sistemas de campo com centros periciais geograficamente distantes [34], permitindo uma notória tomada de decisão remota no que concerne à manutenção [35], acrescentando valor à linha de topo, cortando despesas e reduzindo desperdícios. A contribuição para a linha de baixo é significativa, tornando o desenvolvimento de uma rede de gestão de activos de informação num investimento sólido [11].

Além disso, a Web veio permitir os sistemas de gestão de manutenção computadorizados operados electronicamente (*e-CMMS - Computerized Maintenance Management System*) e monitorização remota de condições ou diagnóstico (*e-CBM - Condition Based Maintenance*), baixando desse modo as despesas do *software* de manutenção, segurança e/ou *upgrades* de *hardware* [9]. Os peritos das ciências computacionais podem acrescentar novas características e/ou migrações sem os utilizadores sequer perceberem esse facto.

Integração de processos de negócio e manutenção cooperativa/colaborativa – o *e-maintenance* simboliza a oportunidade de implementar uma infra-estrutura de informação que faça a conexão de subsistemas e actores (por exemplo fornecedores com clientes e máquinas com engenheiros), geograficamente dispersos e baseados em redes de internet existentes. A plataforma resultante permite uma forte cooperação entre os diferentes actores humanos, diferentes áreas da empresa (produção, manutenção, compras, etc...) e diferentes empresas (fornecedores, clientes, fabricantes de máquinas, etc...).

Uma plataforma de *e-maintenance* introduz um nível de transparência e de eficiência sem precedentes em toda a indústria e pode ser um suporte adequado à integração dos processos de negócio [10], conforme ilustra a figura 2.7.

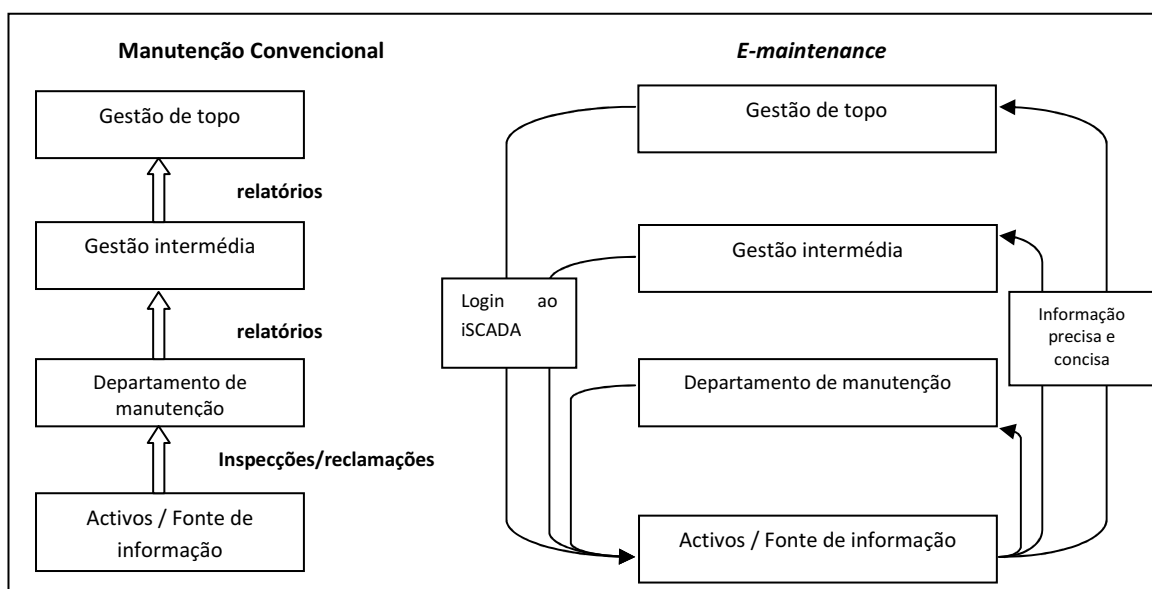


Figura 2.7 – A implementação do *e-maintenance* (Figura adaptada de [8])

Como resultado, existe a possibilidade de reduzir radicalmente os interfaces, tanto entre pessoal, departamentos, ou mesmo entre diferentes sistemas de informação. A integração de processos de negócio contribui significativamente para a aceleração dos processos totais, para uma concepção

simplificada e para a sincronização da produção com a manutenção, maximização da taxa de transferência dos processos e minimização dos custos de paragem. Em geral, isto conduz a menos erros de processo, processos de comunicação melhorados, ciclos de feedback mais curtos e, como tal, qualidade melhorada.

Em resumo, o *e-maintenance* facilita o fluxo bidireccional de dados e informação para o interior dos processos de planeamento e tomada de decisão a todos os níveis [13]. Dessa forma, deverá acontecer uma automatização do acesso à informação relevante para que a mesma chegue aos decisores, de modo a poderem correctamente alocar recursos para a manutenção e otimizar como tal o retorno do investimento.

Manutenção imediata *on-line* – a monitorização remota em tempo real do *status* dos equipamentos juntamente com alertas programáveis permitem ao operador de manutenção responder a qualquer situação de forma célere. Adicionalmente, comunicações de alto débito permitem que os referidos operadores obtenham de forma rápida várias competências especializadas [36] e dessa forma acelerar a reacção de *feedback* na malha local, no produto ligado, no agente de monitorização ou no sistema de suporte à manutenção.

Tem praticamente um potencial ilimitado na redução da complexidade das tradicionais orientações de manutenção, através de orientação *on-line* baseada nos resultados da tomada de decisão e análise da condição do produto [37]. Por exemplo, os PDA (*Personal Digital Assistant*) desempenham um papel chave em permitir a gestão móvel da manutenção mais perto das práticas diárias ao nível do *shop floor*¹¹. Os PDA's permitem ao pessoal da manutenção obter informações directamente do equipamento monitorizado.

Neste contexto, potenciais aplicações de *e-maintenance* incluem a formulação de políticas de decisão para calendarização da manutenção em tempo real baseada em informações actualizadas do histórico de operações realizadas no equipamento, *status* da máquina, utilização antecipada, dependências funcionais, *status* do fluxo de produção, entre outros.

Manutenção Preditiva – A melhoria da utilização dos activos da fábrica usando uma aproximação holística¹², através da combinação de ferramentas e técnicas de manutenção preditiva é uma das maiores áreas de interesse do *e-maintenance* [38].

As potenciais aplicações nesta área incluem prognóstico de falhas de equipamento baseadas na análise das condições actuais e projecções de utilização, ou previsões do tempo de vida remanescente de componentes de máquina. De facto, o *e-maintenance* proporciona às empresas ferramentas de previsão dotadas de inteligência, que monitorizam os seus activos (equipamentos, produtos, processos, etc...) através de sistemas de comunicação *wireless* com o intuito de prevenir avarias inesperadas.

Adicionalmente, estes sistemas podem comparar o desempenho de um produto através de sistemas de monitorização globalmente interligados em rede, permitindo às empresas a focalização na monitorização da degradação e respectivo prognóstico, evitando demasiada concentração de esforços na detecção de falhas e diagnóstico [39].

O prognóstico e a gestão da saúde dos sistemas que podem efectivamente implementar as capacidades apresentadas revelam uma grande oportunidade em termos da redução dos custos gerais do ciclo de vida de sistemas operativos, bem como de um decréscimo da estrutura organizacional e logística relativa às operações de manutenção [40].

¹¹ *shop floor* - parte da fábrica onde são fabricados os produtos.

¹² Aproximação holística – encarar o todo como a solução para compreender as várias partes

2.5.2 Suporte e ferramentas de manutenção

As potenciais áreas de melhoria introduzidas pelo *e-maintenance* no suporte e ferramentas de manutenção são as seguintes:

Análise de defeito/falha – O rápido desenvolvimento verificado na tecnologia dos sensores, processamento de sinal, tecnologias de informação e comunicação, entre outras relacionadas com a monitorização e diagnóstico de condições, aumentam a possibilidade de utilizar dados de múltiplas origens e fontes, bem como de diferentes tipos [41]. Adicionalmente, através das ligações em rede de unidades produtivas remotas, o *e-maintenance* fornece um conhecimento diversificado e sustentado em dados concretos [13].

Estas novas capacidades permitem que a área do *e-maintenance* desenvolva o conhecimento e compreensão das causas de falhas e perturbações do sistema, execute uma melhor monitorização e métodos de análise de sinal, faça um melhor desenvolvimento dos materiais usados, do design e das técnicas de produção [41]. Desta forma verifica-se uma evolução da detecção de falhas para a monitorização da degradação.

Gestão documental da manutenção – uma plataforma de *e-maintenance* permite um processo de troca de informação transparente, coerente e automatizado, onde o acesso à documentação é efectuado de forma unificada, independentemente da sua origem, fabricante do equipamento, integrador ou utilizador final. Por exemplo o preenchimento de um formulário de conclusão de determinada tarefa pode ser despachado para vários receptores (*software* ou humanos), que se registaram para tal evento [27].

Outro exemplo é, ao nível do dispositivo, os produtos são retirados dos armazéns e movimentados para as diversas localizações, sendo as movimentações gravadas em tempo real. Os dados em bruto do estado de saúde da máquina, os dados referentes à qualidade do produto e ao estado do processo podem ser convertidos em informação e conhecimento para a tomada de decisão dinâmica. Isto faz com que as quantidades massivas de dados entre a zona de produção e os sistemas empresariais possam ser eliminadas [38]. Adicionalmente, estas decisões inteligentes podem ser desempenhadas por agentes Web e conectados a ferramentas de *e-business* de modo a conseguir soluções de *e-service* inteligentes [18].

Serviços pós-venda – através do uso da internet, das tecnologias Web e das comunicações wireless, o *e-maintenance* está a transformar as empresas de fabrico em negócio de serviços, de modo a fazer o suporte aos seus clientes em qualquer lado e a qualquer hora [19].

2.5.3 Actividades de manutenção

As potenciais áreas de melhoria introduzidas pelo *e-maintenance* no respeitante às actividades de manutenção são as seguintes:

Diagnóstico/localização de avarias – o e-diagnóstico oferece aos peritos a capacidade de executar diagnósticos de avarias on-line, partilhar as suas valiosas experiências com outros, e sugerir soluções aos operadores caso ocorram condições anómalas na máquina inspeccionada [42]. Dessa forma, o tempo necessário para comunicar um problema de produção, a um perito na potencial resolução do mesmo, pode ser reduzido, a qualidade da informação partilhada pode ser melhorada, e como tal, o tempo de resolução reduzido [25]. Estes factores contribuem para o aumento da disponibilidade dos respectivos equipamentos produtivos, para uma redução do MTTR (*Mean Time To Repair*), e uma redução significativa dos custos e recursos de trabalho em campo.

Reparação / reconstrução – os operadores remotos têm a possibilidade, através das e-ligações, de se ligarem a centros periciais de uma forma rápida e sem o dispêndio de viagens e dias perdidos. Os

tempos na situação de fora de serviço podem ser reduzidos através de interacções directas (detecção de problemas), através dos autores dos diversos produtos e de especialistas [34]. Por outro lado, o diagnóstico, o trabalho de manutenção desenvolvido e componentes substituídos ficam disponíveis na hora, através de respostas estruturadas e os passos de resolução são apresentados, por exemplo, num dispositivo móvel.

Gestão e capitalização do conhecimento – Os conhecimentos provenientes de várias fontes e o ambiente de dados que o *e-maintenance* cria, permitem uma eficiente partilha de informação e, como tal, significativa capacidade de capitalização e gestão do conhecimento. Através da disponibilidade de ferramentas para interacção, manuseamento e análise de informação acerca do estado do produto, o desenvolvimento da engenharia de manutenção para o suporte do ciclo de vida do produto torna-se gradualmente mais exequível [37].

2.6 Desafios para o *e-maintenance*

Da mesma forma que foram analisadas as potencialidades do *e-maintenance*, apresentam-se agora os seus principais desafios, através da identificação de alguns exemplos de necessidades tecnológicas, informacionais ou organizacionais, estruturados de acordo com a sua relação aos tipos e estratégias de manutenção, ao suporte e ferramentas de manutenção ou às actividades de manutenção [31].

2.6.1 Tipo e estratégias de manutenção

O *e-maintenance* tem ainda os seguintes desafios e necessidades relacionadas com o tipo e estratégias de manutenção:

Manutenção remota - Existem algumas forças que restringem a utilização da manutenção remota de uma forma completa e total. Para começar podemos salientar a segurança e a fiabilidade das transacções pela internet [34]. A gestão do risco em actividades de *e-maintenance* envolve um compromisso entre a protecção por um lado e a funcionalidade, desempenho e facilidade de uso por outro [9]. Como tal, torna-se necessário concentrar esforços na reestruturação dos recursos humanos, contratos de manutenção e formação [28]. Cada actor envolvido na manutenção (técnico, engenheiro, chefe de equipa) deverá ser capaz de acompanhar a velocidade do fluxo da informação e compreender a sua estrutura global. De modo a implementar com sucesso um sistema de *e-maintenance* [43] deverá ser desenvolvida uma plataforma informática fiável, escalável e comum, entre dispositivos e negócios. Isso inclui a implementação de redes Wireless, de internet e Ethernet.

Manutenção cooperativa / colaborativa - A construção de um sistema de *e-maintenance* envolve uma série de questões relativas à integração de informação que cruza várias plataformas. São exemplos o desenvolvimento de mecanismos de transformação de dados, a concepção de mensagens de comunicação, a selecção de protocolos de transmissão de dados e a construção de uma ligação de rede segura [32]. Existem vários estudos e projectos no sentido de desenvolver uma plataforma de *e-maintenance* que forneça um suporte de e-colaboração entre fornecedores, engenharia de produto e de processo, bem como entre clientes, dentro do âmbito da gestão de activos. Para satisfazer este propósito, devem ser cumpridos dois requisitos adicionais [41]:

- O fluxo total de informação deverá ser estruturado de acordo com uma terminologia semântica comum de *e-maintenance*;
- Os sistemas de manutenção, económicos e de negócios deverão ser harmonizados de modo a comunicarem entre si para produzirem os elementos chave essenciais, necessários para as decisões de negócio do dia-a-dia, bem como das decisões estratégicas.

Estes requisitos são parte da integração empresarial, identificados por Zhang et al. [20] como o primeiro desafio a ser ultrapassado no intuito de construir uma plataforma para o *e-maintenance*. Devido à imanente falta de inter-operacionalidade eficiente entre os sistemas de *software* da fábrica,

investigação em sistemas de *e-maintenance* “altamente integrados”, que cumpram os requisitos gerais, esta torna-se uma área de promissora investigação [44]. Além disso existe uma falta de sistemas formais de modelos cooperativos. Essa é a razão pela qual a eficiência da cooperação no interior de sistemas remotos computadorizados de elevada complexidade é ainda uma preocupação para industriais que utilizam estes sistemas. Existem diferentes ferramentas, com algoritmos diferentes e todo um conjunto de outros entraves [26].

Manutenção distribuída - De modo a implementar com sucesso um sistema de *e-maintenance*, torna-se necessário o desenvolvimento de computação distribuída, optimização e sistemas de sincronização para a tomada de decisão dinâmica [43]. Como o sistema de *e-maintenance* inclui um volume de dados, de informação e de conhecimento muito elevado, algum do processamento mais simples deverá ser descentralizado a um nível tão baixo quanto possível, como seja o nível sensor [41].

Manutenção preditiva - É ainda um dos mais aliciantes desafios para os investigadores desta matéria a tarefa de gerir a previsão de falhas e distúrbios, de estimar o tempo de vida remanescente dos componentes, dos sistemas mecânicos e sistemas integrados [41]. Ao contrário de numerosos métodos para fazer o diagnóstico, os métodos de prognóstico ainda se encontram numa fase de desenvolvimento muito incipiente e ainda não foi apresentada na literatura científica e comercial um modelo de trabalho para um prognóstico efectivo.

As modernas unidades produtivas têm necessidade de fazer de forma efectiva e eficiente, assente numa base preditiva, o prognóstico condicional da maquinaria [45]. Contudo existem várias dificuldades devidas à inconsistência dos modelos heterogéneos usados por quem desenvolve os processos parciais de manutenção [46]. Para dar suporte a estes objectivos tornam-se necessários desenvolvimentos nas áreas da inteligência preditiva (algoritmos, *software* e agentes) e do mapeamento das relações entre variação da qualidade do produto e degradação da maquinaria e processos [43]. Adicionalmente, a análise da degradação deve ser tida em linha de conta no ambiente de trabalho que a máquina é sujeita no seu ciclo de vida, de modo a fornecer previsões com precisão [17].

2.6.2 Suporte e ferramentas de manutenção

O *e-maintenance* apresenta os seguintes desafios e necessidades relacionadas com o suporte e ferramentas de manutenção:

Documentação/registo da manutenção - A plataforma de *e-maintenance* terá de suportar inventário e controlo de operações (por exemplo através do uso de leitores de código de barras, portáteis, *scanners*, etc...) e fornecer possibilidades de acesso a catálogos externos [27]. Além disso deve recolher, registar e armazenar informação referente a:

- modos de degradação
- secções de degradação da máquina
- frequência de degradação
- tempo e local da degradação
- tempo requerido de prevenção
- custo requerido de prevenção
- práticas de manutenção sugeridas e/ou aplicadas, etc... [47]

O sucesso desta plataforma de manutenção colaborativa depende da existência de um ambiente operacional de multi-tarefa e multi-utilizador, e uma base de dados rápida e fácil de gerir. Desta forma será possível implementar um sistema pericial onde os intervenientes poderão armazenar os seus conhecimentos e então retirar informação útil no apoio à tomada de decisão e resolução de problemas [23].

2.6.3 Actividades de manutenção

O *e-maintenance* apresenta os seguintes desafios e necessidades relacionadas com as actividades de manutenção:

Inspeção / monitorização - Ainda existe uma clara necessidade para sistemas genéricos, que podem oferecer soluções de monitorização integrada, através da habilitação do processamento de informação a diferentes níveis de abstracção e representação e ser customizável para diversas aplicações [48]. A monitorização autónoma e distribuída é fundamental à penetração do *e-maintenance* em unidades industriais altamente produtivas.

Gestão e capitalização dos conhecimentos - Um dos desafios mais prementes da indústria é a realização de operações e de manutenção baseadas no conhecimento [20]. O fluxo de informação recolhido pela plataforma de *e-maintenance* terá que ser usado para a aprendizagem de comportamentos e para propósitos de extracção de regras. Assim sendo, um sistema pericial pode ser conseguido através da conversão inteligente de dados em informação [38]. Esta capitalização do conhecimento tem em vista a criação de memória corporativa da empresa (isto é, um conjunto estruturado de conhecimento relacionado com a empresa num determinado domínio) [49].

2.7 Standards desenvolvidos em *e-maintenance*

A implantação do *e-maintenance* na indústria é suportada hoje em dia por diferentes *standards* que ajudam os engenheiros no desenvolvimento de plataformas / arquitecturas de *e-maintenance*, adequadas aos sistemas sujeitos a manutenção. Os principais *standards* existentes, são os seguintes [8]:

- IEEE 802.11x, EN457:1992-ISO7731.
- IEC 62264 (*enterprise—control system integration*) based on ANSI/ISA S95.
- ISO 15745 (*industrial automation application integration Framework*).
- MIMOSA (*Machinery Information Management Open System Alliance*)-IEEE 1232.
- ISO 13374 (*Condition Monitoring and Diagnostics of Machines*).
- EN60204-1:1997/IEC60204-1 (*Safety of Machinery*).

Alguns destes foram desenvolvidos dentro da tecnologia CBM¹³ e são específicos dentro dos sistemas CBM. Nesta área, as propostas de *standardização* promovidas pelas organizações MIMOSA e *Open Systems Architecture for CBM (OSA/CBM)* e os *standards* publicados IEEE Std. 1451, IEEE Std. 1232 e ISO 13373-1 foram examinados com detalhe por Bengtsson [50].

A interconectividade das ilhas de manutenção e a fiabilidade da informação estão consubstanciados no *e-maintenance*. Como tal, uma rede de *e-maintenance* deve fornecer para o intercâmbio aberto de equipamentos, informação relacionada com os activos entre avaliação de condições, controlo de processos e sistemas de manutenção de informação. Pode ser desenvolvido a partir de um conjunto de ilhas de informação de várias formas: usar um único sistema proprietário, comprar uma ponte customizada, construir uma ponte customizada, ou usar uma ponte em sistema aberto [11].

A última solução parece ser a mais promissora. A adopção das especificações MIMOSA podem facilitar a integração da gestão de informação de activos, fornecer liberdade de escolha a partir de uma gama alargada de aplicações de *software*, e poupar dinheiro através da redução de custos de integração e manutenção de *software*.

¹³ CBM (*Condition Based Maintenance*) – Manutenção Baseada em Condições

2.8 Plataformas de investigação

2.8.1 Introdução

Um dos grandes factores de desenvolvimento do *e-maintenance* foi o desenvolvimento de plataformas de investigação nesta área, que permitiram que estudantes, grupos de investigação ou empresas aprofundassem este conceito. Não existe uma definição consensual para plataforma de *e-maintenance*. Contudo, e no âmbito deste trabalho, considera-se que uma plataforma de *e-maintenance* consiste em *software*, *hardware* e novas tecnologias que devidamente integradas oferecem um determinado serviço de *e-maintenance*. A maioria das plataformas criadas nestes últimos anos ainda se mantém em funcionamento hoje em dia, e podemos citar como exemplos a ICAS-AME, CASIP, WSDF, PROTEUS, TELMA, MRPOS, IMS/D2B, REMOTE DATA SENTINEL, DIAMOND, IPDSS, INTERMOR, QUESTRA, ENIGMA, DEXTER, DYNAWeb, SEMATECH, entre outras [51]. Estes exemplos têm origem tanto do mundo académico como do mundo empresarial.

As plataformas de *e-maintenance* podem ser classificadas e agrupadas de várias formas. Temos por um lado as plataformas combinadas de *hardware* e *software*, tal como a ICAS, desenvolvida pela Marinha Norte Americana. Por outro lado, temos as plataformas como a PROTEUS, implementando essencialmente potencialidades do *software* de *e-maintenance*. Existem ainda as soluções completas de *software* como é o caso do CASIP. Finalmente, temos as plataformas completas como é o caso TELMA, totalmente consistente com a filosofia global de *e-maintenance*.

2.8.2 ICAS

O ICAS (*Integrated Condition Assessment System*) é um *software* comercial (COTS¹⁴) desenvolvido pela IDAX Inc., e cujos direitos e licença são detidos pela Marinha Norte Americana (U.S. Navy). Tem uma arquitectura configurável, do tipo concha, permitindo a implementação de monitorização de maquinaria e Manutenção Baseada em Condições (CBM). Actualmente, ICAS está instalado em mais de 100 navios da marinha norte americana [52].

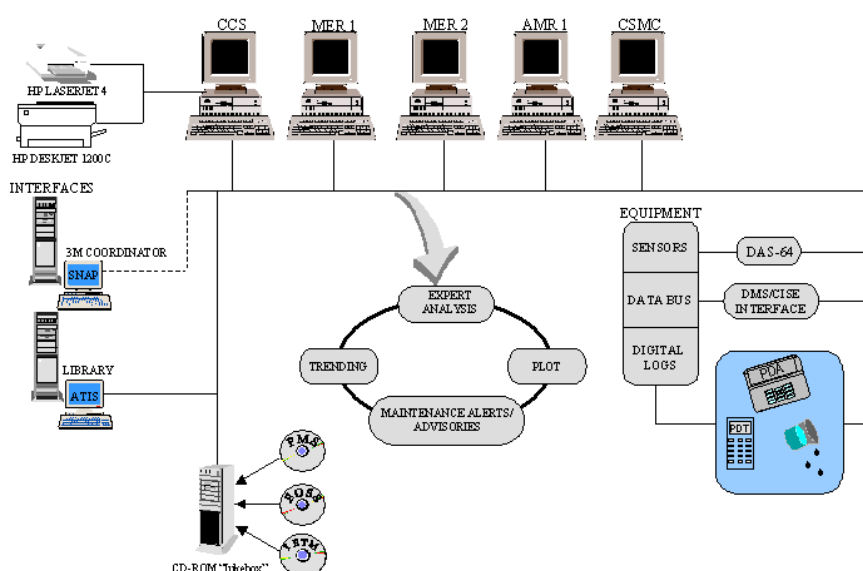


Figura 2.8 – Instalação Típica de Navio CG-47

¹⁴ COTS (*Commercial, off-the-shelf*) – termo usado para designar *software* ou *hardware* que está pronto e disponível para venda ou licenciamento ao público.

Uma instalação típica de um navio da Marinha Norte Americana consiste em quatro ou cinco estações de trabalho, uma em cada compartimento de maquinaria, conforme ilustrado na figura 2.8, ligados por uma rede local (LAN). Cada estação de trabalho acomoda uma CDS (*Configuration Data Set*) única, que contém a informação de engenharia que representa o equipamento naquele espaço.

O *software* ICAS converte os dados carregados em informação útil. Os dados são organizados, avaliados e fundidos de modo a permitir que a manutenção seja desempenhada com base numa evidência de necessidade. Tipicamente o ICAS irá fazer o interface com um barramento de dados de controlo da maquinaria existente, de modo a receber informação pertinente sem duplicações de sensores ou *hardware* de processamento. Para pontos de dados adicionais, o pessoal do navio utiliza um colector de dados portátil para o *upload* dos dados, via interface série, para as estações de trabalho.

Vamos analisar um exemplo concreto da aplicação num navio de guerra, o CG-47, USS TICONDEROGA, que entre outras características foi o primeiro navio de guerra do mundo a ser equipado com o sistema de combate AEGIS. Uma instalação ICAS num CG-47 *class hull* faz a monitorização de várias máquinas e sistemas, tais como o propulsor principal, engrenagens de redução, chumaceiras do veio de propulsão, ar condicionado, refrigeração, ar comprimido de alta e baixa pressão, entre outros.

O ICAS também tem ligação a produtos digitais de logística da marinha, tais como EOSS (*Engineering Operational Sequencing System*), PMS (*Planned Maintenance System*), e IETMs (*Interactive Electronic Technical Manuals*). Estas ligações permitem não apenas consulta/navegação, mas também efectuar recomendações de manutenção, que serão ligadas directamente à secção ou carta apropriada.

Foram poupadas milhares de horas-homem através da automatização da recolha de dados e monitorização de desempenho. Quanto mais dados são recolhidos, as taxas de falha e as respectivas causas são melhor compreendidos. Este conhecimento irá então ser utilizado para afectar as periodicidades da manutenção, conceber mudanças e práticas operacionais.

Foi feito um esforço para reunir estes dados numa base de dados comum, MELS (*Maintenance Engineering Library Server*), de modo que a análise estatística pode ser efectuada de modo a ganhar um maior conhecimento das operações do equipamento em ambiente marítimo e para conseguir outras poupanças relativas à manutenção. Quanto mais dados são reunidos, as taxas de falha e as causas das falhas são melhor compreendidos e como tal mais previsíveis. Este conhecimento tem efeitos nas periodicidades da manutenção, mudanças no design e concepção de componentes e também nas práticas operacionais.

Apesar de esta ter sido uma das primeiras plataformas de *e-maintenance* do mundo, o ICAS tem tido uma evolução constante, com uma incorporação de novas tecnologias e de melhores práticas implementadas. [53] O objectivo desta trajectória evolutiva será o reforço das suas potencialidades com a integração das mais recentes aplicações electrónicas de *e-business*, redes e dispositivos *wireless*, e ao mesmo tempo integrar-se com sistemas específicos de controlo militar e produtos integrados de logística, num ambiente seguro.

2.8.3 TELMA

Com o intuito de experimentar o conceito de *e-maintenance*, não apenas do ponto de vista da investigação mas também tendo em conta os requisitos industriais, o UHP/CRAN¹⁵ fez a concepção e desenvolvimento de uma plataforma completa de *e-maintenance*: a plataforma TELMA [54]. Esta plataforma é baseada no processo físico ligado tanto à arquitectura de automação como à arquitectura de manutenção. Foi desenvolvida a partir de componentes do mercado para ter, na medida do possível, características de um contexto industrial.

¹⁵ <http://www.cran.uhp-nancy.fr/>

Dessa forma, a plataforma TELMA suporta um processo físico dedicado à desbobinagem de fita metálica. Este processo é similar a aplicações industriais concretas tais como corte de chapa metálica e corte de bobinas de papel. O processo físico é dividido em quatro partes: mudança da bobina, acumulação de fita, corte / punção e sistema de avanço. Cada parte é composta por vários componentes tais como cilindro pneumático, mandril, sistema de marcação, motor, etc., conforme ilustrado na figura 2.9.

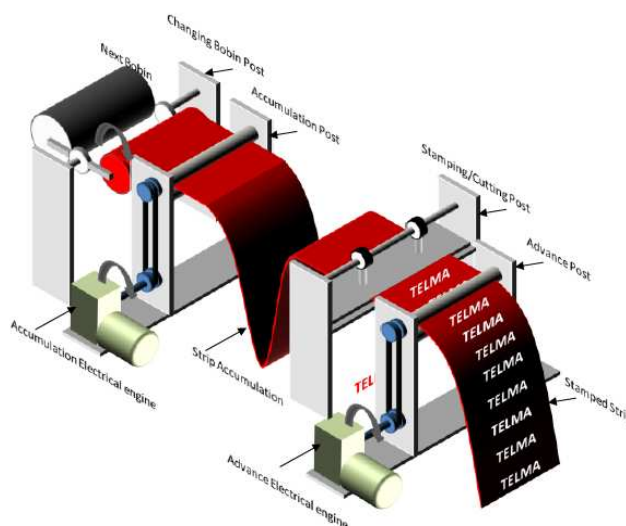


Figura 2.9 – O processo físico da Plataforma TELMA

A plataforma TELMA está localizada na Universidade de Nancy¹⁶ e foi desenvolvida principalmente para o suporte de *e-maintenance*, através da integração de:

- Engenharia e *deployment* de CBM e estratégias de manutenção proactiva consistentes com o proposto em OSA/CBM [58]
- Integração destas estratégias num contexto empresarial
- Avaliação dos impactos estratégicos nos desempenhos de um sistema global de manufactura:
 - Produtividade (disponibilidade, manutabilidade, ...), qualidade, custos, etc.

Mais globalmente, as especificações da plataforma TELMA foram desenvolvidas para dar resposta a um grupo de investigadores e professores que pretendiam ter ao seu dispor uma plataforma de treino (e experimentação) nas áreas da manutenção, tele-manutenção e *e-maintenance*.

Dessa forma, a plataforma foi projectada para:

- uso local num contexto de actividades de formação convencionais;
- uso remoto via internet para operações de e-services industriais (ex. tele-monitorização) e também para aceder a informações de produção, dados de desempenho,... (acesso através de VPN – Virtual Private Network);
- uso para *e-teaching* e *e-learning* como aplicação de suporte a cursos na área do *e-maintenance*
- Finalmente, a plataforma TELMA é usada para validar resultados de investigação em processos de prognóstico e apoio à decisão, bem como para demonstrações em componentes de *e-maintenance*, *software* e Web-Services no projecto europeu integrado denominado DYNAMITE.

¹⁶ <http://www.aip-primeca.net>

2.8.3.1 Caracterização da plataforma TELMA

TELMA é uma plataforma que materializa um processo físico dedicado a desbobinar fita metálica. Este processo é similar a aplicações industriais concretas tais como corte de folhas metálicas e corte de bobinas de papel. Cada parte é composta por vários componentes tais como cilindro pneumático, mandril, sistema de marcação, motor... Um conjunto de sensores (sensores de velocidade, ...) e actuadores estão em ligação com o processo físico. Com estes actuadores e sensores está conectado o sistema de automação que é composto por ecrãs de controlo, placas de controlo, PLC's (TSX Premium com interface Web), variação de velocidade (Altivar) para controlo dos motores com interface Web, Web-Cam, remote I/O. A figura 2.10 representa esquematicamente a plataforma.

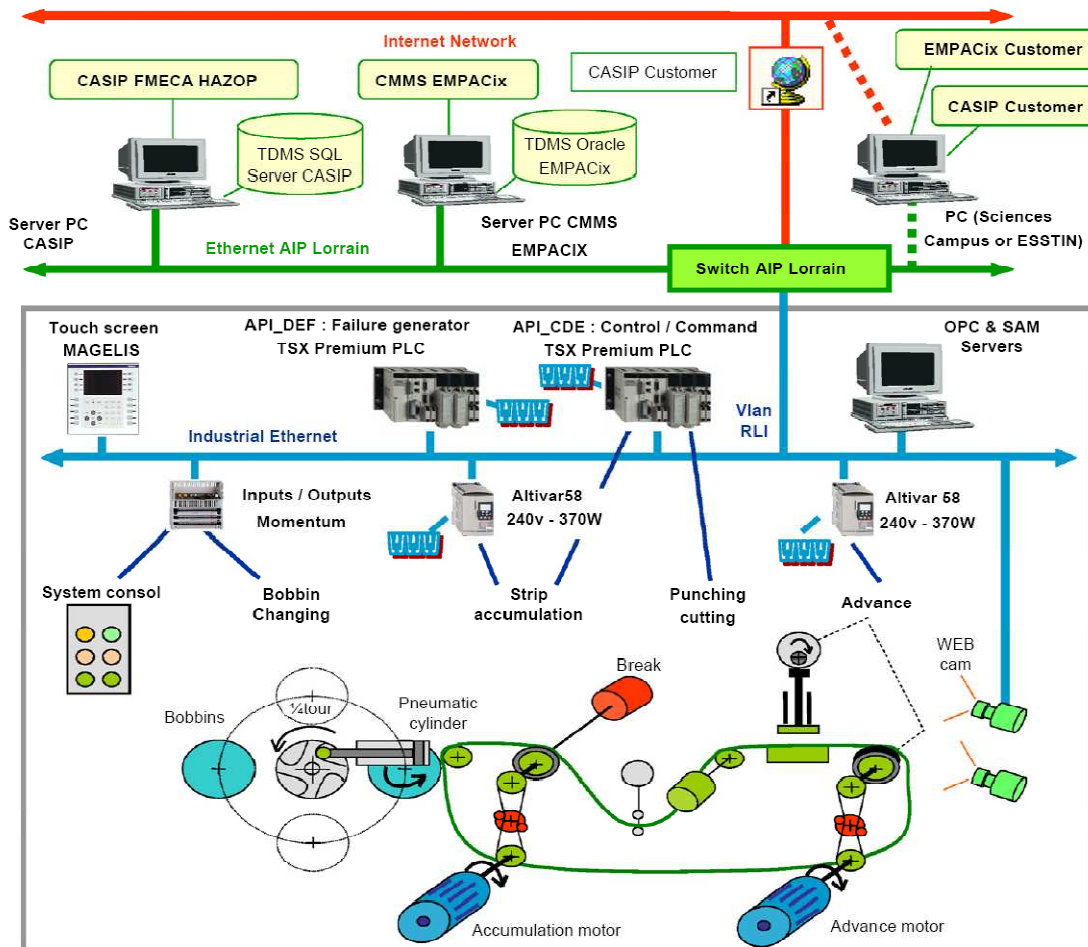


Figura 2.10 – A descrição da Plataforma TELMA [11,12]

Outro PLC é totalmente dedicado a gerar degradações e falhas através de algoritmos de *software* ou através da modificação de sinais I/O. Alguns componentes mecânicos foram também acrescentados para simular outras falhas físicas e degradações. As degradações e falhas (e as suas evoluções) são programadas (i.e. seguindo a lei *Weibull*; eventos aleatórios; cadeias de Markov) e analisadas pelo professor/investigador (de uma forma local ou remota). Da mesma forma, os componentes em falha são reparados segundo uma lei de manutabilidade, lei exponencial ou por acção proposta pelo estudante e validada pelo professor. Além disso, para simular o envelhecimento dos componentes, considera-se que a acção de manutenção executada nem sempre é perfeita (i.e. *As Good as New*; *As Bad as Old*). Esta forma inovadora de olhar para a plataforma permite uma forma eficiente de validação e avaliação das capacidades do e-maintenace através da emulação técnica vs funcional das degradações/falhas (i.e. um cenário de validação).

2.8.4 PROTEUS

2.8.4.1 Introdução

A ideia original do projecto PROTEUS dedicado à manutenção industrial assenta na integração de todas as ferramentas necessárias, cuja amplitude de funções varia desde a detecção de alarmes até à gestão de peças sobressalentes, com o objectivo de otimizar custos e melhorar a produtividade. Esta optimização pode ser vista como uma extensão dos princípios do controlo automático na empresa, em particular o conceito de “malha fechada” aplicado ao processo produtivo.

De facto, a manutenção é uma actividade muito importante para todas as empresas industriais, na melhoria da qualidade do produto, processo produtivo e satisfação do cliente. A manutenção cobre todos os domínios de uma empresa, desde o edifício e o equipamento, à própria organização de acordo com diferentes estratégias (manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção correctiva), passando pela gestão de operadores e material, por sistemas de diagnóstico apoiados por computador, até à gestão documental e outros.

A manutenção é portanto uma actividade que necessita da integração de vários subsistemas associados às diferentes funções envolvidas nas operações de manutenção. Todos estes subsistemas de *software* estão actualmente baseados em diferentes modelos, normalmente são complementares, mas muitas vezes redundantes, algumas vezes incoerentes e sempre heterogéneos.

O objectivo do PROTEUS é pois a integração destes vários subsistemas graças a uma descrição única e coerente do equipamento (através de uma descrição ontológica), uma arquitectura genérica (baseada na tecnologia *Web Services*) e modelos coerentes de componentes heterogéneos. Aproximações de modelação como UML [55], PERA [65], GRAI [56] deverão ser exploradas para gerir a diversidade de problemas e tarefas envolvidas.

É então possível aceder a toda informação de forma unificada, independentemente da sua origem, fabricante de equipamento, integrador ou utilizador final. Qualquer operador ou gestor (obviamente com os devidos direitos de acesso) tem também a possibilidade de aceder remotamente a informação relevante dos sistemas de gestão da informação que controlam a fábrica, para requisitar um diagnóstico de um sistema remoto inteligente, e depois preparar qualquer intervenção com qualidade.

Tal plataforma pode ser adaptada a qualquer ferramenta de produção, em qualquer domínio (energia produzida por uma central nuclear ou parques eólicos, empresas de fabrico de componentes, sistemas de transporte entre outros). Permite qualquer estratégia de manutenção, permite o *outsourcing* da manutenção a empresas dedicadas e especializadas, e a optimização de diferentes tarefas ou operações em benefício dos diferentes actores

As expectativas do utilizador podem ser divididas em dois grandes grupos – aquelas que estão orientadas para o sistema geral de manutenção e aquelas dedicadas às ferramentas individuais (CMMS, aquisição de dados, ERP, e-documentação, gestão do conhecimento, portal Web) necessárias para executar tarefas complexas de manutenção. Os requisitos para uma plataforma global são os seguintes:

- A plataforma deverá encapsular diferentes fontes de informação para esconder a distribuição do utilizador;
- O acesso à plataforma deverá ser possível usando diferentes tipos de aplicações cliente (acesso através de browsers de computadores ou terminais móveis, bem como de aplicações dedicadas de manutenção);
- Integração de ferramentas já em uso na fábrica deverá ser possível;
- A monitorização do equipamento em manutenção deverá ser adaptável às necessidades individuais dos utilizadores;

- A plataforma deverá fornecer uma representação unificada da informação independente da sua origem;
- A construção da plataforma deverá ser escalável para permitir adaptação a sistemas de diferentes complexidades;
- As tecnologias utilizadas na construção da plataforma deverão ser *standard* ou *quasi-standard* amplamente usados, e componentes tipo *open source* deverão ser usados onde aplicável;
- A plataforma deverá estar aberta a melhorias técnicas no que concerne a ferramentas a ser integradas ou tecnologias aplicadas (adaptabilidade, extensibilidade, ...);
- A plataforma deverá ser baseada em tecnologias Web;
- Deverão ser tidos em consideração os aspectos relativos à segurança.

2.8.4.2 Arquitectura da plataforma de manutenção

Os requisitos previamente enunciados são ilustrados na figura 2.11, onde o PROTEUS está principalmente focado na infra-estrutura de integração e não no desenvolvimento de ferramentas dedicadas.

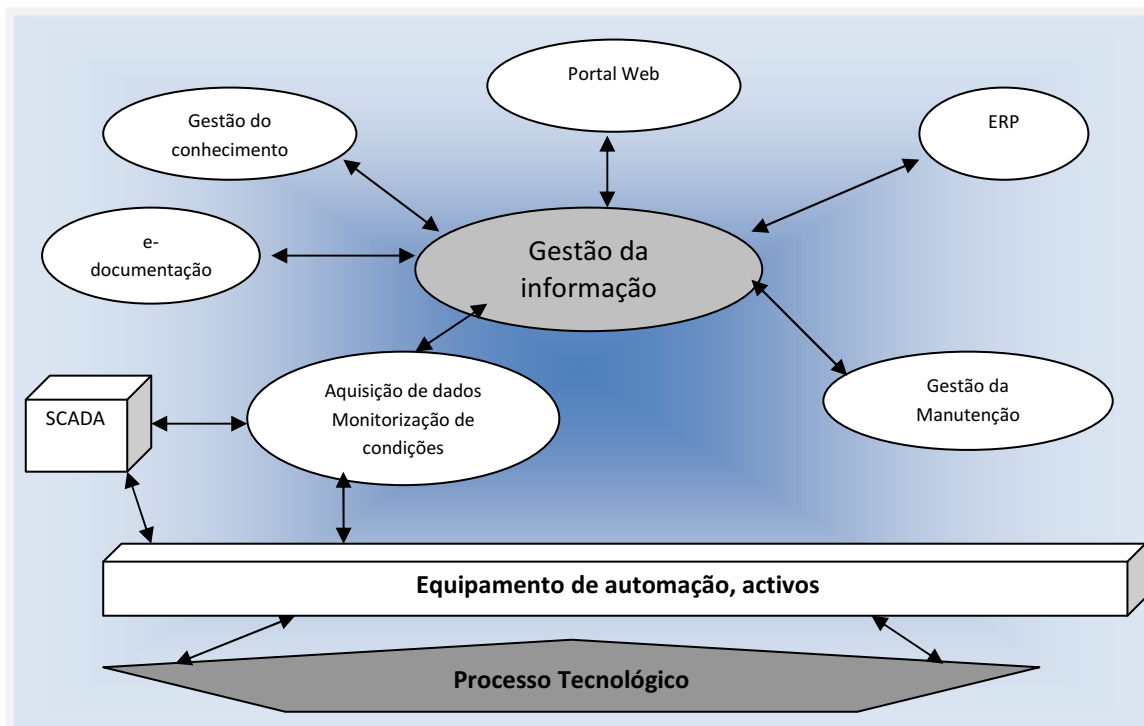


Figura 2.11 – Componentes gerais da plataforma de *e-maintenance* (Figura adaptada de [63])

O conceito apresentado tem como base a ideia da integração de aplicações num contexto de manutenção – MAI (*Maintenance Application Integration*). Considera todos estes componentes como fazendo entregas úteis de dados úteis para tarefas de manutenção:

Portal Web – o portal Web pode ser visto como a interface universal do utilizador para o acesso à informação relacionada com a gestão da manutenção. É responsável por fornecer dados aos diferentes tipos de aplicações de cliente.

ERP (*Enterprise Resource Planning*) – as ferramentas ERP, tais como SAP/R3, não são primariamente dedicadas ao uso da gestão da manutenção. Devem ser considerados dois aspectos. Em primeiro lugar, os sistemas ERP são partes elementares da gestão da empresa e são capazes de entregar informação respeitante a activos, pessoal, etc. Em segundo lugar, os sistemas actuais ERP podem já conter módulos para a gestão da manutenção.

Sistemas de Gestão da Manutenção (CMMS) – Os CMMS's são usados tradicionalmente para planear e controlar as tarefas de manutenção.

Gestão do conhecimento – os métodos de gestão do conhecimento são usados para dar suporte aos processos de diagnóstico bem como à tomada de decisão.

Servidor de e-documentação – pode ser usado para gerir o acesso a qualquer tipo de informação utilizada na descrição de activos, suporte à reparação, inspecção ou serviço.

Servidor de aquisição de dados – A disponibilidade de dados online é uma das pré-condições para a aplicação de estratégias de manutenção baseada em condições.

Núcleo da plataforma – São necessárias algumas funções básicas para gerir as operações cooperativas de todas as ferramentas consideradas como partes elementares da plataforma de *e-maintenance*. São considerados os mecanismos de comunicação, gestão dos direitos de acesso, distribuição/notificação de eventos, registos, agendamento de operações e gestão do fluxo de trabalho.

2.8.4.3 Conceito de integração da plataforma

A ideia base da plataforma Proteus consiste em usar as aplicações de manutenção existentes (ferramentas) de modo a fornecer serviços de manutenção integrados. A integração é baseada numa execução co-operativa e orquestrada de processos distribuídos que correm em plataformas de *hardware/software* heterogéneas e que comunicam via *Web Services*.

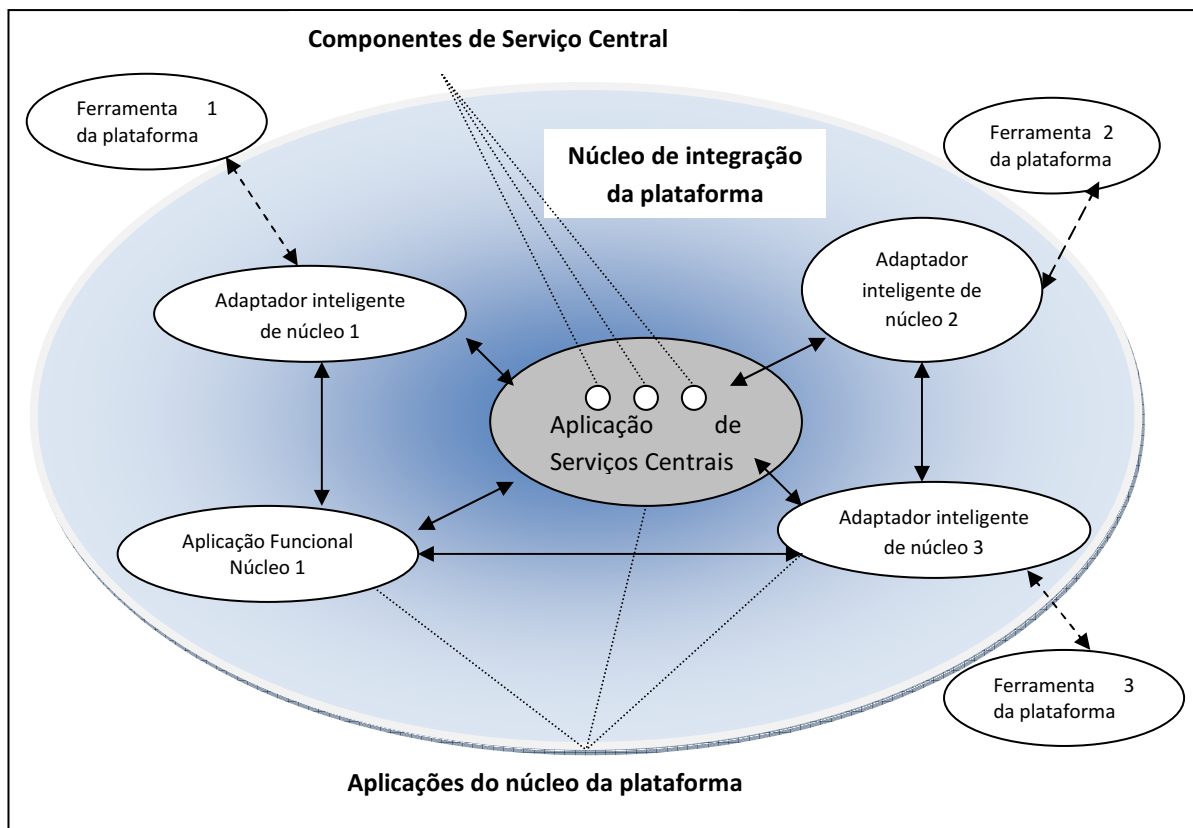


Figura 2.12 – Arquitectura da Plataforma Proteus (Figura adaptada de [63])

A figura 2.13 representa a vista de topo da arquitectura da Plataforma Proteus. Este padrão arquitectural em estrela tem na sua estrutura três classes de elementos, orientados para funções diversificadas:

1. *Central Service Application* / Aplicação de Serviço Central (CSA) – fornece serviços orientados à integração;
2. *Intelligent Core Adapters* / Adaptadores Inteligentes de Núcleo (ICA) – fornece transformadores de interface *standardizados* para as aplicações periféricas (ferramentas da plataforma);
3. *Functional Core Applications* / Aplicações Funcionais do Núcleo (FCA) – implementa funções suplementares necessárias pelos requisitos do serviço global e não fornecidas pelas ferramentas da plataforma.

A estrutura representada na figura anterior implementa a ideia de integração via interfaces de *standardização* e é na totalidade ditada pelos requisitos de flexibilidade da escolha das ferramentas da plataforma. A arquitectura é optimizada para trocas de informação rápidas. O CSA é usado para o estabelecimento de comunicação entre os parceiros de comunicação e a rápida procura de informação distribuída. ICA's e FCA's trocam informação directamente usando o padrão cliente-servidor.

2.8.5 C ASIP - Computer Aided Safety and Industrial Productivity

O CASIP (*Computer Aided Safety and Industrial Productivity*)¹⁷ é um pacote de *software* que permite a implementação de diagnóstico remoto e outras funcionalidades de *e-maintenance* [54]. Este *software* integra tanto os módulos de projecto, permitindo a análise de degradações, as suas causas, os seus efeitos, os seus sintomas, etc... (FMECA, HAZOP, Análise de árvore de falhas), como os módulos de manutenção proactiva (monitorização, diagnóstico, prognóstico). O *software* CASIP completa o ERP no âmbito da gestão do risco das unidades produtivas e do Sistema de Execução do Fabrico (MES), de forma a reagir em tempo real às avarias.

Ao nível do ERP, o CASIP é aberto ao CAM (*Computer Aided Manufacturing*), CMMS (*Computurised Maintenance Management System*) e outros sistemas existentes. Ao nível do MES, o CASIP é aberto a SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), PLC (*Programmable Logic Controller*), Entradas/Saídas Distribuídas, Sistema de aquisição de dados e outros sistemas de controlo. CASIP-SAM é a plataforma concreta (um módulo do CASIP) que suporta concretamente todos os algoritmos fornecidos pelos módulos de projecto e requeridos para desenvolver o *e-maintenance*.

2.9 Apoio proactivo da manutenção

A palavra “prognóstico” deriva do grego “*progignôskein*” que significa saber antecipadamente. Este processo associado à manutenção proactiva deve prever o estado futuro de um sistema ou de um componente. Algumas definições foram propostas no sentido de especificar os seus objectivos.

Para (Byington et al.) [57], “Prognóstico é a capacidade de prever a futura condição de uma máquina baseado no diagnóstico actual do estado do equipamento e da informação histórica da sua disponibilidade de operação e falhas.” Para (Lebold e Thurston) [58] e (Farrar e Lieven) [59], o prognóstico deve projectar o estado de sanidade do equipamento no futuro, tendo em conta as estimativas da utilização futura. A utilização futura define um cenário, composto pela evolução futura da informação que influencia a degradação / falha, acções de manutenção entre outros factores.

O prognóstico é um processo imanado dos objectivos e princípios da proactividade, sendo expresso inicialmente na Manutenção Baseada em Condições (CBM) e actualmente no *e-maintenance*. Nestas visões, o prognóstico está em interacção/colaboração com outros processos de negócio (monitorização de condições, diagnóstico, apoio à decisão...), através da troca e partilha de informações/conhecimento.

¹⁷ <http://www.Predict.fr>

No projecto OSA-CBM (*Open System Architecture for Condition Based Maintenance*) [58], foi definida uma arquitectura, conforme apresentado na figura 2.14:

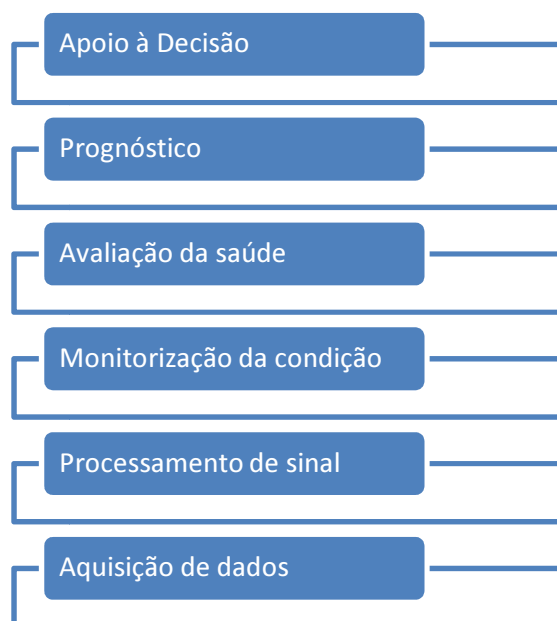


Figura 2.13- Camadas OSA-CBM¹⁸

A estrutura é composta por 6 camadas que constituem uma sucessão linear de sub-processos, que vão desde a aquisição de dados até ao apoio à decisão. A camada de prognóstico está localizada entre a camada avaliação de saúde e a camada apoio à decisão. A camada avaliação de saúde inclui o processo que permite a definição do nível actual de degradação/falha (do sistema ou de um componente), e o processo de diagnóstico que fornece os actuais modos de degradação/falha. A camada de apoio à decisão apoia a tomada de decisão de modo a escolher uma acção de manutenção relevante para restaurar o sistema num estado prévio. Os principais dados trocados entre as diferentes camadas são identificados e modelados na plataforma MIMOSA (*Machinery Information Open Systems Alliance*).

A razão principal para o desenvolvimento deste *standard* está relacionada com os custos extremamente elevados na manutenção na marinha de guerra norte americana, principalmente quando se trata de mão-de-obra ou custos relacionados com *softwares* e *hardwares* proprietários. Como tal procurou-se a *standardização* das especificações relativas à troca de informação dentro da comunidade de utilizadores de manutenção baseada em condições, no sentido de pressionar os diversos fabricantes de soluções a produzirem componentes de *hardware* e *software* intermutáveis. A visão dos investigadores nesta área seria a de criar um *standard* aberto de forma ampla, que resultaria num mercado livre de componentes para CBM. A arquitectura em sistema aberto facilitaria a integração e a comutabilidade destes componentes a partir de uma larga variedade de fontes. Os benefícios seriam imensos, com particular destaque para custo, grau de especialização, competição e cooperação.

¹⁸ <http://www.mimosa.org/>

3 Estratégias de implementação de mudança – casos de estudo

3.1 Introdução

Neste capítulo irá ser efectuada uma caracterização, com recurso a casos concretos, da forma como se estrutura a manutenção em diversas organizações. Irá ser dado relevo às áreas onde o *e-maintenance* poderá trazer mais-valias e de que forma é que se podem fazer *upgrades* às diversas realidades no local. Os métodos de trabalho dentro de uma organização estão, normalmente, profundamente enraizados no trabalho do dia-a-dia e a mudança de métodos de trabalho pode ser encarada com cepticismo tanto pelos trabalhadores como pelos responsáveis pela gestão [60]. Para se implementar com sucesso a mudança nas organizações, deverão ser seguidos dois importantes padrões: a mudança deverá acontecer em patamares, o que gera força e motivação para se sobrepor às reacções adversas, e o processo deverá ser conduzido por uma liderança de alta qualidade.

Por outro lado, as empresas modernas procuram hoje em dia, de forma sistemática, encontrar estratégias de manutenção cada vez mais eficientes [61], verificando-se uma migração das tradicionais abordagens reactivas, consistindo nas reparações após a falha, para abordagens proactivas, que utilizam manutenção preventiva e preditiva, no sentido de tentar antecipar os eventuais problemas.

Os dois casos de estudo que se apresentam de seguida colocam lado a lado duas empresas completamente distintas nas suas estruturas, áreas de produto e organização da respectiva manutenção. Procura-se caracterizar a empresa de uma forma organizacional e destacar os seus objectivos estratégicos. São analisados com mais detalhe os objectivos e projectos concretos, onde o *e-maintenance* tem vindo a contribuir para a melhoria dos processos ou dos produtos colocados no mercado. Finalmente, é feita uma descrição detalhada de um sistema de pesagem produzido por uma das empresas referidas nestes casos de estudo, com aplicação na indústria cimenteira e exportado para vários continentes. Essa descrição do sistema de pesagem serve de componente introdutória à apresentação da aplicação SLV_EMMAINT, desenvolvida no âmbito da presente dissertação. O objectivo da aplicação é dotar o referido sistema de pesagem de potencialidades ao nível do *e-maintenance*, e será explanada em detalhe no capítulo 4.

3.2 Swedwood Portugal

O grupo Swedwood¹⁹ fabrica e distribui mobiliário com base em madeira e faz o controlo de toda a cadeia de valor desde a gestão e operações em florestas, em contratos de longo termo, passando por serrações, fabrico de componentes e produção de mobiliário, bem como a respectiva distribuição. O grupo Swedwood tem mais de 50 unidades de produção e escritórios em 12 países distribuídos por 3 continentes. O Grupo emprega mais de 15.000 pessoas que fabricam cerca de 100.000.000 de unidades de mobiliário e respectivos acessórios. A gama inclui a sobejamente conhecida mobília IKEA, nomeadamente as gamas LACK, BILLY, FAKTUM, APPLÅD, MALM, PAX, EXPEDIT, BESTÅ, BIRKELAND, LIDINGÖ, EFFEKTIV, LEKSVIK, bem como um vasto conjunto de outros produtos.

O Grupo Swedwood foi fundado em 1991 pela IKEA e teve desde essa data um crescimento significativo, continuando hoje em dia a sua expansão. O estudo efectuada no âmbito deste trabalho foi realizado na unidade localizada em Penamaior – Paços de Ferreira – Portugal.

¹⁹ <http://www.swedwood.com/>

3.2.1 Organização da manutenção

O *e-maintenance* é uma realidade cada vez mais presente na Swedwood e assume um papel determinante no sucesso das acções levadas a cabo pelos responsáveis da manutenção da empresa. Mas para se compreender a amplitude do impacto do *e-maintenance* teremos que fazer uma análise à forma como esta empresa se organiza, quais os seus principais objectivos globais e específicos e que acções concretas está a desenvolver no sentido de os atingir.

3.2.2 TPM – Total Production Maintenance

O modelo de manutenção adoptado nesta empresa é uma evolução ou uma variante do TPM (*Total Production Maintenance*), uma filosofia de manutenção que apareceu no Japão a partir dos anos 70 e teve rápida expansão graças aos excelentes resultados que a sua prática revelou. Com esta abordagem a manutenção deixou de ser a função que operava em segundo plano e apenas aparecia quando era necessária.

Os objectivos desta filosofia são basicamente inculcar um sentido de responsabilidade conjunta entre os operadores, os supervisores e os trabalhadores da manutenção, não apenas com o intuito de fazer as máquinas trabalhar de forma serena e sem avarias, mas também alargar e otimizar o seu desempenho global. A imagem tradicionalmente associada ao TPM é a de um edifício com 8 pilares (figura 3.1), cada um dos quais simbolizando uma das características fundamentais do TPM. Cada organização deverá adaptar esta estrutura à especificidade da sua empresa. Este modelo aparece frequentemente modificado, principalmente em organizações ocidentais, onde alguns destes pilares são eliminados.

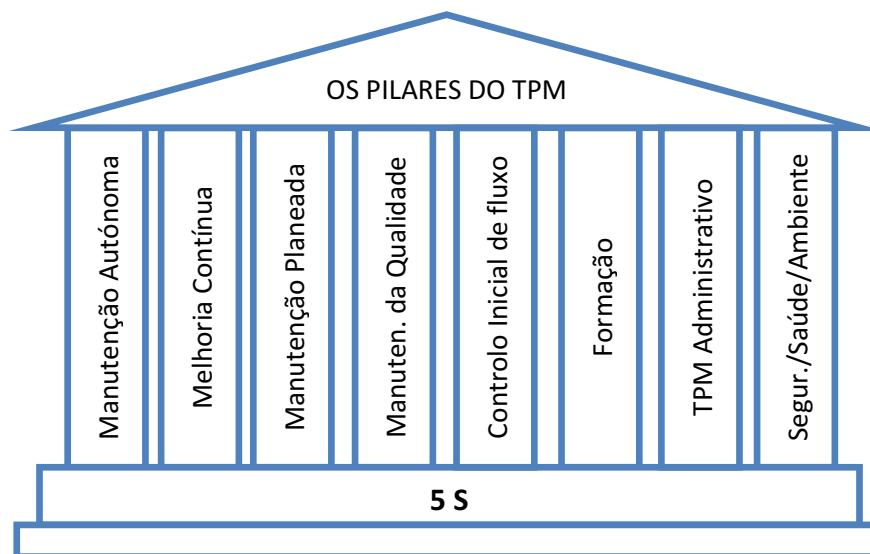


Figura 3.1- Os oito pilares do TPM, de acordo com modelo *Nakajima* (figura adaptada de [66])

Podemos citar alguns dos princípios chave do TPM, e que a Swedwood adoptou nas suas práticas organizacionais:

- Maximização da eficácia global do equipamento;
- Estabelecimento de um completo sistema de Manutenção Preventiva dos equipamentos durante todo o seu ciclo de vida;
- Implementação em conjunto pela Gestão de Topo, Produção, Manutenção e restantes sectores. (O TPM é transversal à estrutura funcional da empresa);

- Participação de todos os empregados, desde a Gestão de Topo até às diversas áreas produtivas;
- Implementação baseada em actividades de pequenos grupos.

Através de um processo de melhoria contínua e de um envolvimento de todos os colaboradores, a Swedwood orienta os seus esforços na busca de um conceito tipicamente ligado ao TPM, que se denomina “4 zeros”. São eles “zero avarias”, “zero acidentes”, “zero defeitos” e “zero desperdícios”. Dessa forma procura-se garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos para a produção.

Outra característica que caracteriza o TPM e que se verifica nesta empresa é o facto que, desde o momento do recrutamento de qualquer funcionário, é incutida no dia-a-dia dos colaboradores a prática dos “5S”. Esta é uma metodologia para organizar, limpar, desenvolver e manter um ambiente de trabalho produtivo. Foi desenvolvida no Japão e baseia-se em 5 etapas com designações começadas pela letra S.

1º S - SEIRI - SEPARAR - SEGREGAR (do inglês *Sort*) - Os desperdícios devem ser eliminados. Tudo o que não é utilizado no local de trabalho é removido. O que pode ser utilizado ocasionalmente deverá ser identificado e guardado fora do local de trabalho.

2º S - SEITON - ARRUMAR - ORGANIZAR (do inglês *Set in order*) - Refere-se á organização dos locais de trabalho. Existe um lugar para cada coisa e cada coisa deverá estar no seu lugar. Todos os materiais, ferramentas e utensílios e as respectivas localizações devem ser claramente identificados. A acessibilidade deve ser escolhida em função da frequência da utilização. Os materiais e utensílios de limpeza devem ser guardados nos locais de trabalho e cada posto de trabalho deverá ter os próprios meios para a sua limpeza. A partilha de meios de limpeza deve ser evitada.

3º S - SEISO – LIMPAR (do inglês *Shine*) - Devem-se limpar as áreas de trabalho, os respectivos equipamentos e todos os locais, mesmo que não sejam de trabalho.

4º S - SEIKETSU – NORMALIZAR (do inglês *Standardise*) - Devem-se estabelecer normas e instruções escritas para manter a ordem e a limpeza

5º S - SHITSUKE – RESPEITAR – DISCIPLINAR (do inglês *Sustain*) - Devem-se manter e respeitar as normas através do treino, *empowerment*²⁰, empenho e disciplina.

A aplicação por parte dos colaboradores destas práticas expressas nos 5S’s acabam por trazer um conjunto de benefícios à organização, onde poderemos destacar os seguintes: Sentimento de posse do local de trabalho pelo operador, contribuição para que todos se sintam melhor nos seus postos de trabalho, manutenção facilitada e melhorada, maior produtividade, moral mais elevada, aumento da segurança e das condições de higiene e segurança no trabalho.

3.2.3 OEE – Eficácia Global do Equipamento

O indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) é uma forma de monitorizar e melhorar a eficácia dos processos de fabrico, tanto de máquinas, como de unidades produtivas até linhas de montagem de grandes dimensões, como é o caso da Swedwood. De uma forma geral, a produção é composta por linhas de montagem de grande porte e complexidade. Este facto acarreta uma responsabilidade acrescida aos responsáveis pela manutenção, na medida em que a paragem de uma máquina implica a paragem de uma linha.

²⁰ *Empowerment* – Consiste na delegação de autoridade e de responsabilidade, favorecendo a criação de relações de confiança entre os colaboradores das empresas. Trata-se de descentralizar poderes na cadeia hierárquica de uma empresa, conferindo autonomia aos funcionários de modo a que eles se mostrem aptos a diagnosticar, analisar e propor soluções no dia-a-dia.

Este indicador, o OEE é simples e prático, na medida em que aproveita as mais comuns e importantes fontes de perda de produtividade, coloca as mesmas em três categorias primárias e processa uma métrica que proporciona um excelente indicador para avaliar onde estamos e como podemos melhorar. É também o indicador chave no TPM, atrás referido, ou em programas de *Lean Manufacturing*²¹, e disponibiliza uma forma consistente de medir a eficácia do TPM ou de outras iniciativas, pois fornece uma base de trabalho global para medir a eficiência da produção.

Um dos grandes objectivos do TPM e do inerente cálculo do OEE é poder reduzir e/ou eliminar as chamadas “Seis Grandes Perdas” dos equipamentos, que passamos a enunciar:

1. Falha/avaria do equipamento;
2. Perdas de tempo para mudança e ajustes (*setup*);
3. Espera ou pequenas paragens devidas a outras etapas do processo, a montante ou a jusante;
4. Redução de velocidade/cadência relativamente ao originalmente planeado;
5. Defeitos do processo (qualidade do produto);
6. Redução de eficiência no arranque e mudança de produto (produto não conforme ou desperdícios de materiais);

A figura 3.2 ilustra as consequências das “Seis Grandes Perdas”, sendo importante de seguida a focalização nas formas de as monitorizar e eventualmente efectuar correcções.

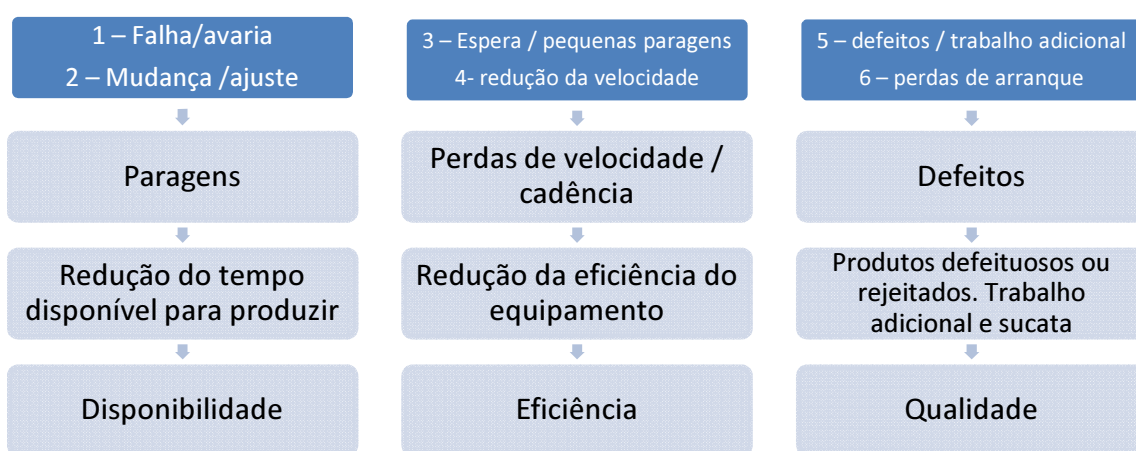


Figura 3.2 – Consequências das “seis grandes perdas”

Estes são os três factores fundamentais para o cálculo do OEE. A disponibilidade mede a parte do tempo em que o equipamento se encontra disponível para produzir. A eficiência mede a capacidade do equipamento em produzir com a velocidade ou cadência programada. E finalmente a qualidade mede o grau da qualidade obtida pelo equipamento ou processo. Quando se concentram esforços em reduzir as “Seis Grandes Perdas”, estão a ser produzidos esforços no sentido de maximizar o OEE.

²¹ *Lean manufacturing* - Filosofia de gestão focada na redução dos sete tipos de desperdícios (super-produção, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento e defeitos). Eliminando esses desperdícios, a qualidade melhora e o tempo e custo de produção diminuem. As ferramentas “lean” incluem processos contínuos de análise (*kaizen*), produção “pull” (no sentido de *kanban*) e elementos/processos à prova de falhas (*Poka-Yoke*).

3.2.3.1 Cálculo do OEE

A análise OEE começa com o Tempo Total que a linha de produção está aberta e disponível para a produção. Contudo vão sucessivamente sendo subtraídos tempos, conforme podemos verificar no esquema representada na figura 3.3, sendo apurado o Tempo Útil de Produção. A partir deste esquema, e aplicando as fórmulas apresentadas abaixo, chegamos ao valor do OEE, dado em percentagem.

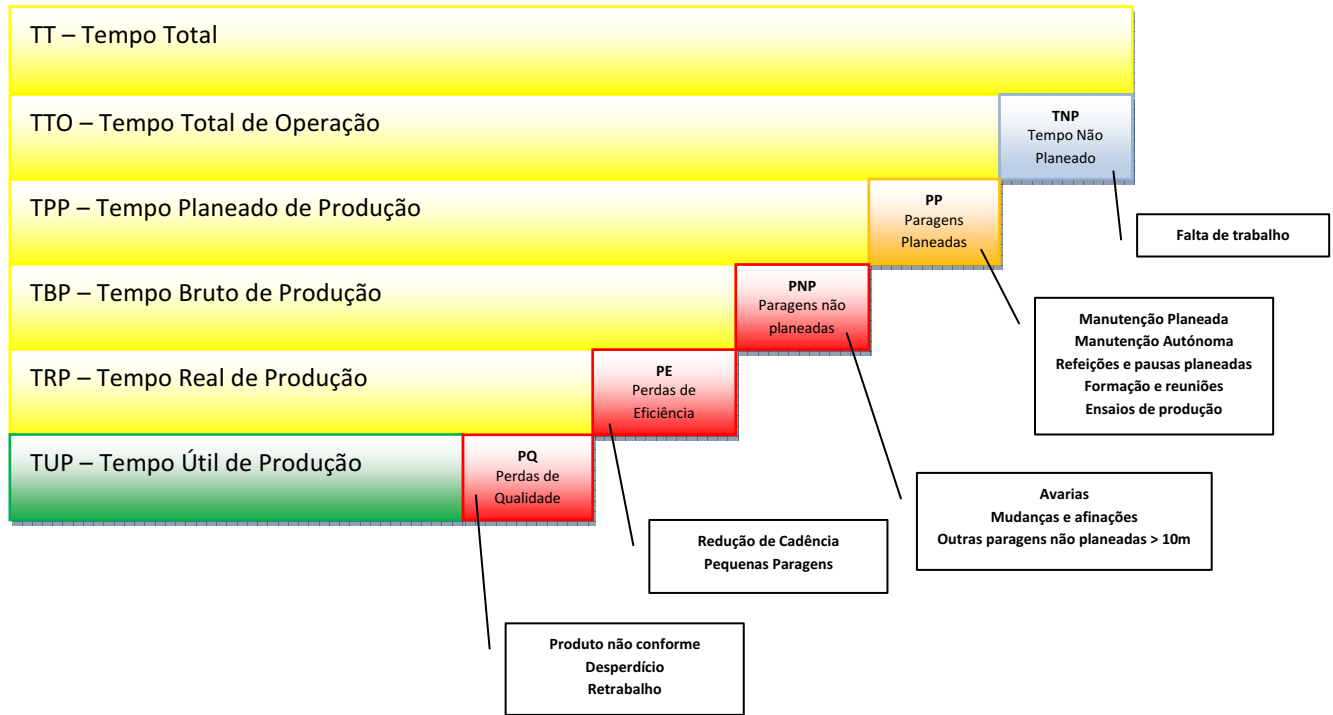


Figura 3.3 – Esquema de tempos de produção para cálculo do OEE

$$OEE \text{ (Overall Equipment Effectiveness)} = D \times E \times Q \text{ (\%)} \quad (3.1)$$

$$\text{Disponibilidade (D)} = \frac{\text{Tempo Bruto Produção}}{\text{Tempo Planeado Produção}} \quad (3.2)$$

$$\text{Eficiência (E)} = \frac{\text{Tempo Real Produção}}{\text{Tempo Bruto Produção}} \quad (3.3)$$

$$\text{Qualidade (Q)} = \frac{\text{Tempo Util Produção}}{\text{Tempo Real Produção}} \quad (3.4)$$

Fazendo uma análise mais detalhada aos pontos onde as equipas de manutenção da Swedwood podem intervir, verificamos que será na maximização do Tempo Bruto de Produção, tentando minimizar todas as paragens não planeadas, sejam elas motivadas por falhas e avarias, bem como outros tipos de ajustes. Existe dessa forma uma influência determinante no factor Disponibilidade.

O Tempo Real de Produção irá afectar o Factor Eficiência, estando contudo essencialmente ligado aos responsáveis pela produção e não ao pessoal afecto à manutenção.

O tempo útil de produção afecta o Factor Qualidade, sendo que no âmbito da abordagem efectuada pela Swedwood se considerou este factor igual a “1”, pois nesta fase seria bastante moroso entrar com valores fiáveis para o cálculo do OEE.

A categorização dos dados torna a análise das perdas muito mais simplificada, sendo que um dos objectivos primordiais deverá ser uma recolha de dados rápida e eficiente, com uma disponibilização dos dados de forma constante e em tempo real. O *e-maintenance* tem neste ponto um papel fundamental pois poderá fazer a ponte entre uma recolha de dados morosa, desfasada temporalmente e nem sempre fiável, para soluções em tempo real, com altos volumes de dados a serem recolhidos e entregues em boas condições para processamento.

Nesta fase, afigura-se como mais adequado à prossecução deste intuito o desenvolvimento de um sistema de informação industrial customizado, dado que a heterogeneidade de sub-sistemas em funcionamento e planeados para entrarem em serviço, é muito grande.

3.2.4 Sistema de Informação Industrial Customizado

O desafio que se coloca nesta fase aos decisores da empresa envolvidos nesta matéria é a necessidade de decidir qual a melhor abordagem para efectivar a implementação de um Sistema de Informação Industrial capaz de reunir toda a informação necessária e fazê-la chegar ao destino em tempo útil. Um dos objectivos principais é o de agregar toda a informação de Supervisão, inclusive de sistemas SCADA ou outros já existentes em áreas específicas, num único sistema, com capacidade de agregação e expansão.

A articulação entre os objectivos da empresa e o desempenho operacional é fundamental. Para tal, importa garantir uma integração eficiente da informação fabril com os sistemas de suporte ao negócio, disponibilizando a informação aos respectivos destinatários finais. Uma das grandes dificuldades encontradas nos ambientes industriais é conseguir uma integração coerente entre plataformas.

A recolha de informação é um dos pontos mais críticos na implementação do sistema. Preferencialmente a fonte de informação será a própria máquina, através dos seus componentes, a permitir essa recolha. Os variadores de velocidade permitem retirar dados de acção ou repouso dos motores, dos consumos, da frequência e de outros dados relevantes. Os autómatos são outra fonte privilegiada de informação, onde se poderá retirar a maioria dos dados de funcionamento das diversas máquinas. Existem outros equipamentos específicos, já dotados de portas de comunicação ou interfaces, onde facilmente se poderão obter dados relevantes para o processo em questão.

Contudo e quando essa disponibilização de dados não é imediata, terão que ser pensadas estratégias para atingir esse objectivo. É necessário nestas circunstâncias definir, instalar e configurar equipamentos para efectivar a recolha de dados. Podemos citar alguns exemplos de locais e pontos onde se irá recolher os dados:

- Linhas de produção – dados necessários para efeitos do cálculo OEE, nomeadamente informações de funcionamento/paragem de motores;
- Caldeiras – dados referentes à temperatura e sinais de alarme;
- Redes de incêndio – dados referentes à pressão, níveis de água, sinais de alarme;
- Portões das diversas secções – dados referentes à posição aberto/fechado e respectiva duração;
- Ar comprimido – dados de caudal e pressão da rede;

- Humidade, temperatura e pressão das diversas secções – dados referentes à humidade relativa, temperatura e informação de depressão ou compressão;
- Filtros – dados referentes ao status das ventoinhas nos filtros, temperatura, saturação.

Inerente ao processo de recolha de dados está a ulterior comunicação entre a origem dos mesmos e o servidor. Mais uma vez, várias estratégias poderão ser adoptadas para atingir este objectivo. Contudo, uma das preocupações fundamentais dos técnicos que implementam “upgrades” de *e-maintenance* na indústria é uma avaliação detalhada do estado da arte implementado e de que forma se deve ampliar e reforçar o existente ou romper para novas soluções e abordagens. Neste caso concreto, a solução estrutural de comunicação adoptada será usar a rede Ethernet existente, sendo necessário desenvolver *hardware* e *software* para a preparar para esta nova exigência.

3.2.4.1 Requisitos do sistema

Os principais requisitos do sistema a implementar seriam então basicamente divididos em dois grandes grupos. Por um lado pretende-se efectuar a monitorização de variáveis e por outro efectuar o cálculo do OEE. Relativamente à monitorização de variáveis, pretende-se que seja possível a consulta de histórico e lista de eventos associada a essa variável. Deve ser possível visualizar esta informação quer de forma gráfica quer de forma numérica. Relativamente ao cálculo do OEE, pretende-se basicamente fazer a recolha e análise das causas de paragem.

Quanto às causas de paragem automáticas, estas são classificadas para distribuição tempos de paragem padrão. São as causas que podem ser extraídas do próprio autómato ou de outro equipamento da máquina e o registo deve ser automático no *software* a ser desenvolvido. Quanto às causas de paragem não automáticas, o *software* deverá questionar o operador de qual a razão da paragem, tendo como exemplos:

- Manutenção correctiva
- Manutenção preventiva
- Set-up
- Outros...

Cada um destes campos deverá poder ser comentado pelo operador de modo a que se possam fazer análises mais detalhadas das causas. Pretende-se também que o cálculo do OEE seja gradualmente refinado, permitindo por exemplo cálculos por turno.

3.2.4.2 Implementação

Para implementar o sistema de acordo com os requisitos previamente definidos, será necessário escolher a estratégia mais apropriada. Vários caminhos poderão ser viáveis para atingir este objectivo: usar as potencialidades do ERP da empresa, criar um sistema autónomo de recolha e processamento de informação ou soluções mistas de compromisso. Vamos analisar como estas possibilidades se interligam e como se desenrola o processo de decisão.

Começando pela definição de ERP – *Enterprise Resource Planning*, trata-se de um termo genérico que pretende identificar o conjunto integrado de aplicações informáticas e tem por objectivo primário, dar apoio dos processos de gestão de uma empresa nas mais importantes fases de seu negócio. As aplicações típicas cobrem as actividades de contabilidade e controlo de custos, gestão de recursos humanos, gestão de produtos e materiais, gestão de projectos, gestão da qualidade e manutenção, vendas e distribuição, entre outras.

Com este pacote integrado de aplicações procura-se eliminar a redundância de operações e a burocracia, por meio da automatização de processos. Assim, os módulos que compõem o ERP

possibilitam, em tempo real, desenvolver e gerir o negócio de forma integrada. O processo de tomada de decisão torna-se mais robusto e eficaz, devido ao facto de as informações se tornarem mais consistentes e reflectirem a realidade da empresa num determinado momento. O ERP adoptado na Swedwood é o Movex²². Pode ser caracterizado basicamente como tendo dois interfaces, o da manutenção e o da produção. Para simplificar a utilização dos dados, é utilizado o Qlikview²³. Trata-se de uma solução completa de BI (*Business Intelligence*)²⁴, que consiste basicamente num módulo de integração de dados, um motor de análise e um interface com o utilizador.

O Qlikview para o Movex é um pacote de *software* que permite o desenvolvimento de várias aplicações e permite interpretar e trabalhar os dados com muito mais profundidade. O facto de a informação se tornar muito mais amigável para o utilizador faz com os diversos intervenientes possam otimizar processos e extrair conclusões baseadas nos dados do Movex.

O ERP da Swedwood, o Movex, no interface produção, já tem incluído um módulo que permite o cálculo OEE. Com as actuais configurações, e com os dados que possui actualmente, já tem informação suficiente para o cálculo da taxa de eficiência. O Sistema de informação a implementar faria a recolha dos dados necessários ao cálculo da taxa de disponibilidade.

3.2.5 Trabalho futuro

Está de fora do âmbito desta dissertação o desenvolvimento de qualquer aplicação na Swedwood. O objectivo de a chamar a este trabalho como caso de estudo foi no sentido de caracterizar o seu sistema de manutenção, compreender quais as motivações e dificuldades que encontra no contexto de manutenção e comparar esta organização com outra estruturalmente diferente. Esta análise permitirá avaliar de que forma o *e-maintenance* pode dar respostas positivas, em organizações com metodologias e formas de trabalhar completamente distintas.

Contudo, será oportuno deixar algumas linhas de orientação para um eventual trabalho futuro nesta matéria. O *e-maintenance*, encarado na perspectiva de uma combinação de tecnologias *Web service* e tecnologias de agentes, capazes de proporcionar características de inteligência e cooperação de sistemas no ambiente industrial como é a Swedwood, poderá ser a solução para atingir de uma forma eficaz os objectivos mencionados nos pontos anteriores, com principal relevância para o cálculo do OEE.

As características fundamentais teriam que dotar o sistema de capacidade de processamento de informação, apoio à decisão e ferramentas de comunicação, bem como a colaboração entre processos de manutenção. O sistema a implementar deveria:

- Efectuar recolha automática de dados de processo, de produção e razões de utilização (paragem, avaria, etc.)
- Avaliar permanentemente o estado dos equipamentos críticos na fábrica, bem como alguns processos. Os indicadores seriam temperaturas, humidades, níveis, pressões ou outros. Deveria ser disponibilizada uma análise de tendência, histórico de valores e gestão de alarmes.
- Deveria ser implementado um Sistema de Análise OEE, incluindo a monitorização de indicadores OEE (Disponibilidade, Eficiência e Qualidade), análise gráfica das evoluções de indicadores e distribuição de razões de utilização e rejeições. O sistema deverá ser capaz de emitir relatórios e os dados facilmente utilizáveis em quaisquer ferramentas informáticas.

²² <http://www.lawson.com>

²³ <http://www.qlikview.com>

²⁴ *Business intelligence* –Processo de recolha, organização, análise, partilha e monitorização de informações que disponibilizam suporte à gestão de negócios.

3.3 Cachapuz – Equipamentos de Pesagem, Lda.

3.3.1 Evolução histórica

A “Cachapuz – Equipamentos para Pesagem, Lda” foi constituída em 6 de Julho de 1959, embora a designação Cachapuz possa ser referenciada já no séc. XVII. Actualmente é uma empresa pioneira em Portugal na concepção e fabrico de equipamentos de pesagem e no desenho e implementação de soluções de *software* para pesagem industrial. A sua actividade está centrada no desenvolvimento de soluções inovadoras utilizando as mais recentes tecnologias de informação e automação, sendo um factor diferenciador no mercado de transacções de pesagem a progressiva incorporação e a automatização de processos críticos com ligação aos sistemas de gestão das empresas.

As soluções disponibilizadas pela empresa são sistemas automáticos de controlo e gestão da movimentação de viaturas em unidades industriais (*self-service*); estações de carregamento automático de viaturas; postos de identificação e controlo da entrada e saída de viaturas, com ou sem pesagem, em portarias; sistema de pesagem específico para aterros; sistema de gestão da recolha de resíduos; *software* genérico de gestão de pesagens; consultoria e implementação de projectos específicos, entre outros. Assim, o portfólio de produtos disponibilizados pela Cachapuz é essencialmente ao nível da pesagem industrial, gestão de resíduos e industria cimenteira.

A constante preocupação, por parte da Cachapuz quanto à inovação, conduziu à sua integração no maior grupo mundial de equipamentos de pesagem industrial “*Grupo Bilanciai*” com representação em 25 países distintos e é líder nacional do seu sector de mercado – a pesagem industrial.

Importa salientar, que a Cachapuz possui um departamento de engenharia e inovação, que é reconhecido como Centro de Competências Tecnológicas do Grupo Bilanciai, pelo que já apresentou candidaturas ao QREN²⁵ ao nível de Projectos individuais de I&DT²⁶, sendo o último para a prossecução de um projecto GWS - *Global Weighing Solution*, que passa por desenvolver uma solução de pesagem global, baseada numa *Framework* modular, integrada com a nova geração de leitores de pesagem.

A Cachapuz procurou incessantemente consolidar a sua liderança de mercado através de uma sólida estratégia de renovação e complementaridade de oferta, sustentada em soluções de eminente incorporação tecnológica e consentâneas com o dinamismo e exigências da nova economia, que se poderá facilmente corroborar pela perscrutação de uma publicação do “Almanak de Braga e seu Districto” relativa ao século XIX, onde já destaca a proeminência desta empresa.

Não obstante a sua génese seja de cariz familiar, esta empresa sempre apostou fortemente em estratégias de expansão do negócio, ancoradas na diferenciação e diversificação de produtos e serviços de alto valor acrescentado, aliadas aos vectores de qualidade e inovação, procurando incansavelmente estar na vanguarda do sector. Assim, foi na sequência deste espírito de inovação e de reforço dos factores dinâmicos de competitividade, que esta empresa se integrou no Grupo Bilanciai, reforçando de forma peremptória a sua posição de liderança nacional, as suas valências no domínio das competências tecnológicas, a disponibilização de oferta de soluções integradas de pesagem e mormente o alavancar de todo um processo de internacionalização das suas soluções, para mercados como África do Sul, Angola, Egipto, Espanha, Moçambique, etc.

Todavia, a Cachapuz apresenta-se como uma empresa muito pró-activa, atenta às dinâmicas de mercado e detentora de uma estrutura orgânica dotada de elevada flexibilidade, que lhe permitiu desta

²⁵ Consultar www.incentivos.qren.pt

²⁶ SI &DT (Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico) – Projectos Individuais – Portaria nº1462/2007 republicado na Portaria 711/2008 e alterada pela Portaria nº353-B/2009

forma absorver ao longo destes últimos anos, todo um processo de adaptação face às emergentes evoluções tecnológicas, bem como, estabelecer um perfeito equilíbrio entre o estado da arte tecnológico e as necessidades do mercado, onde se destacam de forma determinante os anos 90, onde se efectivou a proeminente transição dos equipamentos de pesagem mecânicos com produção interna para a nova geração de base electrónica, à qual o mercado reagiu com entusiasmo na época. Por outro lado, a própria integração da Cachapuz no seio do Grupo implicou todo um esforço de normalização dos seus processos no intuito de fomentar as sinergias estruturantes, contribuindo decisivamente para a posicionar como um dos *players* mundiais no sector da pesagem industrial.

Em 2002, esta empresa decidiu investir nas infraestruturas físicas, tomando a decisão estratégica de construir um pavilhão industrial de raiz, que lhe permitisse reorganizar e incrementar a eficiência do seu processo produtivo face ao seu novo *layout*, que lhe possibilitasse melhorar consideravelmente as condições de trabalho existentes, bem como, imprimir um maior rigor nos seus processos de qualidade. Assim, no âmbito desta iniciativa de mudança de instalações, tornou exequível no ano de 2003 a alteração do âmbito do Certificado de Qualidade para a nova norma NP EN ISO 9001:2000.

No âmbito das actividades de I&D, a Cachapuz, criou um núcleo interno de investigação e desenvolvimento, que permitiu introduzir novas características e mais-valias incorporadas nos respectivos equipamentos de pesagem, passando a disponibilizar junto do público alvo uma oferta bastante eclética - soluções integradas de pesagem – que potenciaram de forma irrefutável um reforço na sua imagem de fabricante e fornecedor de vanguarda.

Ao nível das parcerias estratégicas, a Cachapuz procurou desde sempre o envolvimento de clientes chave nas diferentes áreas, mormente no sector do ambiente e industria cimenteira, onde o seu contributo permite a adequação das soluções abrangentes e inovadoras face às suas realidades, que se traduzem indubitavelmente em factores diferenciadores perante a concorrência. Atente-se, ao caso específico da CIMPOR S.A.²⁷ que actualmente ocupa o restrito leque das top 10 cimenteiras mundiais, que não personaliza para a Cachapuz o papel de cliente mas de parceiro, com o qual tem possibilitado reforçar um forte *know-how* no domínio da industria cimenteira, área esta com preponderante visibilidade em termos de mercado global em virtude da materialização da solução SLV²⁸ *Cement (case study* na página do grupo Cachapuz²⁹), para as realidades do Egipto e África do Sul.

Atenta aos ventos da modernidade e sempre sedenta de conhecimento científico que seja construtivo e enriquecedor para os desideratos preconizados pela gerência, a Cachapuz procura de forma assertiva e exemplar apoiar diversas *iniciativas académicas*, das quais se poderá salientar o exemplo de três recentes teses de mestrado, em parceria com a Universidade do Minho, e a presente dissertação na área do *e-maintenance*, em parceria com o Instituto Superior de Engenharia do Porto, todas elas com forte aposta no potencial das suas soluções para a optimização da qualidade de serviço no negócio dos seus clientes.

Importa assinalar que a correcta articulação de todos estes factores por parte da Cachapuz, aliado ao processo estruturado de internacionalização conduziu ao reconhecimento pela COTEC³⁰ Portugal da Cachapuz como PME Inovadora reforçando também a sua aposta na integração do “Polo de *Software* do Minho” assim como no “Centro de Excelência para a desmaterialização de transacções”.

²⁷ <http://www.cimpor.com>

²⁸ SLV – Sistema Logístico de Viaturas

²⁹ <http://www.cachapuz.com/cachapuzsolutions/PortalRender.aspx?PageID={8e583e11-7c23-11de-944f-0019b9ddd664}>

³⁰ <http://www.cotecportugal.pt/>

A internacionalização foi responsável pela introdução de novas variáveis como a distância, idioma, transmissão de responsabilidades de manutenção e intervenção para entidades externas, que implicaram a introdução de procedimentos e mecanismos eficazes de modo a reduzirem os tempos de intervenção / paragem, assegurando o funcionamento dos sistemas 24 H / dia, 7 dias / semana, 365 dias ano. Permitiu ainda a gestação de novos desafios, processos empresariais e formas de actuação no mercado.

3.3.2 Abordagem evolutiva da manutenção na Cachapuz

A Cachapuz como empresa dinâmica e pró-activa, atenta às necessidades e exigências de mercado e sempre disposta a integrar o pelotão da vanguarda no sector de actividade em que se insere, sofreu assim uma metamorfose estrutural, ou seja, passou de empresa voltada exclusivamente para a pesagem para empresa voltada para soluções ecléticas de pesagem – assistiu-se a nova realidade que afectou todas as vertentes da empresa e principalmente o sector da manutenção. Assim, o facto de passar a ser um fornecedor que disponibiliza um leque diversificado de soluções fez com que a empresa apostasse nas parcerias estratégicas. No presente trabalho iremos abordar com mais detalhe a parceria com a CIMPOR.

Nesta empresa, os responsáveis ao nível da manutenção apostam decisivamente em duas grandes vertentes: num plano de manutenção interna estruturado e consolidado – fruto de uma cadeia produtiva, onde fabricam balanças, básculas e demais produtos; controlo e rigor exterior dos processos de assistência e manutenção – que será a área de perscrutação detalhada do presente trabalho.

No seio da componente “solução de pesagem” no exterior, poder-se-ão destacar os seguintes pontos referenciais:

- Infra-estruturas produtivas (parque de máquinas) consideráveis;
- A reafecção de equipamentos de pesagem para desideratos comerciais implica legalmente a realização de verificações periódicas por parte do Ministério da Economia;
- A existência de um departamento de pós-venda orientado para o atendimento a solicitações de assistência técnica, que poderão assumir duas tipologias:
 - Preventiva – geralmente associado à realização de manutenções associadas às verificações periódicas;
 - Curativa – neste sector em Portugal, ainda não existe uma visão estratégia que privilegie a existência de contratos de manutenção no sentido de permitir um acompanhamento constante evitando paragens forçadas e pedidos urgentes de assistência devido a avarias. Este facto, para além dos danos causados no cliente provoca também desfasamento de calendarização e roteiros de assistência interna.
- SLV (Sistema Logístico de Viaturas) – internacionalização e Soluções integradas de pesagem, na sua materialização envolvem:
 - Existência de visão estratégica de contratos de manutenção e continuidade;
 - Conjunto de ferramentas para acesso remoto e diagnóstico remoto;
 - Incorporação de mecanismos de *e-maintenance* que possibilitem uma reacção atempada a situações de emergência;

- Dado a solução SLV ser integrada com primeira linha de intervenção pelas equipas de manutenção locais da organização, deverá ser capaz de se integrar ou disponibilizar mecanismos para intervenções eficientes.

É alavancado nesta massa estrutural de visionamento integrado de soluções, que esta empresa tem necessidade de propor um serviço abrangente ao cliente/parceiro, que lhe ofereça garantias de continuidade, bem como, de rápida e eficaz solução face a situações de contingência, mesmo com os factores distância, complexidade ou língua – e é nesta vertente que surge a proeminência da exploração das potencialidades do *e-maintenance* numa base regular.

3.3.3 SLV – Sistema Logístico de Viaturas

3.3.3.1 Introdução

Afirmando-se como uma solução revolucionária no âmbito da automatização logística dos processos, o SLV faz uma ruptura com o modo de funcionamento tradicional baseado na intervenção de operadores para o conceito de auto-serviço, que culmina no grau de autonomia e na minimização de erros, possibilitando aos motoristas efectuarem a operação de carga ou descarga de forma completamente autónoma. Este exíguo passo, criou uma enorme necessidade de indicadores de processo e decisão sobre os quadros de gestão, onde as ferramentas analíticas se tendem a afirmar como factor diferenciador e de sucesso.

Importa destacar, a simplicidade de utilização destas ferramentas que por sua vez, permitem colocar à disponibilidade dos gestores, excelentes mecanismos de relacionamento e correlação de dados que, aliados à flexibilidade na criação de perspectivas sobre os dados, à rapidez dos tempos de resposta (independentemente da complexidade ou perspectiva desejada), agudizam a criatividade e astúcia dos gestores na busca e definição de vistas específicas sobre o seu negócio.

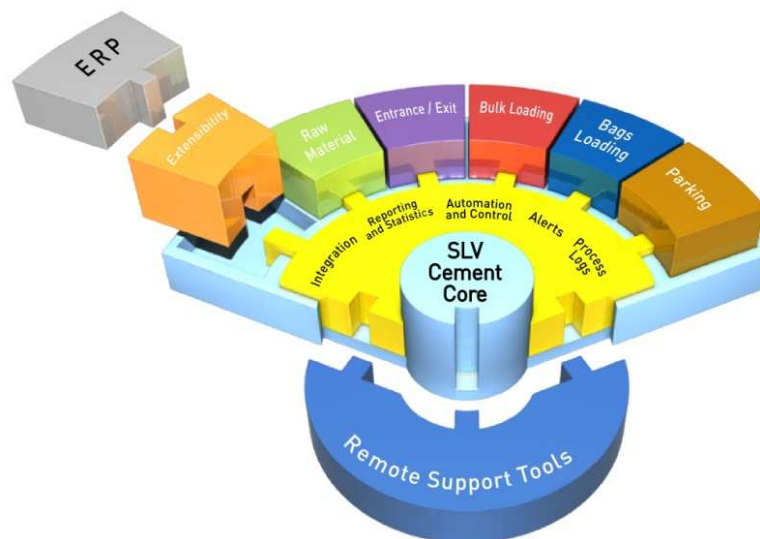


Figura 3.4 – Esquema simplificado da plataforma SLV

3.3.4 Descrição do sistema

Na dinâmica de uma empresa, a questão logística associada à movimentação de viaturas destinadas a operações correntes de carga ou descarga em unidades industriais provoca indubitavelmente diversos constrangimentos aos operadores e respectivos motoristas, bem como, os tempos de espera morosos e a reduzida fluidez de tráfego junto de utentes e clientes, agudizado pela coexistência de registos

imprecisos e complexos das operações, que conduzem a perdas substanciais de receitas e a falhas graves na própria detecção de actividades fraudulentas. Desta forma, os sistemas de informação destinados à gestão, comumente designados por ERP, não são delineados para solucionar esta tipologia de problemas e dificilmente são estendidos à gestão operacional da entrada, saída e movimentação de viaturas em unidades industriais.

É neste contexto, que o SLV surge como um sistema introdutor e inovador que perspectiva resolver estas problemáticas introduzindo uma nova filosofia na gestão do acesso e da movimentação de viaturas em unidades industriais. Este sistema, preconiza a optimização dos processos de carga e descarga através de um conjunto de heurísticas que permite gerir limites máximos de viaturas no interior da unidade e nos pontos de carga ou descarga, planear o percurso que as viaturas devem percorrer para concluírem correctamente as operações delineadas e facultar aos motoristas a possibilidade de efectuarem de forma independente as operações de carga ou descarga, digamos, que o SLV fornece acesso 24/7³¹ à unidade industrial permitindo reduzir consideravelmente o número de operadores afectos aos locais de operação.

A própria gestão operacional da movimentação das viaturas na unidade industrial poderá ser efectuada de dois modos: ou de forma completamente autónoma pelo SLV ou recorrendo a um mecanismo de interface flexível e escalável (de forma integrada com o sistema ERP existente) promovendo a completa reastreabilidade da movimentação de viaturas e produtos, fornecendo uma solução vertical de gestão. Em termos específicos, a solução SLV corporiza um conjunto diversificado de módulos de *software*, interfaces, quiosques e equipamentos periféricos que objectivam assegurar um controlo rigoroso e uma correcta terminação de cada etapa do processo.

As etapas mais relevantes são a chegada da viatura, autorização de entrada, encaminhamento para o local correcto, execução da operação de carga ou descarga e saída da viatura. Uma das maiores vantagens da adopção deste sistema é sem dúvida a redução significativa dos tempos de espera e de operação, a racionalização do tráfego de viaturas, e a optimização da movimentação de produtos com o mínimo de intervenção de operadores.

Trata-se de uma solução modular e tecnologicamente evoluída que pode ser ajustada à dimensão e realidade de qualquer unidade empresarial, constituída por módulos principais (parque, portaria, carregamento a granel, carregamento de sacos, descarga de matéria-prima) que podem operar de forma independente ou em conjunto para satisfazer necessidades específicas de cada implementação, e módulos adicionais (painel de indicadores de negócio, o portal *Web*, os avisos SMS³² e outros) que levam uma unidade industrial para um nível superior na vertente da gestão operacional do controlo de acessos, das operações planeadas e da movimentação de viaturas.

3.3.5 Arquitectura e tecnologia

A plataforma lógica do SLV foi desenhada e desenvolvida para ambiente Microsoft, com sistema de informação personalizado em base de dados SQL *Server* 2000/2005, e implementada usando protocolos universais e as mais recentes tecnologias, conferindo a necessária flexibilidade e robustez à solução, potenciando a sua evolução.

Esta plataforma é normalmente instalada como um sistema centralizado, executado em servidor dedicado, permitindo a monitorização on-line de todas as transacções efectuadas e facilitando a administração do controlo de acessos, a manutenção do sistema e o suporte remoto.

³¹ 24/7 é uma abreviatura que significa "24 horas por dia, 7 dias por semana", sendo normalmente referido num contexto em que um negócio ou serviço está disponível em todas as vezes sem interrupção.

³² SMS – abreviatura de *Short Message Service* (Serviço de Mensagens Curtas), normalmente usado para envio de mensagens entre telefones.

O seu desenho modular oferece o controlo e a gestão completa dos quiosques de *hardware* e periféricos complementares, a configuração das heurísticas e métricas de funcionamento, o registo e controlo das operações, a exploração e análise dimensional da informação registada, o serviço de monitorização e assistência remota, o mecanismo de envio automático de alertas e relatórios em situações de falha ou sobre indicadores predefinidos e a troca de informação com sistemas de informação externos através do seu motor de interface.

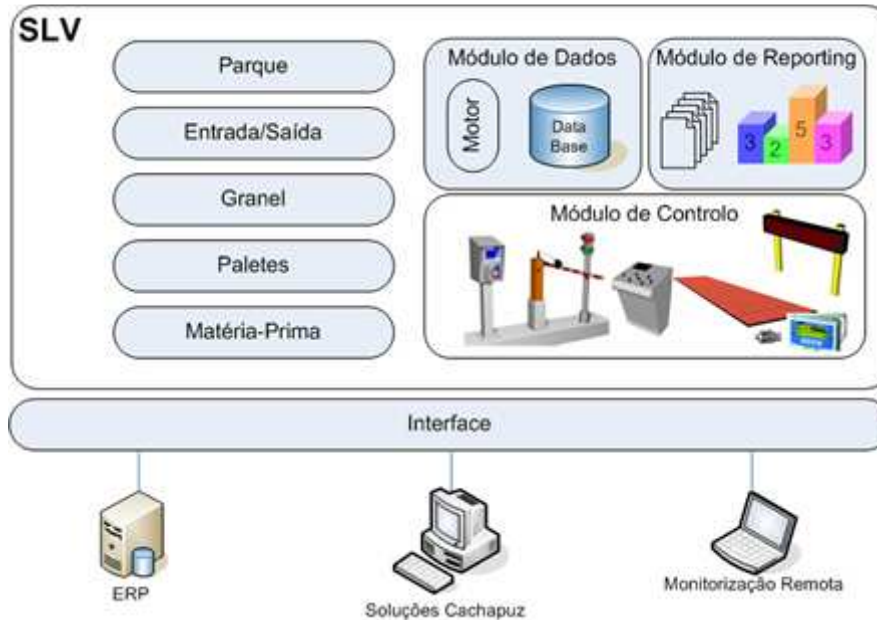


Figura 3.5 – Visão global da integração do SLV

A comunicação entre os intervenientes do sistema é efectuada através de rede de dados o que fornece elevada performance, disponibilidade e segurança. Através da plataforma analítica é possível disponibilizar aos gestores, toda a informação de negócio capital à sua tomada de decisão, uma vez que a mesma é recolhida de diferentes fontes de dados, e é agregada, tratada e sujeita a cálculo, originando um conjunto predefinido de relatórios, indicadores e gráficos pormenorizados.

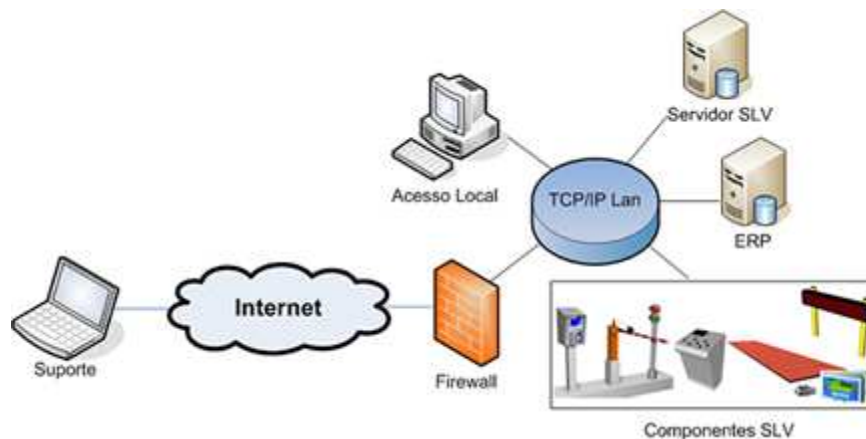


Figura 3.6 – A comunicação entre os agentes do sistema SLV

É determinante compreender como se processa o diálogo entre o sistema SLV, os utilizadores do sistema (motoristas das viaturas) e o controlo das operações – que são facultados com recurso a quiosques detentores das seguintes características:

- *Robustez* - estes quiosques são desenvolvidos utilizando as tecnologias de automação e de *software* mais robustas para a área industrial;
- *Continuidade* – na medida em que possibilitam um funcionamento ininterrupto sem intervenção de operadores e com custos reduzidos de manutenção;
- *Protecção* - Possuem índices de protecção indicados para ambientes industriais;
- *Funcionalidade e simplicidade* - são concebidos de forma a imprimirem operações simples e funcionais;
- *Autonomia* – pois estes quiosques fornecem toda a informação necessária para que o motorista conclua de forma autónoma e com sucesso a operação programada.

A identificação dos motoristas das viaturas nos quiosques do sistema SLV é consumada com recurso a cartões de tecnologia RFID³³ com informação, nomeadamente sobre a matrícula, sobre o cliente/fornecedor, o produto e o tipo de operação - que fornecem ao SLV os dados necessários para o registo das operações e para a emissão do documento de transporte na saída da viatura.

A organização do tráfego no seio da unidade fabril não é obviamente aleatória, obedece escrupulosamente a circuitos lógicos pré-definidos, que visam otimizar o fluxo de viaturas para os locais de operação, tendo em linha de conta as variáveis determinantes como os horários de funcionamento, a própria disponibilidade de produtos, os limites máximos de viaturas na unidade, por circuito e por ponto de carga/descarga.

Saliente-se, que os quiosques do sistema SLV podem fornecer um controlo e segurança adicional às operações se forem adequadamente complementados com periféricos complementares (semáforos, barreiras de obstrução, intercomunicadores de voz e sensores de controlo de posicionamento de viaturas).

3.3.6 Módulos Principais

Nos centros fabris, as unidades de produção procuram ajustar-se às exigências crescentes do mercado, de forma a conseguirem responder eficazmente às operações de fabrico e expedição de cimento, que exige a utilização de grandes quantidades de matérias-primas (calcário, o gesso, as margas ou mesmo os combustíveis para o funcionamento do forno de cozedura).

Segundo Prochnik et al. [62] estão a verificar-se grandes mudanças nos modelos de transporte através das ligações ferroviárias ou marítimas com o objectivo de baixar os seus custos, no entanto, continua ainda a existir uma forte utilização do camião, sendo evidente o seu impacto na organização das fábricas de cimento.

³³ RFID é um acrónimo do nome (*Radio-Frequency IDentification*) em inglês que, em português, significa Identificação por Rádio Frequência. Trata-se de um método de identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de dispositivos chamados de *tags* RFID.

Tal como ilustrado na figura 3.7, as fábricas encontram-se muito moldadas para esta realidade, sendo exequível identificar todo um conjunto de *áreas funcionais estratégicas* que regulam as operações de *movimentação* no seu interior, garantindo desta forma níveis de segurança e desempenho necessários para o ciclo de produção e expedição:

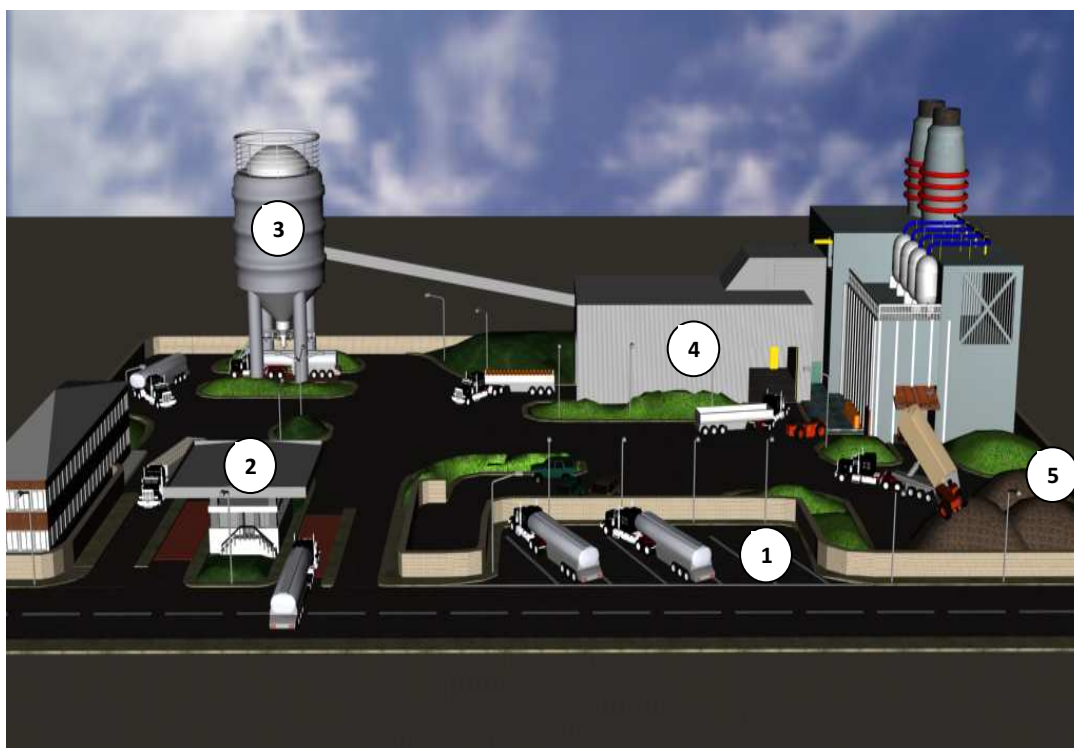


Figura 3.7 – Modelo de fábrica da indústria cimenteira

A solução SLV foi visionada de forma modular, permitindo a sua completa adaptação às especificidades e *layout* de cada unidade industrial, tornando possível o controlo efectivo e integral das seguintes áreas operacionais: Parque, Portaria, Carregamento a Granel, Carregamento de Sacos e Descargas de Matéria-prima. Cada uma destas áreas operacionais será devidamente perscrutada neste trabalho.

3.3.6.1 Parque

O módulo de gestão de parque organiza e gere todo o acesso de viaturas à unidade industrial. Com uma operação programada e seu consequente registo no quiosque SLV-PK é determinado o percurso (circuito) que a viatura terá que cumprir para a concluir. Assim, a permissão de acesso à unidade fabril é efectuada através de um processo de chamada em painel informativo após validação, entre outros, do horário de funcionamento, da ordem de registo da operação, da disponibilidade de produto e do número máximo de viaturas na unidade, no circuito e na zona de operação.



Figura 3.8 – Quiosque SLV-PK

3.3.6.2 Portaria

O controlo da entrada e saída de viaturas é efectuado através de quiosques SLV-CICO. Estes quiosques garantem que o acesso à unidade, são realizados por viaturas autorizadas, chamadas pelo painel de *parque*, e que o seu abandono apenas é concedido após correcta terminação das operações programadas.



Figura 3.9 – Modelo de portaria equipada com sistema de pesagem

Desta forma, os postos SLV-CICO colocados à saída da unidade são comumente equipados com impressoras térmicas que efectuam a emissão dos documentos comprovativos das operações realizadas e por mecanismos de recolha de cartões que evitam a necessidade do motorista sair da viatura antes de abandonar a unidade produtiva.

3.3.6.3 Carregamento a Granel

O posto de carregamento SLV-GR consiste numa estação completa de controlo de operações de carga a granel que funciona interligada com a automação do mecanismo de descarga e sistema de mangas existente na instalação fabril e faculta segurança integral de toda a operação.



Figura 3.10 – Carregamento a granel

A estação de carregamento funciona ligada a uma plataforma de pesagem e toda a operação é efectuada pelo próprio motorista da viatura, com indicação pormenorizada no posto de carregamento, da evolução do processo de carga. Corrobora-se, que o SLV-GR, além do controlo efectivo que confere a uma operação de carregamento, possibilita também que esta se efectue de forma mais rápida e garante que a quantidade carregada seja o mais próximo possível da quantidade programada, evitando a

necessidade de posteriores operações para completar a carga ou para descarregar produto em excesso. Este equipamento tem capacidade de funcionamento autónomo em situações de indisponibilidade de comunicação com o sistema de informação central.

3.3.6.4 Carregamento de Sacos

O equipamento SLV-PS foi concebido de forma a fornecer facilidade de operação e mobilidade no controlo de operações de carga de viaturas com produtos ensacados ou em paletes. Em termos específicos, é constituído por vários painéis informativos e terminais sem fios de tecnologia RF que perspectivam oferecer aos operadores de veículos empilhadores, toda a informação necessária para iniciarem e/ou concluírem correctamente as operações de carregamento. Este equipamento permite a eliminação da necessidade da circulação de documentos em papel e permite a preparação antecipada do produto a carregar, otimizando eficazmente o factor tempo na prossecução do carregamento de sacos.

3.3.6.5 Descargas de Matéria-Prima

O controlo de descarga de matéria-prima pode ser efectuado nos postos SLV-CICO da portaria ou num posto SLV-CICO complementar que controle uma balança afecta a esse processo.

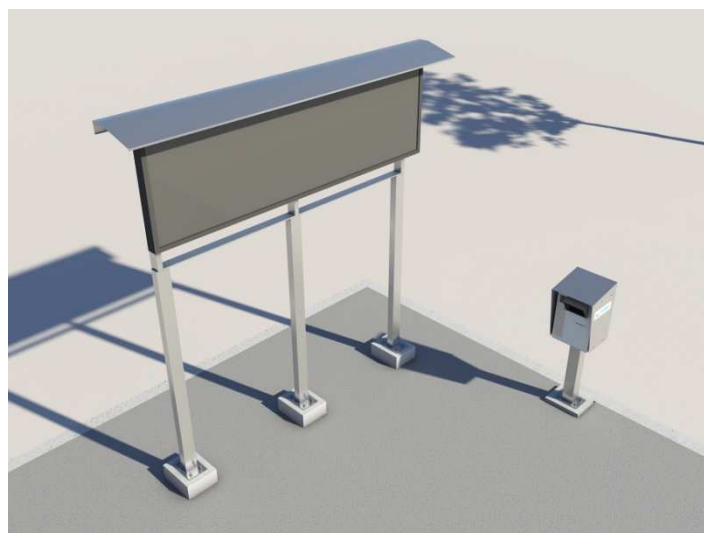


Figura 3.11 – Painel de chamada para informações aos motoristas

A existência de balança e posto SLV-CICO dedicados ao controlo da recepção de matéria-prima é particularmente recomendada caso exista uma portaria separada da principal de entrada para viaturas com operações de descarga planeadas ou, por motivos de fluidez no processo de entrada e saídas de viaturas na unidade industrial, se pretenda que essas viaturas utilizem um ponto de pesagem alternativo para registo de pesos.

3.3.7 A necessidade do *e-maintenance*

Conforme foi descrito acima, o SLV tem um conjunto de potencialidades que o tornam extremamente poderoso no que respeita à automatização de sistemas de pesagem, através da integração do ERP e da automatização de áreas chave da fábrica.

Actualmente a manutenção deste sistema no terreno tem uma componente preventiva e curativa. Contudo, e dado que estamos na presença de sistemas de alta disponibilidade, são necessárias abordagens mais fiáveis para garantir a continuidade de serviço. Estamos a falar de sistemas críticos, cuja paragem de determinado componente do sistema implica a paragem da fábrica. Como criar então

as condições para evitar ao máximo as paragens? Parte da solução poderá passar pela criação de uma plataforma de *e-maintenance*, que permitirá otimizar todo o processo de manutenção do sistema. Deverá permitir, através de diagnósticos atempados, sustentados pela análise de degradações de componentes, antever e alertar para a potencial quebra de serviço. Por outro lado, deverá efectuar a gestão das equipas de manutenção, muitas vezes multidisciplinares, e dotar as mesmas de meios de resolução, por exemplo através do envio de avisos por *e-mail* ou SMS, com a documentação necessária para a rápida resolução do problema. Deverá ainda permitir a resolução partilhada e potenciar a colaboração entre entidades heterogéneas.

Outro aspecto que importa relevar é o facto de este sistema estar instalado em vários países, muitas vezes com condições algo deficitárias do ponto de vista logístico e de recursos humanos. Como tal, cada realidade nacional irá ditar a abordagem mais adequada a tomar. A modularidade do sistema a desenvolver é muito importante, bem como a integração na *Framework* existente na Cachapuz. O próximo capítulo descreve de forma exaustiva a aplicação SLV_EMaint desenvolvida no âmbito da presente dissertação para dotar o actual sistema SLV de valências de *e-maintenance*, permitindo já a sua implementação no terreno nos projectos actualmente em curso.

4 Desenvolvimento da aplicação SLV_EMaint

4.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada a aplicação desenvolvida no âmbito da presente tese. Esta consistiu na implementação de uma plataforma de *e-maintenance* num sistema de pesagem usado pela indústria cimenteira em vários países, o SLV – Sistema Logístico de Viaturas. A aplicação desenvolvida foi denominada SLV_EMaint e irá implementar um conjunto de novas funcionalidades no actual sistema desenvolvido pela Cachapuz.

Após uma caracterização das funcionalidades do SLV no capítulo precedente, irão ser analisadas no presente capítulo a forma como se processa actualmente a manutenção nos locais onde o sistema está em funcionamento. Serão estudadas as potenciais melhorias introduzidas com o desenvolvimento e implementação da plataforma de *e-maintenance* neste sistema. Com a entrada em serviço deste novo módulo de *e-maintenance* no SLV, pretendem-se implementar várias funcionalidades, nomeadamente:

- Gestão de equipas de trabalho
- Análise da degradação dos componentes
- Sistema de envio mensagens de alerta
- Gestão documental
- Gestão de peças
- Manutenção baseada em condições

A manutenção é uma actividade de grande importância, com implicações na melhoria da qualidade do produto, no processo produtivo e na satisfação do cliente. Afecta praticamente todos os domínios da empresa, desde o edifício e o equipamento, à própria organização, de acordo com diferentes estratégias (manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção correctiva), passando pela gestão de operadores e material, por sistemas de diagnóstico apoiados por computador, até à gestão documental e outros. A manutenção é portanto uma actividade que necessita da integração de vários subsistemas associados às diferentes funções envolvidas nas operações de manutenção. Todos estes subsistemas de *software* estão actualmente baseados em diferentes modelos. Normalmente são complementares, mas muitas vezes redundantes, algumas vezes incoerentes e sempre heterogéneos.

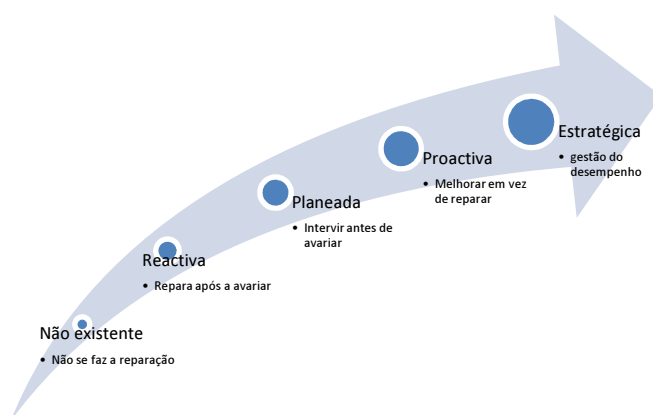


Figura 4.1 – Níveis de maturidade da manutenção (esquema adaptado de Bangemann et al [63])

Actualmente a manutenção assume um papel estratégico na gestão global da empresa (ver figura 4.1). As quantidades de informação que este sector precisa fornecer, bem como receber, tem vindo a aumentar gradualmente. São necessárias formas para lidar com migrações massivas de informação de bases de dados existentes para novas plataformas continuamente em desenvolvimento.

Outro aspecto a relevar é a necessidade de efectuar um intercâmbio de dados cada vez mais facilitado entre entidades heterogéneas. O módulo de *e-maintenance* desenvolvido especificamente para o SLV, denominado SLV_EMMAINT, irá permitir que este Sistema Logístico de Viaturas tenha a capacidade de dar resposta a grande parte destas exigências, bem como abrir caminho para desenvolvimentos futuros, nesta área particularmente sujeita a uma constante evolução.

4.2 Caracterização da manutenção nos clientes SLV

As unidades produtivas onde o SLV é instalado têm um conjunto de características particulares que irão ser destacadas neste capítulo, para uma compreensão mais profunda do impacto da introdução do *e-maintenance* no sistema instalado. A indústria cimenteira assume um papel fundamental na sustentabilidade da economia e tem interligações a um vasto conjunto de indústrias que giram em seu redor. A tendência será para se verificar um crescimento acelerado, principalmente em países do continente Africano ou da América do Sul.

Contudo, a tendência é para manter os centros de decisão nas actuais sedes, obrigando à implementação de sistemas cada vez mais autónomos, fiáveis e robustos. De mesmo modo, prevê-se um aumento de novos produtos, obrigando as empresas que fornecem soluções para este sector (tal como a Cachapuz), a adaptarem-se constantemente e de forma célere a novas realidades e cenários. Dado que a visão sobre os processos de negócios irá sofrer alterações, a tendência será para estreitar relações entre empresas e parceiros, através de parcerias estratégicas, de modo a que se possam adaptar em conjunto às evoluções da conjuntura [62].

Deste modo, os responsáveis pela gestão vêm-se obrigados a ajustar as suas práticas às exigências do meio envolvente, através da adopção de soluções integradas, capazes de efectuar a automatização de unidades industriais, disponibilizar indicadores chave e, ao mesmo tempo, reagir de forma célere às rápidas evoluções do mercado. Contudo o objectivo primordial que é garantir a sustentabilidade do negócio deverá estar sempre presente. Os responsáveis deste sector produtivo dão especial relevância a processos de integração e sistemas de informação com a inclusão de soluções verticais que abarcam tanto a componente produtiva como a componente de gestão. Na indústria cimenteira o ERP SAP tem-se vindo a afirmar como solução para a gestão deste negócio [64].

Neste contexto, as soluções tipo SLV têm vindo a afirmar-se como uma mais-valia para o sector da indústria cimenteira, pois os ERPs com as características do SAP ou outros não estão vocacionados para a automatização dos processos de pesagem e movimentação de viaturas. Nos últimos anos, o SLV tem vindo a ser desenvolvido e novas funcionalidades têm vindo a ser incorporadas. A experiência nacional e internacional tem contribuído significativamente para uma melhoria no desempenho dos processos de logística interna e movimentação das viaturas em várias unidades produtivas da indústria do cimento.

Para a incorporação deste novo módulo de *e-maintenance* no SLV foram considerados dois eixos fundamentais, que condicionaram o desenvolvimento da aplicação:

- **Pro-actividade dos sistemas críticos de alta disponibilidade** – Estamos na presença de sistemas que deverão funcionar continuamente e quaisquer paragens não programadas acarretam custos directos e indirectos extremamente elevados. O SLV quando é instalado em qualquer unidade cimenteira, tanto nacional como estrangeira, é dada particular relevância às equipas de manutenção e sua respectiva organização. Nos locais onde o SLV está a funcionar, as equipas de manutenção deverão estar organizadas de forma a haver uma disponibilidade total para eventuais incidentes. Este facto acarreta custos elevados à empresa, pelo que é de todo o interesse criar mecanismos para evitar os incidentes, bem como para gerir de forma eficaz o pessoal inerente a estas funções.

Por outro lado, a distância, entre a Cachapuz e o destino destes sistemas é normalmente de milhares de quilómetros. Como tal, a deslocação presencial de técnicos para a resolução de problemas no local só deverá acontecer em circunstâncias devidamente planeadas. Esta é mais uma razão que justifica a implementação de mecanismos de monitorização remota, que permitem antecipar eventuais problemas e orientar as soluções.

- **Realidade industrial na qual será possível aplicar este conceito** – Pretende-se que este trabalho desenvolvido especificamente para a Cachapuz, para a plataforma SLV, possa ter aplicabilidade noutros contextos fora do SLV e da indústria cimenteira. Procurou-se criar um conjunto de ferramentas, facilmente migráveis para novas aplicações em sistemas de funcionamento constante. Podemos citar como exemplos a indústria dos portos marítimos, o sector alimentar, ou de uma forma mais genérica a indústria transformadora.

4.3 Desenvolvimento da plataforma

No sentido de alcançar os objectivos propostos, foi efectuado um trabalho preambular exaustivo de análise com a Cachapuz, para definição de melhor estratégia de execução. Basicamente, este trabalho poderia ser desenvolvido de duas formas. A primeira possibilidade seria desenvolver totalmente um protótipo em *software* aberto e passar essa informação para a Cachapuz no sentido de esta efectuar posteriormente a incorporação na sua *Framework*. A segunda possibilidade seria trabalhar directamente na *Framework* Cachapuz, sendo resultado final do trabalho um produto totalmente preparado para entrar no mercado. No ponto 4.3.1 é apresentada a possibilidade de desenvolvimento em plataforma independente, no ponto 4.3.2 é apresentada a possibilidade de desenvolvimento na plataforma *SLV Cement* e no ponto 4.3.3 descreve-se a metodologia adoptada e suas vantagens.

4.3.1 Desenvolvimento em plataforma independente

A utilização de plataformas independentes ou *open-source* possibilita uma autonomia total no desenvolvimento de soluções e funcionalidades a demonstrar. Seria desenvolvido um protótipo genérico e com potencialidade de utilização e aplicabilidade de forma transversal em outros ambientes. Foram estudadas diferentes plataformas tendo sido escolhida, caso fosse esta a opção, a plataforma *Sculpture*³⁴.

Embora seja um projecto relativamente recente, a filosofia do *Sculpture* inova pela simplicidade de criação e gestão de aplicações. Por outro lado, focaliza o desenvolvimento na perspectiva de modelação abstraindo o utilizador da tecnologia ou meio de apresentação. De modo automático e transparente contempla na sua base mecanismos para geração de aplicações para um leque bastante alargado de tecnologias como:

- WCF
- ASMX
- *Windows Forms*
- WPF
- *Silverlight*
- ASP.NET, & ASP.NET MVC).

Com esta abordagem, todo o trabalho de modelação e customização³⁵ não teria qualquer intervenção por parte da Cachapuz implicando uma gestão de tempo nas tarefas de análise, implementação da

³⁴ <http://www.codeplex.com/Sculpture>

³⁵ O termo “costumizar” e “customização” foram utilizados neste documento, pois são amplamente utilizados pelas várias entidades envolvidas neste projecto. De acordo com a Porto Editora podem ser entendidos como “fazer à medida” ou “fazer por encomenda”, e neste contexto deverão ser entendidos como personalizar, configurar, adaptar, etc...

solução e customização da solução com código específico necessário às regras de negócio dos processos de manutenção, que obviamente não se encontram contemplados numa *Framework* genérica como o *Sculpture*.

4.3.2 Desenvolvimento em plataforma *SLV Cement*

A utilização da plataforma *SLV Cement* como base para este trabalho permite uma aproximação directa às necessidades da Cachapuz com potencial de demonstração imediata de resultados e vantagens assim como a reutilização de vários serviços e módulos da *Framework*, tais como:

- Módulo de alertas – Para envio de *e-mails*, sms e relatórios com incidentes e serviços de manutenção executados ou a executar;
- Módulo de Monitorização – Acesso e intervenção remota a periféricos, controladores com possibilidade de actuação de variáveis chave;
- Interfaces de integração ERP – facilitam a verticalidade na interacção com outras aplicações;
- Simuladores de processo – utilização de simuladores como meio de abstracção de equipamentos físicos.

Esta abordagem implica um esforço adicional para adaptação e estudo da plataforma de desenvolvimento *SLV Cement*, conhecimento dos seus módulos e principalmente metodologia de desenvolvimento interna Cachapuz. No entanto, existiu desde logo a possibilidade e abertura por parte da Cachapuz no sentido de alocar alguns dos seus recursos assumindo um papel activo em tarefas complementares, minimizando potenciais dificuldades inerentes à utilização da sua plataforma. Tome-se como exemplo a necessidade de formação complementar nos processos de desenvolvimento utilizados pela Cachapuz, conhecimento de estruturas e metodologias cujo tempo necessário para a sua realização ultrapassa o admissível para este trabalho de dissertação.

4.3.3 Metodologia adoptada

A solução adoptada passou pelo desenvolvimento da solução directamente sobre a solução *SLV Cement* existindo, no entanto, uma clara divisão de responsabilidades. Pretendeu-se focalizar o âmbito nas vantagens da incorporação de conceitos de *e-maintenance* nas soluções Cachapuz. As tarefas de materialização da solução definida foram executadas por um *developer*³⁶ da Cachapuz. A figura 4.2 ilustra a hierarquia de responsabilidades do projecto.

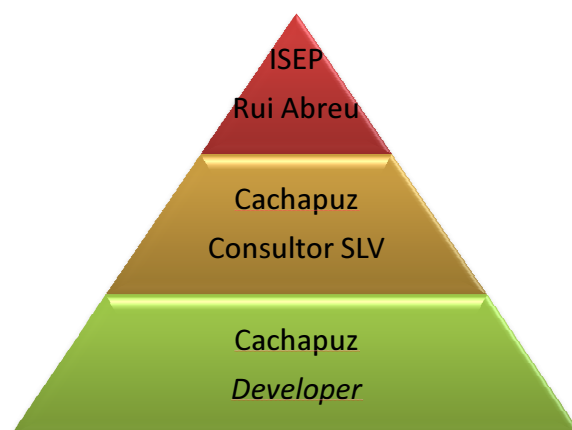


Figura 4.2 – Hierarquia de responsabilidade no projecto

³⁶ *Developer* - pessoa responsável pelo desenvolvimento de software. O termo foi mantido na sua versão anglo-saxónica, pois é a terminologia usada pela Cachapuz para designar esta função.

Neste sentido, face à adesão da Cachapuz ao conceito, foi possível articular as tarefas em estrutura piramidal assentando nos seguintes vectores:

- **ISEP / Rui Abreu** – Responsável pelo estudo e enquadramento dos conceitos com as necessidades da Cachapuz nomeadamente ao nível da solução *SLV Cement*. Em articulação directa com um consultor SLV Cachapuz foi efectuado todo o trabalho de análise e modelação do sistema definindo-se os módulos e funcionalidades a implementar no novo módulo *SLV Cement* vocacionado para o *e-maintenance*. O facto de haver um *developer* disponibilizado pela Cachapuz, permitiu de imediato uma concentração de esforços na análise do sistema e da sua nova modelação, deixando de fora as questões relacionadas com as particularidades da plataforma *SLV Cement*, mas conferindo ao mesmo tempo uma maior garantia da sua materialização / implementação com as novas funcionalidades.
- **Cachapuz / Consultor SLV** – Tirando partido do seu conhecimento da plataforma *SLV Cement*, serviu de interface para a análise e modelação do sistema assumindo posteriormente o acompanhamento da fase de materialização / implementação da solução na plataforma *SLV Cement*.
- **Cachapuz / Developer** – Implementação dos módulos e funcionalidades definidas bem como a sua incorporação na plataforma *SLV Cement*.

Concluindo, com esta abordagem encontrou-se uma metodologia que serviu os interesses de ambas as partes assegurando-se um princípio fundamental: a focalização no *e-maintenance* e a sua incorporação em soluções industriais reais com potencial global.

4.4 Implementação do protótipo SLV_EMAINT

O protótipo desenvolvido assentou numa arquitectura modular no sentido de assegurar nesta fase os objectivos deste trabalho assim como permitir a evolução futura. Apresenta-se na figura seguinte a arquitectura base do protótipo desenvolvido.

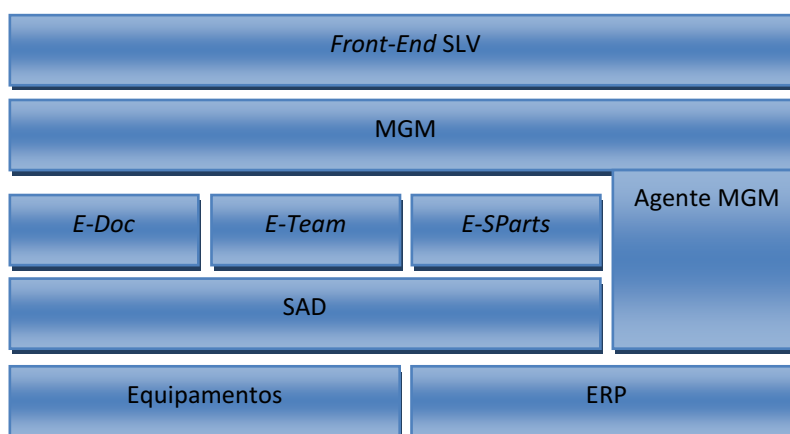


Figura 4.3 – Arquitectura base do protótipo SLV_EMAINT

Desenvolvido sobre a plataforma SLV, este protótipo assenta em duas componentes centrais:

- *Front-End* – gestão das funcionalidades existentes no módulo assegurando a sua integração na plataforma SLV do ponto de vista de utilizador.

- MGM (Módulo Gestão da Manutenção) - Este é o módulo central para gestão das funcionalidades de *e-maintenance* assegurando o planeamento e controlo das tarefas de manutenção a realizar. Aqui definem-se incidentes (definição de regras para intervenção) e geração de serviços de manutenção (pedidos de intervenção efectiva). É efectuada a articulação com módulos complementares como *e-doc* (gestão de documentos), *e-team* (gestão de equipas), *e-sparts* (gestão de peças de reserva) de modo a maximizar a eficiência das acções de manutenção.

Os diferentes módulos disponibilizam as suas funcionalidades directamente no *front-end SLV*, permitindo dessa forma a exploração das potencialidades do *e-maintenance*. Algumas das vantagens mais relevantes são as seguintes:

- Identificação, catalogação e encaminhamento de incidentes para equipas de manutenção de forma eficiente
- Associação de suporte documental a incidentes para minimizar erros e tempos de intervenção
- Prevenção de erros e avarias através de monitorização avançada de variáveis
- Redução de custos e tempos no diagnóstico das inúmeras componentes do sistema

4.4.1 Front-End SLV

A *Framework* de desenvolvimento Cachapuz contempla na sua base um conjunto de interfaces e mecanismos de forma a permitir a inclusão transparente de novas funcionalidades e módulos.

A figura 4.4 ilustra o aspecto geral do *front-end SLV*, encontrando-se expandido o separador “*E-maintenance*” associado às funcionalidades do protótipo desenvolvido.

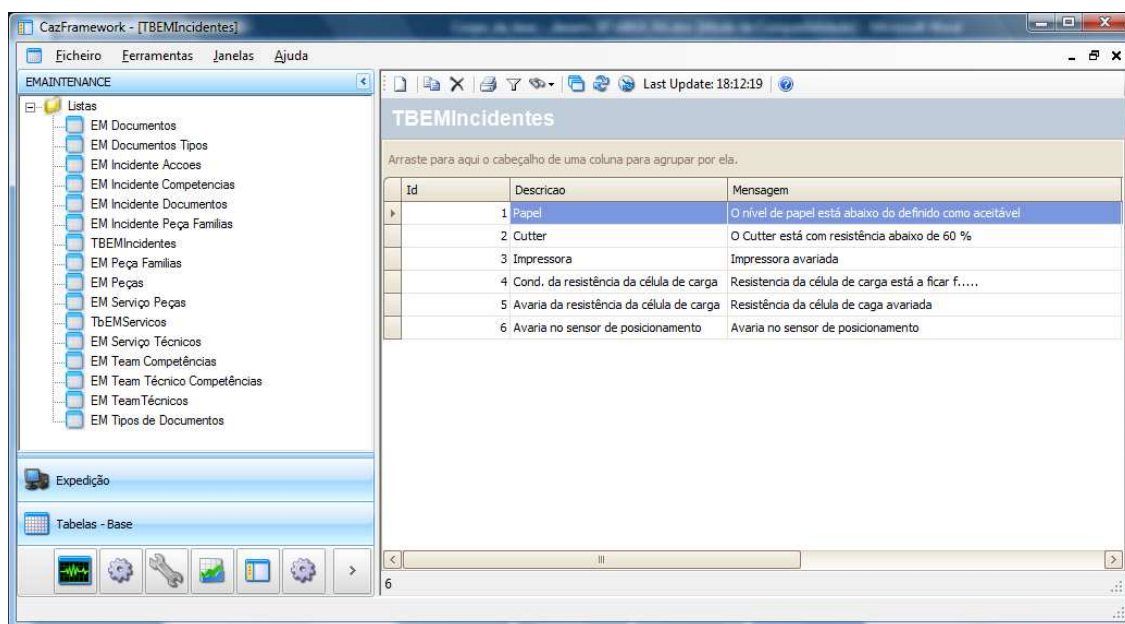


Figura 4.4 – Aspecto geral do *front-end SLV*

O navegador lateral integra todas as funcionalidades da solução permitindo-se a configuração e customização total do ambiente de trabalho com as necessidades do utilizador. Deste modo, embora o módulo *E-maintenance* disponibilize as suas funcionalidades de forma sequencial, as equipas de manutenção poderão definir o melhor *layout* de acordo com as suas necessidades podendo inclusivamente, criar um separador específico para funcionalidades de diferentes módulos instalados como por exemplo:

- Contactos – Principais contactos da instalação
- Monitorização - Monitorização de equipamentos instalados e actuação de variáveis chave como activação e suspensão de periféricos.
- Rede – Análise rápida de estado das condições de rede
- *E-maintenance* Serviços – Serviços atribuídos para o técnico

Deste modo, as equipas centralizam todas as suas actividades numa área reservada e intuitiva evitando navegações exaustivas sobre a aplicação.

4.4.2 MGM – Módulo de Gestão de Manutenção

Este módulo é utilizado no planeamento e controlo das tarefas de manutenção a realizar. Será a este nível que se definem e caracterizam os diferentes alarmes do sistema, *workflow* de execução e critérios de intervenção. Este módulo acaba por ser o núcleo central da aplicação de *E-maintenance*, articulando de forma harmoniosa as necessidades de intervenção, com a alocação dos meios operacionais, físicos e suporte documental mais adequado às tarefas a realizar.

As tarefas de manutenção assentam numa filosofia baseada em condições assegurada pelos seguintes princípios base:

- Incidentes – definição de processos de intervenção, através de condições previamente estabelecidas. O sistema é parametrizado de acordo com a especificidade da instalação e pode ser continuamente actualizado, com a definição de novos incidentes.
- Serviços – Processo ou pedido de intervenção sobre o sistema, associando as acções relevantes para a resolução do incidente.
- Agente de validação – motor ou processo de validação periódica de condições para criação de serviços de manutenção de modo automático

Na figura 4.5 apresentam-se os relacionamentos de entidades onde assentam os fluxos dos processos de manutenção.

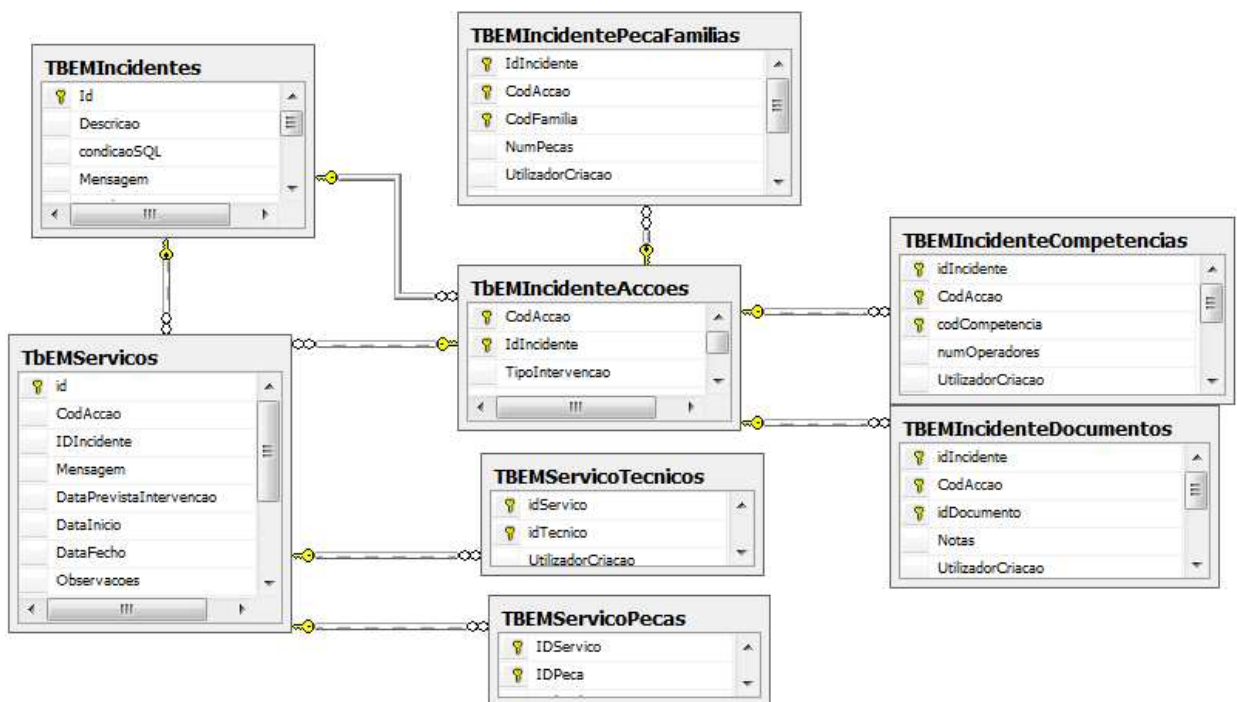


Figura 4.5 – Relacionamento de entidades

4.4.2.1 TBEMIncidentes

A definição das condições de incidente apresenta uma grande variabilidade e, como tal, pretendeu-se com a solução implementada disponibilizar mecanismos genéricos para a implementação de cenários independentes dos critérios pretendidos. Assim, e dado as variáveis a monitorizar estarem armazenadas em base de dados, a utilização de *queries* em T-SQL demonstrou ser a solução mais ajustada a estes requisitos. A caracterização e criação de condições de intervenção é fundamental no sentido de despoletar de modo eficaz notificações para as entidades / equipas manutenção. A tabela 4.1 descreve a caracterização de incidentes.

Campo	Descrição
Id	Código sequencial associado ao incidente
Descrição	Descrição longa do incidente permitindo a sua caracterização perante os utilizadores e técnicos
condicaoSQL	Condição genérica SQL que irá incidir principalmente sobre os dados disponibilizados pelo módulo de aquisição de dados podendo também correlacionar dados provenientes de outras fontes nomeadamente dos dados base SLV.
Mensagem	Texto breve que caracteriza o incidente a ser utilizado nas notificações às equipas de trabalho
Estado	Define se o incidente se encontra activo ou suspenso para validação.

Tabela 4.1 – Caracterização de incidentes

4.4.2.2 TBEMIncidenteAccoes

A ocorrência de um incidente poderá implicar a intervenção de várias equipas com valências e responsabilidades distintas. Neste sentido, a um incidente serão associadas acções para caracterização dos serviços a realizar integrando e relacionando-se com os restantes módulos de *E-maintenance* como *e-sparks*, *e-doc* ou *e-team*. A tabela 4.2 descreve a associação de acções a incidentes.

Campo	Descrição
IdIncidente	Código associado ao incidente
CodAccao	Código associado à acção de um determinado incidente
Tipointervencao	Define o tipo de intervenção servido como atributo adicional para as equipas de manutenção. Usualmente atributos como urgente, periódica, revisão permitem uma rápida caracterização da urgência da tarefa a realizar
Tempo	Tempo previsto para a realização da tarefa permitindo a definição de datas limites para intervenção de equipas. A título de exemplo, caso este atributo seja definido para 1 dia, as equipas deverão ser notificadas e concluir o processo de manutenção num período de 24 horas após a criação do serviço associado ao incidente.

Tabela 4.2 – Associação de acções a incidentes

4.4.2.3 TBEMIncidentePecaFamilias

As actividades de manutenção poderão pressupor a utilização / substituição de equipamentos no sentido de assegurarem o funcionamento dos sistemas dentro dos parâmetros da organização. Será então a este nível que se definem as potenciais necessidades agregando-se os equipamentos com base no seu grupo ou família. Através desta relação, o MGM integra-se com *e-sperts* para a gestão de componentes de reserva da instalação. A tabela 4.3 descreve a associação de famílias de peças a incidentes.

Campo	Descrição
IdIncidente	Código associado ao incidente
CodAccao	Código associado à acção de um determinado incidente
CodFamilia	Código de família ou grupo de equipamentos que poderão ser necessários para a execução do serviço
NumPeças	Número de equipamentos da família necessários à execução do serviço

Tabela 4.3 – Associação de famílias de peças a incidentes

4.4.2.4 TBEMIncidenteCompetencias

A associação de competências para execução de serviços de manutenção permite a melhor selecção de equipas face às ocorrências da instalação. Integrando-se com o módulo de gestão de equipas, definem-se as condições para selecção de técnicos com base nas suas habilitações. A tabela 4.4 descreve a associação de competências a incidentes.

Campo	Descrição
IdIncidente	Código associado ao incidente
CodAccao	Código associado à acção de um determinado incidente
CodCompetencia	Competência / habilitações das equipas de manutenção para execução do serviço
NumOperadores	Nº de operadores com habilitações definidas necessários à execução do serviço

Tabela 4.4 – Associação de competências a incidentes

4.4.2.5 TBEMIncidenteDocumentos

A disponibilização de documentação focalizada para os processos de manutenção elimina ambiguidades e erros de execução. Assim, será a este nível que se processa a integração com o módulo de gestão de documentos para definição dos manuais necessários assim como pequenas notas que agilizem a localização de informação relevante. A tabela 4.5 descreve a associação de documentos a incidentes.

Campo	Descrição
IdIncidente	Código associado ao incidente
CodAccao	Código associado à acção de um determinado incidente
idDocumento	Código do documento existente módulo de gestão de documentos
Notas	Considerações para o rápido posicionamento das equipas no procedimento associado à tarefa. A título de exemplo, poderão ser identificadas a página, capítulo ou secção do manual.

Tabela 4.5 – Associação de documentos a incidentes

4.4.2.6 TBEMServiço

Quando se verificam as condições de validação associadas a um determinado incidente, criam-se então os serviços associadas a cada uma das suas acções. Ao serviço serão associadas as intervenções efectuadas nomeadamente o tempo necessário para a sua resolução assim como técnicos envolvidos e possíveis peças / componentes envolvidas. A tabela 4.6 descreve a caracterização dos serviços.

Campo	Descrição
Id	Código sequencial associado ao serviço
IdIncidente	Código do incidente associado ao serviço
CodAccao	Código da acção do incidente
Mensagem	Texto breve que caracteriza o serviço a ser utilizado nas notificações às equipas de trabalho
DataPrevistaIntervencao	Data prevista para a conclusão da intervenção com base nas definições do incidente
DataInicio	Data efectiva de início de serviço pelas equipas de manutenção
DataFim	Data efectiva de fim de trabalhos pelas equipas de manutenção
Observações	Notas complementares indicadas pelas equipas de manutenção relativas às tarefas executadas
Estado	Define se o serviço se encontra em pendente, em curso, suspenso ou concluído

Tabela 4.6 – Caracterização dos serviços

4.4.2.7 TBEMServicoTecnicos

A relação de técnicos com serviços define os técnicos que efectivamente participaram na resolução do serviço. A tabela 4.7 descreve a associação de técnicos a serviços.

Campo	Descrição
IdServiço	Código associado ao serviço
IdTecnico	Código associado ao técnico de manutenção do módulo de gestão de equipas

Tabela 4.7 – Associação de técnicos a serviços

Futuramente, esta relação poderá ser enriquecida no sentido permitir, por exemplo, a avaliação do desempenho. Por um lado importa avaliar o comportamento do próprio sistema, ou seja a forma como definiu de forma automática as equipas de trabalho, baseado nas respectivas competências necessárias. Por outro lado importa avaliar o desempenho do próprio técnico, nas vertentes tempo de intervenção, erros de execução, entre outros.

4.4.2.8 TBEMServicoPecas

A relação de técnicos com peças define o conjunto de peças / componentes utilizados na intervenção permitindo desde logo o rastreio de equipamentos da instalação assim como o despoletar de alertas pelo módulo de gestão de peças sempre que o *stock* de peças de reserva da instalação se encontre abaixo dos níveis mínimos de equipamentos definidos. A tabela 4.8 descreve a associação de peças a serviços.

Campo	Descrição
IdServiço	Código associado ao serviço
IdPeça	Código/Nº de série associado à peça de reserva definido no módulo gestão de peças

Tabela 4.8 – Associação de peças a serviços

4.4.3 Serviço ou agente MGM

A pro-actividade dos sistemas implicam o desenvolvimento de processos que de modo automático detectem e despoletem as acções necessárias. Neste sentido, foi necessário o desenvolvimento um pequeno serviço ou agente para a monitorização constante das condições definidas no incidentes desencadeando os procedimentos necessários passando pela criação dos serviços de manutenção, envio de notificações por *e-mail* e SMS. Periodicamente verifica o estado de incidentes para validar a criação de serviços:

- O estado de incidente deverá estar activo ou definido para validação
- A condição SQL do incidente retornar valor positivo.
- Não existe nenhum serviço em curso para o incidente em causa de modo a evitar duplicação de pedidos para um mesmo incidente.

O processo de notificação das equipas de manutenção assentou sobre os módulos de alertas da plataforma SLV permitindo implementar de modo simples e rápido mecanismos:

- Envio de notificações de serviço por SMS e *e-mail*
- Envio de relatórios finais de intervenção por *e-mail*
- Notificação de utilizadores directamente no *front-end* aplicacional

4.4.4 SAD – Sistema de Aquisição de Dados

Para a monitorização de sistemas importa ter acesso em tempo útil ao conjunto de variáveis chave e através delas despoletar eventos e procedimentos de intervenção para a resolução de reais / potenciais problemas para o funcionamento do sistema. Este é um pré-requisito na aplicação de estratégias de manutenção baseadas em condições.

Foi desenvolvido um interface para a abstracção da componente física do sistema. O módulo desenvolvido, o SLV_EMaint, irá receber do exterior um conjunto de informações que foram lidas, processadas e transmitidas por meios físicos. Contudo, e no âmbito deste trabalho, este sistema de aquisição de dados será a fronteira da intervenção, fazendo a ponte com os equipamentos (autómatos, *displays* HMI, sensores, células de carga, etc...) e o ERP.

Verifica-se por um lado que os ERP's actuais não se encontram vocacionados para tarefas de manutenção. Por outro lado, quando se efectua uma instalação de um Sistema Logístico de Viaturas numa determinada empresa é necessário intervir no ERP local. Muitas vezes a falta de conhecimento ao nível dos condicionamentos existentes no mesmo podem-se traduzir em paragens forçadas ou então em custos acrescidos para obtenção dos equipamentos de reparação necessários. Esta situação conduz a uma sobrevalorização das peças em *stock* ou então a intervenções preventivas consecutivas no sentido de verificar presencialmente o real estado dos equipamentos e despoletar quando necessário a aquisição de material para substituição dos existentes.

A implementação de um módulo genérico e abrangente que contemple a multiplicidade de entidades não é simples e teria que contemplar um conjunto alargado de conectores para assegurar a abstracção com as diferentes entidades a integrar e monitorizar. Assim e face ao contexto de protótipo em que este trabalho se inseriu, optou-se por implementar um simulador para casos de estudo específicos. A figura 4.6 apresenta o simulador desenvolvido, sendo possível identificar os cenários idealizados para demonstração de conceito tendo por base situações habituais durante o período de funcionamento do sistema.

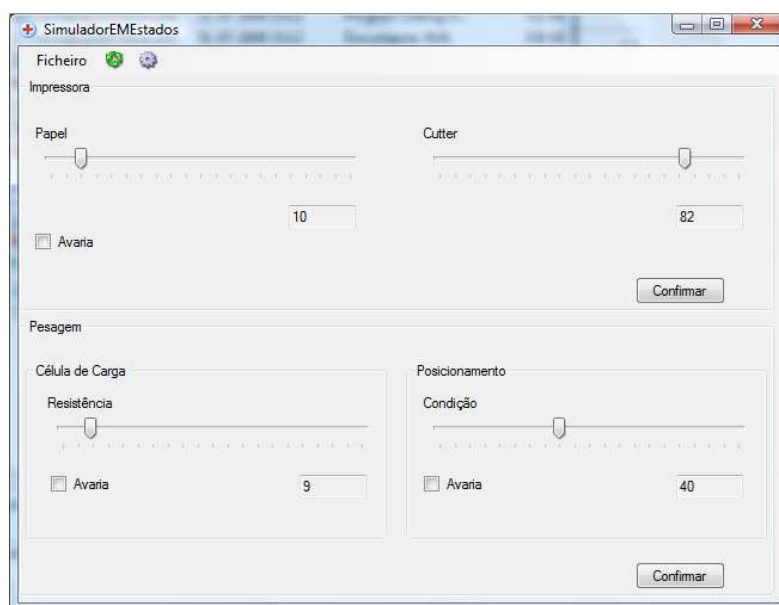


Figura 4.6 – Simulador da aplicação

Deste modo, os possíveis conectores a implementar, são materializados numa tabela de base de dados reflectindo o estado da instalação. Por outro lado, criam-se mecanismos que agilizam os testes e permitem uma demonstração simples e intuitiva das vantagens de conceitos de *e-maintenance* na solução SLV.

Para componentes chave como impressoras, células de carga inerentes ao processo de pesagem ou sensores de posicionamento simulam-se degradações de desempenho ou mesmo avarias do próprio equipamento. A título de exemplo, para uma impressora, usualmente equipadas com *cutter* ou guilhotina de corte de papel, é possível simular:

- Degradação ou resistência da guilhotina no corte de papel – embora em funcionamento, o funcionamento com níveis elevados de resistência potenciam um maior desgaste do equipamento acelerando a sua avaria.
- Avaria do equipamento implicando inevitavelmente intervenção das equipas de manutenção

Após a confirmação de estado, o simulador irá actualizar a tabela *TBEMSADEstados* ficando de imediato os dados disponíveis para análise e execução do Agente MGM.

A tabela 4.9 ilustra um possível estado do sistema assegurando o princípio para qual este módulo foi idealizado: garantir a abstracção face aos equipamentos e entidades a monitorizar.

CodVariavel	Descrição	Valor
CCUTTER	Estado de degradação do <i>cutter</i> de 0 a 100	82
CRESCC	Estado de degradação da resistência da célula de carga em percentagem	9
CSPOS	Estado de degradação do sensor de posicionamento em percentagem	40
EIMP	Estado da impressora Activo(1)/Inactivo(0)	1
ERESCC	Estado da resistência da célula de carga Activo(1)/Inactivo(0)	1
ESPOS	Estado do sensor de posicionamento Activo(1)/Inactivo(0)	1
QTDPAPEL	Quantidade de papel disponível em percentagem	10

Tabela 4.9 – Estados do sistema (exemplo)

4.4.5 E-Doc – Módulo de Gestão de documentos

A eficiência dos processos de manutenção depende de inúmeras variáveis onde a disponibilização de documentação adequada ao tipo de intervenção a realizar se apresenta como um dos factores de sucesso. Este módulo será a área para gestão de acesso à informação por parte dos técnicos na descrição dos equipamentos ou suporte às tarefas de reparação, inspecção e manutenção a realizar.

A figura 4.7 apresenta a relação de entidades relativas à gestão documental, onde se pode verificar que os documentos estão devidamente caracterizados, ao nível de conteúdo, localização, entre outros atributos, e com as respectivas ligações tanto aos incidentes como aos respectivos tipos disponíveis.

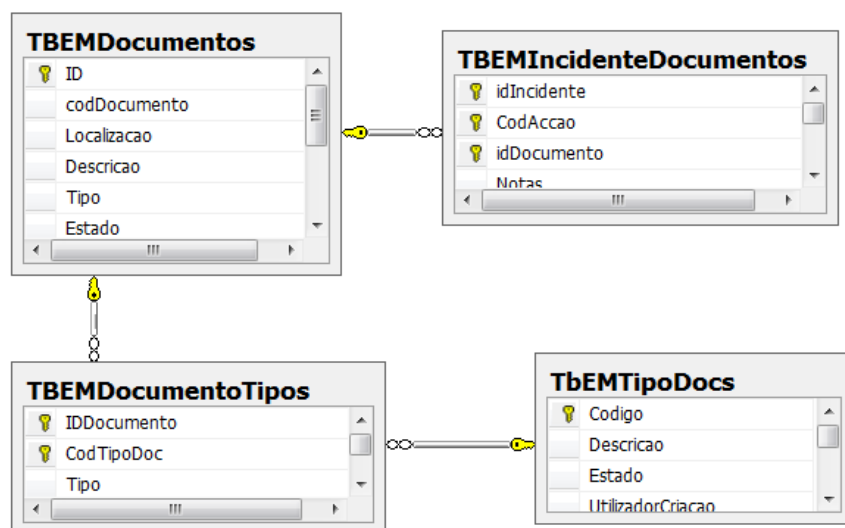


Figura 4.7 – Relacionamento de entidades documentos

4.4.5.1 TBEMDocumentos

A gestão de documentos será efectuada conforme descrição na tabela 4.10, permitindo a identificação, localização e restante caracterização.

Campo	Descrição
Id	Código associado ao documento
CodDocumento	Nome do documento ou ficheiro.
Localizacao	Localização ou caminho completo do ficheiro.
Descricao	Breve descrição acerca do documento e seus conteúdos
Tipo	Atributo para caracterizar a extensão ou formato do documento. A título de exemplo, permite-se de modo simples filtragens de documentos em formato <i>Word, pdf, powerpoint, etc.</i>
Estado	Caracteriza o estado actual do documento: Activo / actual ou obsoleto.

Tabela 4.10 – Caracterização de documentos

4.4.5.2 TBEMTipoDocs

Com a criação de tipos de informação, pretende-se agrupar os documentos em categorias de conhecimento com base nos seus conteúdos. Este facto traduz-se em vantagens evidentes nos processos de filtragem e pesquisa de informação em caso de necessidade.

Assim, face ao tipo de instalações possibilita-se a caracterização de diferentes categorias como esquemas eléctricos, manuais de utilizador / *software*, manuais de equipamentos, procedimentos de manutenção, etc. A tabela 4.11 apresenta a caracterização dos documentos segundo o seu tipo.

Campo	Descrição
Código	Código associado à categoria de informação
Descricao	Breve descrição dos conteúdos
Estado	Estado da categoria de informação: Activo ou obsoleto.

Tabela 4.11 – Caracterização dos documentos segundo o seu tipo

4.4.5.3 TBEMDocumentoTipos

Será a este nível que se efectua o relacionamento entre um documento e as possíveis categorias de informação. A tabela 4.12 descreve a associação do tipo ao respectivo documento.

Campo	Descrição
IDDocumento	Código associado ao documento
CodTipoDoc	Código associado à categoria de informação
Estado	Estado do relacionamento: Activo ou obsoleto.

Tabela 4.12 – Associação de tipos ao respectivo documento

4.4.6 E-Team – Módulo de Gestão de equipas

O conhecimento das equipas envolvidas, suas valências e disponibilidade é fundamental para alocar os melhores técnicos a cada pedido de intervenção evitando erros de execução ou pedidos de reforço das equipas durante as intervenções face a erros de catalogação de ocorrência.

É ao nível deste módulo que se caracterizam os técnicos que estarão envolvidos no sistema e suas habilitações, permitindo a sua posterior associação na definição de incidentes e pedidos de manutenção. A figura 4.8 apresenta o relacionamento de entidades entre técnicos, competências e incidentes.

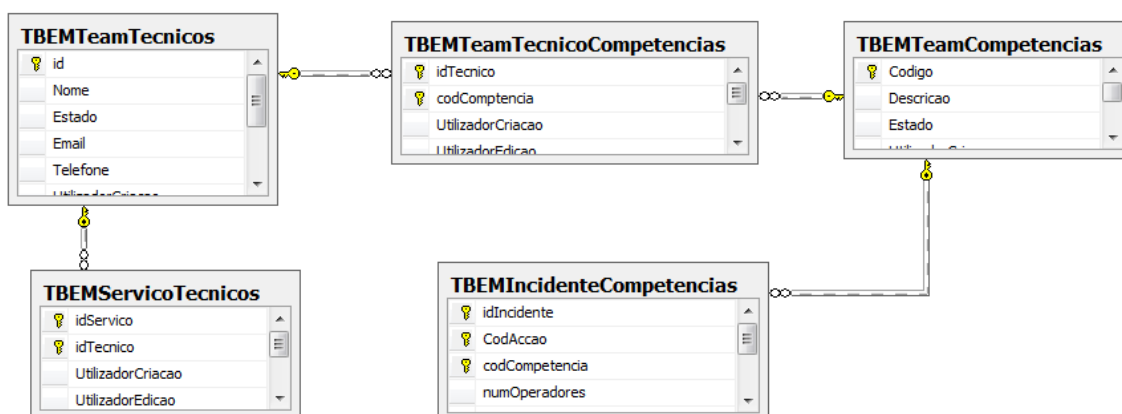


Figura 4.8 – Relacionamento de entidades técnicos/incidentes/competências

4.4.6.1 TBEMTécnicos

Embora a plataforma SLV seja instalada nos clientes, nem todos os técnicos e equipas de manutenção serão utilizadores directos ou terão acesso directo ao *front-end* SLV. A gestão de técnicos será centralizada nesta tabela permitindo a relação com utilizadores da plataforma SLV ou então a criação de técnicos externos com indicação dos seus contactos para notificação automática.

Cada técnico é caracterizado em função das suas competências ou habilitações permitindo a alocação de técnicos a cada serviço de manutenção. A tabela 4.13 apresenta a caracterização dos técnicos.

Campo	Descrição
Id	Código do técnico que poderá ser partilhado com o utilizador da plataforma SLV.
Nome	Nome do técnico.
E-mail	Contacto de <i>e-mail</i> a utilizar caso se pretendam notificações ou envio de relatórios.
Telefone	Número de telemóvel a utilizar caso se pretendam notificações via SMS
Estado	Estado do técnico: Activo ou suspenso

Tabela 4.13 – Caracterização dos técnicos

4.4.6.2 TBEMTeamCompetencias

Com a criação de competências pretende-se definir habilitações reunidas pelos técnicos e que serão necessárias para a execução de tarefas de manutenção. A correcta caracterização de habilitações permitirá identificar os elementos capazes de desempenhar os desafios de manutenção sendo fundamental para a posterior associação de técnicos a incidentes de manutenção. A tabela 4.14 descreve a caracterização das competências dos técnicos.

Campo	Descrição
Código	Código associado à competência / habilitação de manutenção
Descricao	Breve descrição das habilitações
Estado	Estado da habilitação de manutenção: Activo ou Suspensa.

Tabela 4.14 – Caracterização das competências dos técnicos

4.4.6.3 TBEMTecnicoCompetências

É a este nível que se efectua o relacionamento entre um técnico e as suas competências para a realização de tarefas de manutenção. A tabela 4.15 descreve a associação de competências aos técnicos.

Campo	Descrição
IDDocumento	Código associado ao técnico de manutenção
CodCompetencia	Código associado à habilitação do técnico
Estado	Estado do relacionamento: Activo ou suspenso

Tabela 4.15 – Associação de competências aos técnicos

4.4.7 E-SParts – Módulo de peças de reserva

Os sistemas industriais assentam na utilização de equipamentos que, embora ofereçam índices de fiabilidade elevados, estão sujeitos a avarias. Em sistemas críticos de alta disponibilidade é fundamental reduzir os tempos de paragem para os casos de avaria de equipamentos. A existência de peças de substituição no local permite às equipas de manutenção actuar de imediato. A figura 4.9 apresenta o relacionamento entre as entidades peças e famílias.

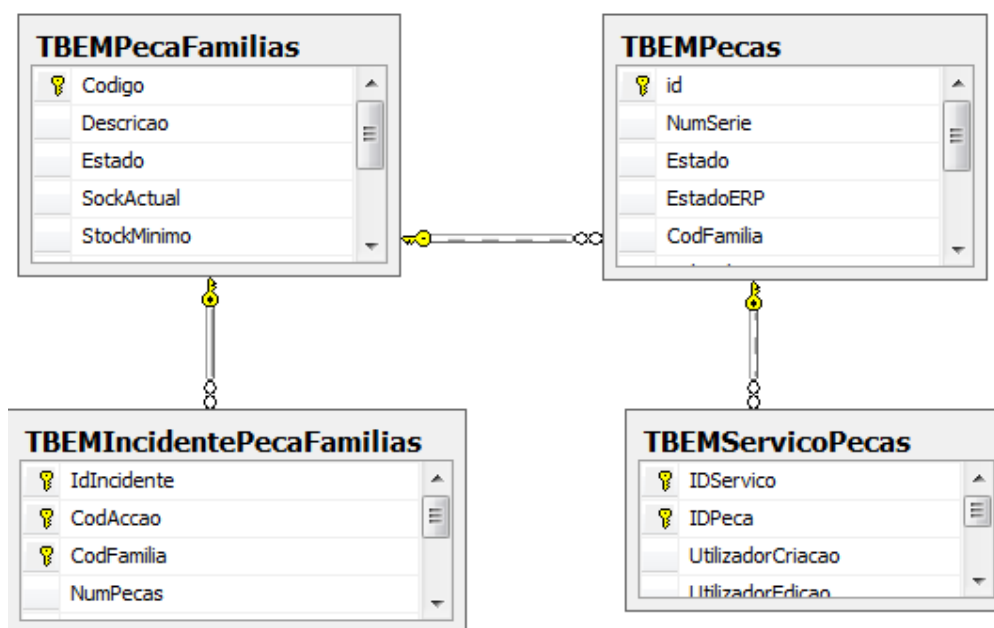


Figura 4.9 – Relacionamentos de entidades peças/famílias

Com este módulo, pretende-se efectuar a gestão das peças de reserva permitindo a posterior articulação com indicadores de funcionamento do sistema caminhando para um controlo eficiente do número de peças em *stock*. Quando integrado com o ERP, este módulo poderá de modo automático despoletar acções noutros departamentos da organização, tal como as compras, que até aqui só eram notificados em último recurso.

4.4.7.1 TBEMPeças

A gestão de peças é efectuada através da centralização nesta tabela permitindo a identificação do número de série, definição do estado e codificação. A tabela 4.16 descreve a caracterização das peças.

Campo	Descrição
Id	Código associado à ao equipamento de substituição
NumSerie	Número de série atribuído ao equipamento. O facto do número de série não ser atributo chave da tabela deve-se ao facto de se contemplar o processo de aquisição. Nestes casos, processa-se a criação do equipamento sem número de série e com estado em <i>Aquisição</i> . Após a recepção, actualiza-se o registo com o número de série pretendido
Estado	Estado da peça no sistema SLV <i>Cement</i> indicando se está disponível para utilização, pendente a aquisição ou já utilizada em tarefas de manutenção.
EstadoERP	Estado da peça no ERP do cliente indicando a título de exemplo se está em proposta, aquisição, disponível ou utilizada.
CodFamilia	Código da família ou tipo de equipamentos no qual a peça se insere

Tabela 4.16 – Caracterização das peças

4.4.7.2 TBEMPecaFamilias

Com a criação de famílias ou tipo de equipamentos, pretende-se agrupar as diferentes peças em categorias com base nas suas características ou áreas de aplicação. Permite-se, assim, análises eficazes sobre os equipamentos, nomeadamente a avaliação de tendências de avaria ou de necessidade de intervenção de alguns grupos de peças. Por outro lado, a existência de equipamentos similares dentro da mesma família poderá, sempre que possível, ser utilizado como uma filosofia de equipamentos complementares utilizados em caso de falta do equipamento sugerido nos procedimentos de manutenção. A tabela 4.17 descreve a caracterização da família de peças.

Campo	Descrição
Código	Código associado à família ou tipo de equipamentos
Descricao	Breve descrição
Estado	Estado da família de equipamento: Activo ou Suspenso.
Stock Actual	Número de equipamentos existentes e disponíveis para utilização
Stock Mínimo	Nº mínimo de equip. que deverão estar disponíveis para utilização imediata
TempoMedioEntrega	Tempo médio de entrega desde a emissão do pedido de compra até à entrega pelos fornecedores. Fundamental para despoletar atempadamente alertas de reposição de <i>stock</i> .

Tabela 4.17 – Caracterização de famílias de peças

4.5 Simulação de cenários de incidente

Nesta secção serão apresentadas alguns exemplos concretos que pretendem demonstrar as funcionalidades implementadas no protótipo desenvolvido. Além das parametrizações iniciais do sistema, serão simulados alguns incidentes críticos numa possível instalação, e verificado de que forma o sistema dá resposta aos mesmos. São comparados os actuais e futuros procedimentos relativos a incidentes e destacadas as mudanças na forma de detectar o problema, de emitir os respectivos alertas e a sua resolução.

4.5.1 Parametrização inicial da Aplicação

A definição de incidentes de manutenção pressupõe a existência do universo de dados base como peças e técnicos previamente carregados no sistema. Assim, a implementação do módulo de *e-maintenance* implica o carregamento de informação para o sistema de dados nomeadamente:

- Peças e respectivas famílias
- Técnicos e suas competências
- Documentos e respectivos tipos.

Seguidamente, tecem-se alguns comentários relativamente a cada um destes conjuntos de dados. Começando pelas peças e respectivas famílias, informação necessária para o módulo implementado denominado *e-sparks* e que permite a gestão das peças necessárias à manutenção. A figura 4.10 ilustra o carregamento de dados relativos às peças. São introduzidos e codificados os equipamentos e definido um conjunto de características e dados que os caracterizam.

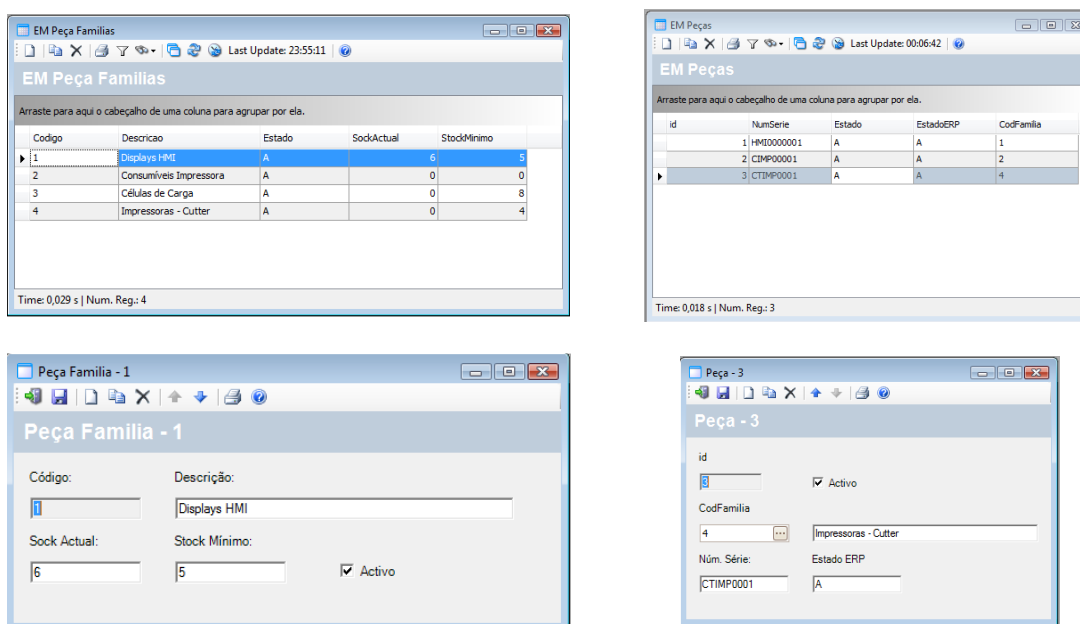


Figura 4.10 – *setup*³⁷ de informação relativo a peças do sistema

O sistema deverá ser carregado com a informação de todas as peças relevantes à futura manutenção do SLV, existindo uma codificação e uma descrição que deverá ser efectuada para cada um dos equipamentos. Serão definidos *stocks* mínimos e haverá a informação do *stock* actual. As peças serão agrupadas por famílias e cada uma delas terá um estado de activo ou não activo. Isto permite que uma peça possa ter um determinado código aberto, mas a especificidade da instalação não requer peças daquele tipo. Contudo a referência mantém-se, pois pode ser necessária para eventuais dados cruzados.

³⁷ *Setup* – termo usado para designar parametrização ou ajuste inicial.

Outra componente relevante é o módulo *e-team*, que permite efectuar a gestão de equipas de trabalho, através da emissão de ordens de serviço objectivas e com informação detalhada relativa à resolução do problema. Para que tal seja possível, é necessário efectuar o carregamento da informação relevante na base de dados criada para esse efeito. A figura 4.11 ilustra o carregamento de dados para a definição dos técnicos, com a sua identificação, contactos, competências associadas e demais informação relevante.

id	Nome	Estado	Email	Telefone
CFTEC1	Chefa - Técnico 1	A	cheffa1@mestrado.com	33333333
CFTEC2	Chefa - Técnico 2	A	cheffa2@mestrado.com	3333333333
ITTEC1	Informática - Técnico 1	S	informatico1@mestrado.com	11111111
ITTEC2	Informática - Técnico 2	A	informatico2@mestrado.com	11111111
MTTEC1	Manutenção - Técnico 1	A	manutencao1@mestrado.com	2222222222
MTTEC2	Manutenção - Técnico 2	A	manutencao2@mestrado.com	22222222

Técnico - CFTEC1

Id: CFTEC1 Nome: Chefa - Técnico 1

General Services Competencies

Email: cheffa1@mestrado.com

Telefone: 33333333 Activo

Técnico - CFTEC1

Id: CFTEC1 Nome: Chefa - Técnico 1

General Services Competencies

EM Team Técnico Competências

codCompetencia: CF

Figura 4.11 – Setup de informação relativo aos técnicos

O sistema deverá ser carregado com toda a informação relativa a todos os técnicos envolvidos nas tarefas de manutenção geridas pelo SLV. Além do nome, deverão ser introduzidos contactos de correio electrónico e telefone. O técnico estará agregado a competências, que deverão ser definidas.

Para que seja possível o envio de um conjunto de informações úteis à resolução do problema, deverá ser preenchida uma base de dados criada especificamente para esse efeito, onde se introduzem os documentos relevantes de determinada instalação, categorizados por tipo, e com informações adicionais relativas ao seu estado ou respectiva localização. Este módulo denomina-se *e-doc*, e na figura 4.12 apresenta-se um exemplo de carregamento de dados relativo à documentação.

Codigo	Descricao	Estado
1	Esquemas Elécticos	A
2	Manuais de Utilizador - Software	A
3	Manuais Utilizador - Hardware	A
4	Procedimentos de montagem	A
5	Procedimentos Manutenção - Informática	A
6	Procedimentos Manutenção - Hardware	A

Documento - 1

Id: 1 Activo

Documento: SLVPMHW.doc Descrição: Procedimentos Manutenção Equipamentos

Localizacao: Vahare/SLVPMHW.doc

EM Documentos Tipos

IDDocumento	ChefTypoDoc	Tipo	Estado
1	Esquemas Elécticos	A	A
1,3	Manuais Utilizador - Hardware	A	A

Figura 4.12 – Setup de informação relativo aos documentos

4.5.2 Incidente da impressora (papel / cutter)

A automatização de processos logísticos de movimentação de viaturas implica normalmente a impressão de documentação necessária ao comprovativo de operação, ou então, informação legal para que as viaturas possam circular na via pública, como por exemplo a emissão de guias de remessa. Em soluções de alta disponibilidade como SLV, estes processos assumem um papel crítico na medida em que, dado focalizarem-se em processos de auto-serviço, existe uma redução efectiva de recursos humanos alocados aos processos de movimentação e controlo de variáveis como por exemplo a reposição de papel numa determinada impressora da instalação. Por outro lado, cenários de falta de papel nas impressoras traduzem-se de imediato em complicações nos processos de movimentação implicando por exemplo:

- Movimentações desnecessárias do motorista e viatura no interior da instalação para obtenção de documentação necessária
- Intervenção da expedição para reimpressão de documentos
- Notificação das equipas responsáveis para reposição urgente de papel na impressora em causa

O fluxograma apresentado na figura 4.13 ilustra o procedimento usual para manutenção dos níveis de papel no panorama actual de funcionamento.

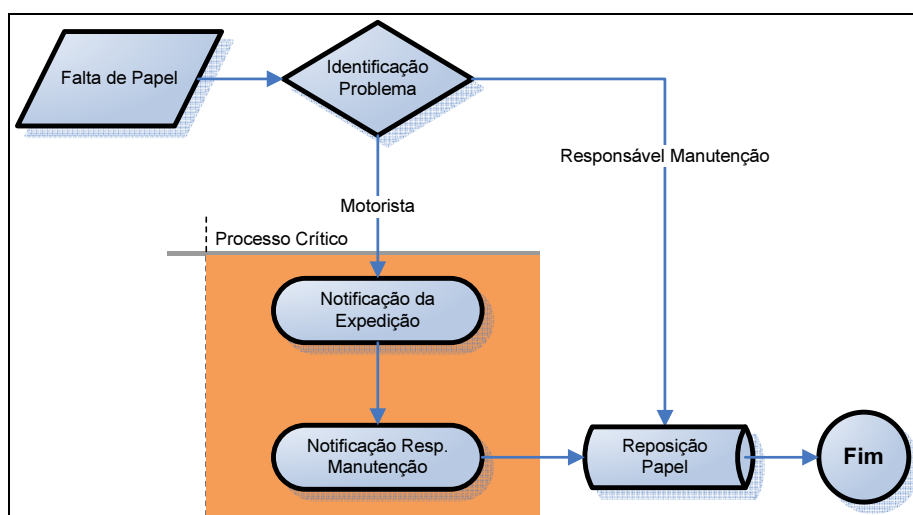


Figura 4.13 – Procedimento relativo à reposição de papel

Tendo como base de actuação um cenário de falta de papel, as equipas de manutenção efectuem revisões periódicas aos equipamentos validando visualmente se é o momento ideal para a substituição do papel. Inerente a este procedimento, está associado um conjunto de factores críticos como avaliações incorrectas, intervalos de validação desajustados ou consumos não previstos que se traduzirão em cenários de ruptura e falta de papel com impossibilidade de emissão de documentação ao motorista. Após a identificação da falta de papel, o motorista faz a notificação da Expedição que reencaminha a notificação para o Responsável de Manutenção traduzindo-se em dois factores críticos para a organização:

- Quebra do índice de qualidade de serviço / atendimento
- Necessidade de intervenção urgente das equipas de manutenção para a substituição de papel

Com o módulo de gestão da manutenção pretendeu-se criar uma nova filosofia e dinâmica na resolução destes problemas passando de um modelo curativo para um modelo de monitorização e rentabilização de recursos.

Com implementação do módulo desenvolvido SLV_EMAINT e, tirando partido do facto de as impressoras tradicionalmente incluírem sensores de monitorização de papel, foi possível monitorizar continuamente os níveis de papel e criar mecanismos de gestão e notificação automática de alerta e ordens de serviço complementadas com informação relevante, como manuais técnicos, para a resolução do problema.

Por outro lado, esta mudança de filosofia traduziu-se no fluxograma representado na figura 4.14, capaz de antecipar eventuais situações críticas de paragem, na medida em que se baseia na monitorização constante de níveis críticos, a definir pelos responsáveis da exploração, podendo inclusivamente tirar partido do histórico da unidade industrial no sentido de fazer previsões de consumos e tendências.

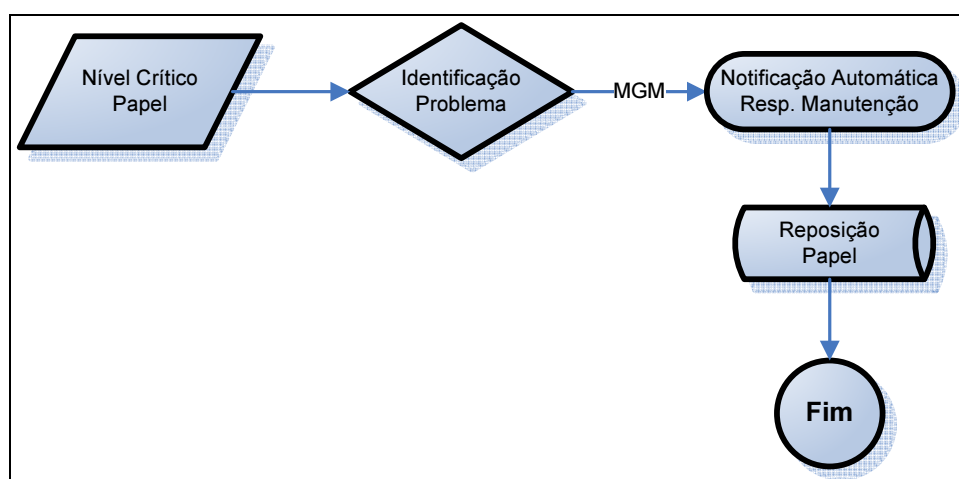


Figura 4.14 – Procedimento relativo à reposição de papel após implementação protótipo

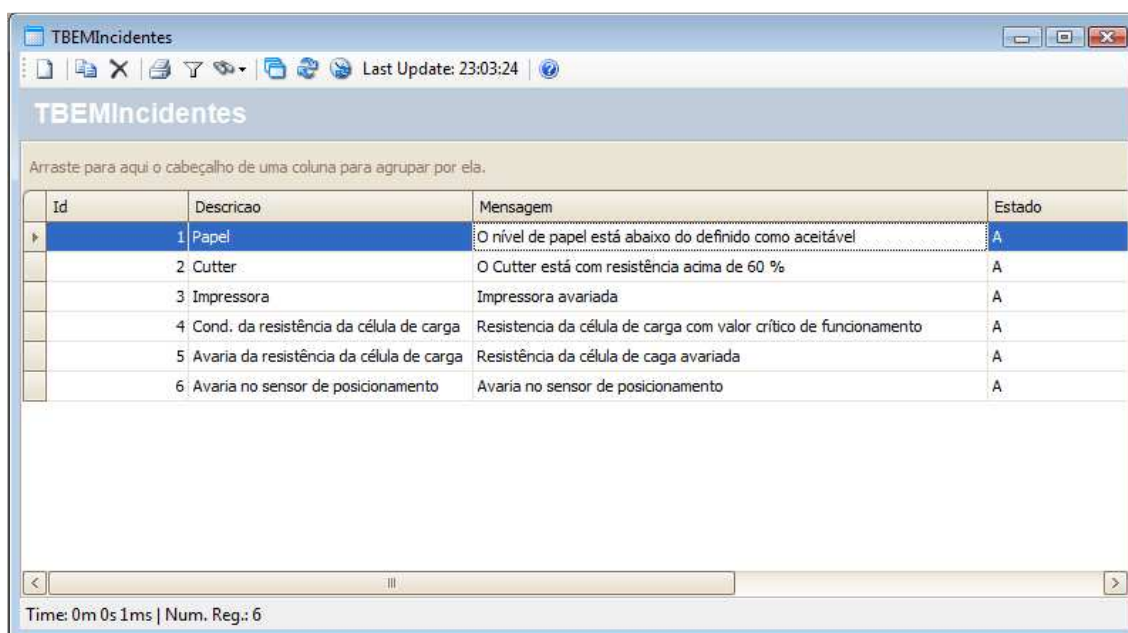
Em suma, esta abordagem vem permitir reposições independentes do ritmo de consumo, com ligação ao processo, onde se pode articular o nível actual de papel com a previsão de afluência à instalação, evitando as paragens particularmente nas horas de pico. Por outro lado, existirá uma clara redução de custos alocados com recursos humanos para validações periódicas do nível de papel, na medida em que as tarefas de diagnóstico e alerta passarão a ser efectuadas automaticamente pelo módulo de gestão da manutenção.

Ainda no contexto de problemas inerentes ao processo de impressão de documentos, realça-se a existência de desgaste dos seus componentes mecânicos internos com particular incidência no *cutter*, sistema de corte tipo guilhotina utilizada em impressoras industriais térmicas agregadas à solução SLV e instaladas nos seus quiosques. À semelhança da substituição de papel, também estes componentes estão sujeitos a revisões periódicas com a agravante de que a sua degradação não é tão evidente nem tão linear. Como tal, a monitorização constante do seu estado de degradação permite antecipar situações críticas de avaria e tempos de paragem inferior, tendo em consideração que a intervenção nestes casos será substancialmente superior a uma simples reposição de papel.

O fluxograma de intervenção é semelhante ao da substituição de papel e, estando definidos os pressupostos de funcionamento, passa-se em seguida para a sua materialização no módulo de *e-maintenance* SLV.

Tendo em consideração que todas as configurações de suporte, como as que dizem respeito a técnicos ou documentação, já se encontram previamente definidas, a implementação de mecanismos de monitorização para processos de impressão passa essencialmente pela definição de incidentes e respectivas condições de actuação.

A figura 4.15 ilustra um conjunto de cenários de demonstração implementados onde se insere o caso de actuação de monitorização do *cutter* que se irá detalhar em seguida.



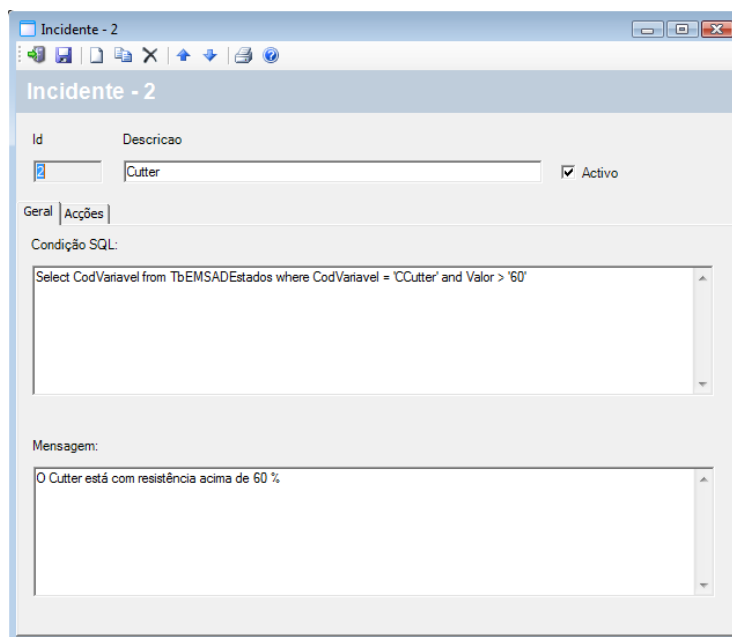
The screenshot shows a web application window titled 'TBEMIncidentes'. It contains a table with the following data:

Id	Descricao	Mensagem	Estado
1	Papel	O nível de papel está abaixo do definido como aceitável	A
2	Cutter	O Cutter está com resistência acima de 60 %	A
3	Impressora	Impressora avariada	A
4	Cond. da resistência da célula de carga	Resistencia da célula de carga com valor crítico de funcionamento	A
5	Avaria da resistência da célula de carga	Resistência da célula de caga avariada	A
6	Avaria no sensor de posicionamento	Avaria no sensor de posicionamento	A

At the bottom of the window, it displays 'Time: 0m 0s 1ms | Num. Reg.: 6'.

Figura 4.15 – Exemplo de definição de incidentes

Na figura 4.16, define-se a condição de alerta que irá despoletar a criação de um novo serviço de manutenção. Neste caso, considerou-se que caso o valor da resistência de *cutter* se encontre acima de 60% se entra numa região de intervenção necessária. Nesta fase, as equipas de manutenção devem actuar com tarefas inerentes à resolução do problema, evitando-se deste modo o funcionamento em condições de esforço e degradação acentuada do equipamento, facto que poderia conduzir a um incidente de paragem não planeada ou substituição precoce do equipamento.



The screenshot shows a configuration window for an incident. It includes the following fields and options:

- Id:** A text input field containing the number '2'.
- Descricao:** A text input field containing the word 'Cutter'.
- Activo:** A checked checkbox.
- Condição SQL:** A text area containing the SQL query: `Select CodVariavel from TbEMSADEstados where CodVariavel = 'CCutter' and Valor > '60'`
- Mensagem:** A text area containing the message: `O Cutter está com resistência acima de 60 %`

Figura 4.16 – Definição das condições de incidente

Definidas as condições de incidente, passa-se para a caracterização das acções associadas e equipas a envolver. Para cada acção, é fundamental definir o tempo previsto para a sua resolução assim como documentação, peças e valências necessárias para que exista um encaminhamento eficaz das equipas

devidamente suportadas por documentação e eventuais peças de substituição. A figura 4.17 ilustra o incidente com o *cutter* e a respectiva acção desencadeada, com a informação necessária relativa a documentos, peças e competências.

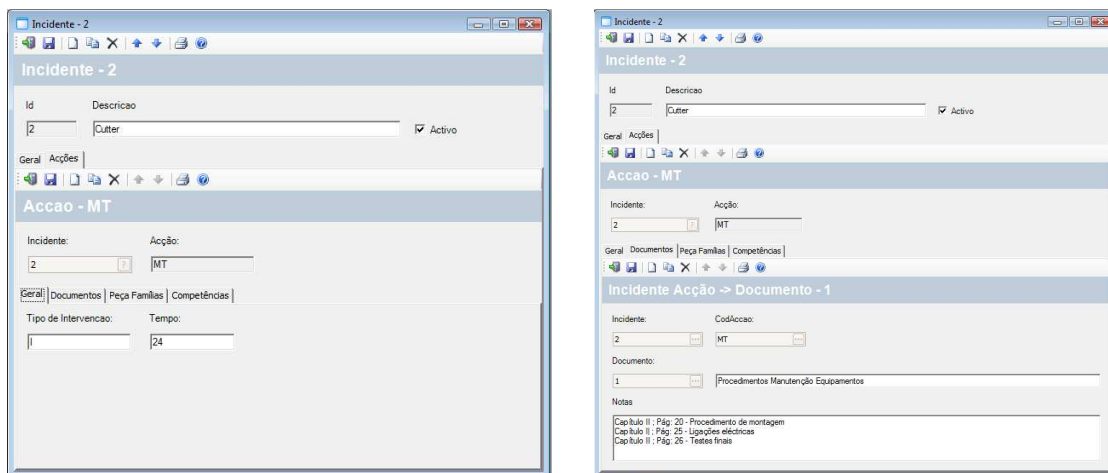


Figura 4.17 – Incidente e respectiva acção

Durante o funcionamento dos sistemas, o módulo de gestão da manutenção está continuamente a validar as condições de incidente. Sempre que ocorra uma situação de alerta, é automaticamente gerado um serviço de manutenção com envio de notificação (*e-mail* / *sms*) de acordo com a predefinição de equipas do sistema. Na figura 4.18, apresentam-se dois serviços relativos a cenários de impressão em que foi detectado no sistema a degradação de dois dos seus componentes, nomeadamente a necessidade de reposição de papel e de intervenção ao nível do *cutter*.

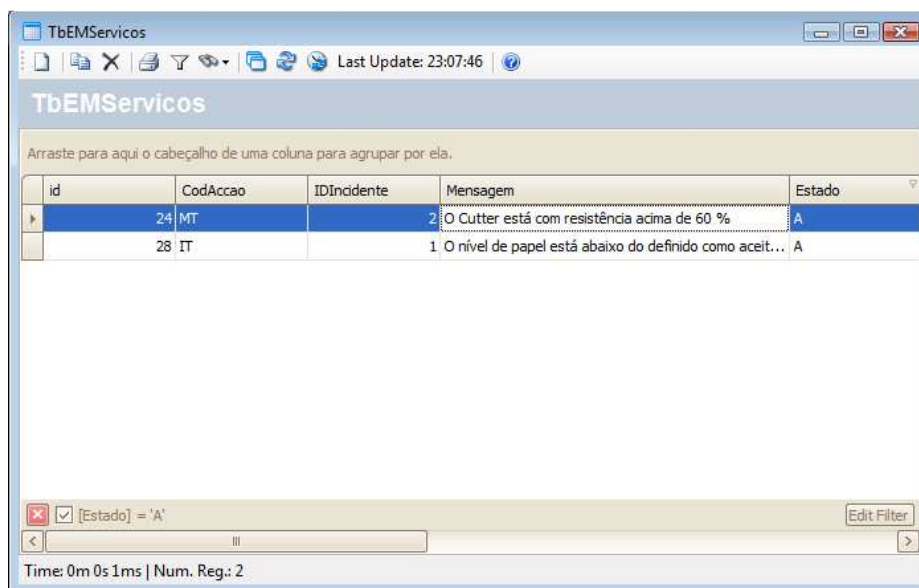


Figura 4.18 – Exemplo de dois serviços relativos a cenários de impressão

Na figura 4.19 apresenta-se em detalhe a ordem de serviço emitida e que será disponibilizada aos técnicos responsáveis pela manutenção. Estes deverão complementar a mesma com a informação inerente às suas tarefas como por exemplo a data / hora de conclusão ou o conjunto de equipamentos de reserva necessários para concluírem a tarefa.

Serviço - 24

Id: Activo

Id Incidente: Cód. Acção: Tipo Intervenção:

Geral | Técnicos | Peças

Data Prevista Intervenção: Data Início: Data Fecho:

Observações: Mensagem:

Figura 4.19 – Detalhe de serviço emitido relativo a degradação do cutter

Esta informação fica armazenada em histórico podendo ser utilizada posteriormente para a optimização dos processos de manutenção com recurso por exemplo a técnicas de *business intelligence*, *sistemas periciais* ou outras heurísticas que se possam adoptar futuramente.

4.5.3 Incidente na célula de carga

De seguida é analisado outro incidente crítico nas instalações onde está em funcionamento o SLV, o respeitante às células de carga. Estando esta empresa na vanguarda dos sistemas de pesagem, as células de carga usadas nas básculas dos sistemas SLV são, por inerência, um dos equipamentos chave de todo o processo. As básculas são compostas por várias células de carga que estão sujeitas a longos períodos de serviço e muitas vezes em condições ambientais consideradas severas. Este facto pode acarretar um desgaste das mesmas, que por sua vez pode conduzir a deficiências na pesagem. Estas anomalias de pesagem poderão ter como consequência desde a obtenção de valores de peso fora dos limites legais estabelecidos até à inutilização completa da báscula devido a avaria.

De notar que situações limites de pesagem daí decorrentes se irão reflectir de imediato no desempenho da unidade fabril, com criação de filas para entrada e saída das instalações. Por outro lado, existirão movimentações de camiões para pontos alternativos de pesagem criando uma clara entropia nos processos existentes assim como a necessidade de reforço dos critérios de segurança para fazer face ao maior número de veículos que temporariamente se irão concentrar nessas zonas.

O fluxograma representado na figura 4.20 ilustra o procedimento usual e simplificado para manutenção das células de carga prevendo três cenários possíveis para a identificação dos problemas:

- Equipas de manutenção – No decorrer das actividades periódicas de manutenção.
- Motoristas – Durante o processo de pesagem verificam que o valor de peso não está correcto ou que o equipamento está fora de serviço. Esta situação introduz um clima de suspeição e degradação da imagem da unidade industrial.
- Verificações metrológicas periódicas por entidades legais – Equipamentos de pesagem utilizados para transacções legais estão sujeitos a verificações periódicas por entidades

acreditadas para o efeito. Anomalias detectadas poderão levar à interdição de utilização do equipamento até nova inspecção traduzindo-se em graves prejuízos para a organização em termos de imagem para o exterior assim como entropia no seu processo de negócio face à indisponibilidade de um equipamento crítico do seu processo.

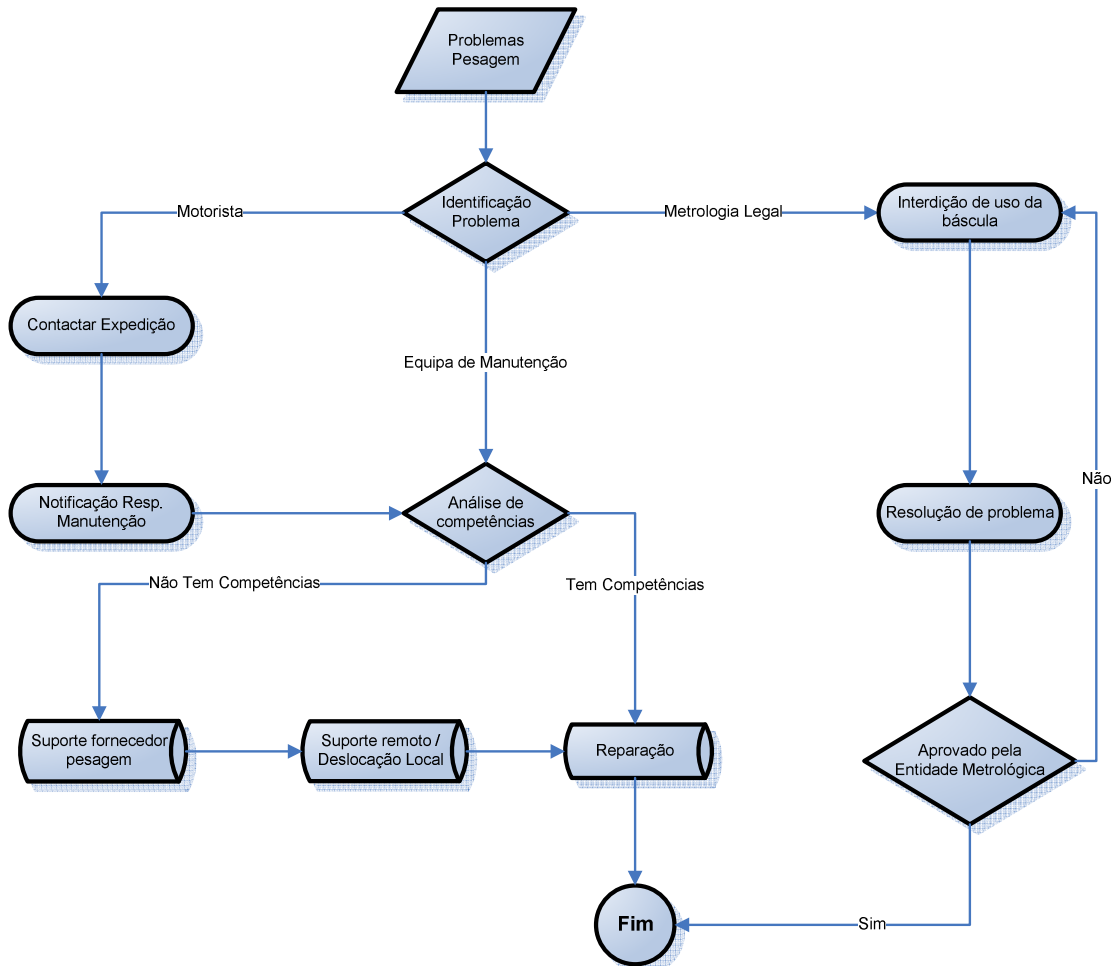


Figura 4.20 – Procedimento relativo à resolução de problemas com a célula de carga

Os problemas de pesagem podem ser detectados basicamente de duas formas: uma interna à própria organização, onde a detecção do problema acontece pelos motoristas ou pelas equipas de manutenção, e outra no decorrer de certificações metrológicas, onde são entidades externas que detectam a anomalia. Cada uma destas situações conduz a uma sequência de eventos própria, com consequências diversas.

Para os casos de detecção teoricamente internos à organização, identificação da anomalia pelos motoristas ou equipa de manutenção, a situação será encaminhada para o responsável da manutenção que irá efectuar a análise do problema e validar as competências que dispõe para resolução do mesmo. No sentido de agilizar a resolução do problema, nesta fase o responsável da manutenção poderá optar por requisitar suporte ao fornecedor da solução de pesagem que, remotamente ou através de deslocação ao local, irá apoiar a resolução do problema. Em soluções como o SLV, esta situação introduz um desafio maior na medida em que estamos a falar de soluções à distância onde deslocações ao local deverão ser efectuadas apenas em último recurso face às garantias de máxima autonomia da unidade industrial assim como da própria redução de custos envolvidos na manutenção.

Para os casos de identificação de anomalias no decorrer das certificações metrológicas, o processo de resolução assume uma complexidade superior. Nestes casos, a utilização do equipamento será interdita até nova certificação e aprovação pelo que a unidade industrial terá que introduzir esforços adicionais na resolução do problema colocando as equipas de manutenção da unidade industrial numa posição delicada face ao problema identificado.

Com implementação do módulo SLV_EMANT, torna-se possível incluir uma nova dinâmica nos processos de manutenção e intervenção sobre os equipamentos de pesagem, nomeadamente na garantia das condições metrológicas legais.

Assim, a introdução deste novo módulo poderá traduzir-se no fluxograma representado na figura 4.21, sem cenários de risco e potenciando um factor inovador: o cooperativismo entre organizações. As células de carga passarão a estar constantemente monitorizadas e a sua degradação medida e registada. Caso se verifique um incidente, o SLV_EMANT, através do Módulo de Gestão da Manutenção, envia uma ordem de serviço completa para as equipas devidamente habilitadas, com a documentação necessária e o conjunto de eventuais acessórios ou peças de substituição.

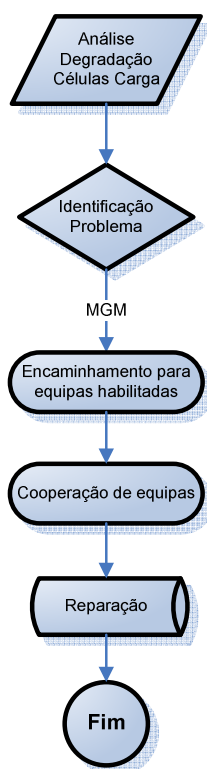


Figura 4.21 – Procedimento relativo à célula de carga após implementação protótipo

4.6 Conclusão

A introdução do SLV_EMANT nos sistemas será um factor diferenciador do Sistema Logístico de Viaturas da Cachapuz. Este facto será certamente mais marcante na componente de internacionalização, onde as funcionalidades agora implementadas são mais relevantes. Com o refinar das ferramentas de suporte remoto, os clientes passam a dispor de garantias adicionais de continuidade de serviço e apoio rápido e eficaz em caso de eventuais falhas.

Por outro lado, as equipas de manutenção no local passam a dispor de mecanismos de alerta eficazes, suportados por módulos de documentação, para simplificar a execução das tarefas de manutenção e evitar prováveis erros. Deste modo existe uma potencial redução de custos relacionados com paragens forçadas.

Numa solução como o SLV, a manutenção é uma tarefa efectuada em parceria pelas equipas locais à unidade industrial e a equipa de suporte Cachapuz. O módulo SLV_EMaint irá agilizar o alerta de situações críticas permitindo à Cachapuz, ou outras empresas externas, uma posição mais pró-activa perante o sistema. Finalmente, importa realçar o aumento da qualidade de serviço e da melhoria da imagem da unidade industrial devido às melhorias introduzidas no desempenho global do sistema.

5 Conclusões e Trabalho Futuro

Com este trabalho pretendeu-se, além de uma avaliação académica do estado da arte no domínio do *e-maintenance*, fazer a aplicação destes conceitos a casos concretos, explorando as diversas potencialidades desta nova abordagem da manutenção, procurando criar uma integração destes vários subsistemas e explorando as diversas sinergias que poderão ser desenvolvidas.

Dadas as características do presente trabalho, a vasta abrangência desta temática e os horizontes temporais envolvidos, os esforços foram focalizados no desenvolvimento de uma aplicação denominada SLV_EMaint, que permitiu dotar o Sistema Logístico de Viaturas da Cachapuz das funcionalidades de uma plataforma de *e-maintenance*, com capacidades ao nível da gestão da manutenção, aquisição de dados, monitorização da degradação de componentes, gestão de peças, gestão documental e gestão de equipas de trabalho.

A adopção de estratégias de manutenção adequadas, coadjuvadas pelas potencialidades que o *e-maintenance* introduz, contribui de forma decisiva para a optimização da eficácia produtiva. Este desiderato é atingido através da identificação e eliminação das perdas de eficiência dos equipamentos e da produção ao longo de todo o ciclo produtivo, com a participação activa das várias equipas de colaboradores ao longo dos vários níveis hierárquicos da organização.

Os pequenos defeitos são normalmente a origem das falhas da maioria dos equipamentos, devendo como tal ser completamente eliminadas. Os equipamentos com pequenos defeitos acabam geralmente por provocar danos colaterais mais complicados. A análise dos indicadores (como por exemplo o OEE) ou a monitorização permanente do estado dos componentes é de crucial importância para garantir altos níveis de disponibilidade dos sistemas.

Após a análise dos resultados da implementação do protótipo SLV_EMaint, podem ser retiradas várias conclusões, que dizem respeito tanto à Cachapuz, no papel de fornecedor de soluções, como ao cliente final, no papel de responsável pela fábrica e pela sua adequada manutenção, e finalmente, aos diversos utilizadores do Sistema Logístico de viaturas, desde os camionistas até aos responsáveis pela logística, passando obviamente pelo pessoal envolvido na manutenção.

O módulo SLV_EMaint reforça a plataforma SLV, conferindo à mesma novas funcionalidades e características. Embora já existissem ferramentas de suporte remoto nas versões anteriores do sistema, estas estavam, contudo, muito orientadas para o processo. Com os resultados obtidos no âmbito desta dissertação, será possível intervir no sector da manutenção de uma forma muito mais profunda.

Relativamente às fábricas no sector da indústria cimenteira onde a solução SLV está implementada, verifica-se um conjunto de vantagens após a implementação do módulo SLV_EMaint. As equipas de manutenção no local passam a dispor de mecanismos de alerta eficazes, suportados com módulos de documentação para simplificar e evitar erros durante a execução das tarefas de manutenção. As ordens de serviço são complementadas com todo o conjunto de acessórios e peças de substituição necessários à resolução dos incidentes ocorridos. Este facto conduz a intervenções rápidas e eficazes, potenciando a continuidade de serviço, facto que neste tipo de unidades onde se trabalha ininterruptamente é um factor de grande importância.

Outro aspecto a realçar é o reforço da cooperação entre organizações. Numa solução como o SLV, a manutenção é uma tarefa efectuada em parceria, basicamente entre duas entidades. Por um lado, temos as equipas de manutenção locais à unidade industrial, cuja configuração é variável consoante o país onde o sistema está instalado. Por outro, existe a equipa de suporte Cachapuz. Com a implementação do módulo SLV_EMaint, será conseguida uma maior coordenação de esforços, com melhores resultados globais. Com o módulo de alertas em funcionamento, serão agilizados os processos para lidar com situações críticas. Tendencialmente os problemas serão sempre resolvidos antes de

ocorrerem situações de falha, pois a manutenção condicionada, aliada à monitorização da degradação dos componentes, permitirá uma maior proactividade do sistema.

Conforme foi referido várias vezes ao longo desta dissertação, a ligação entre produção e manutenção é cada vez mais profunda. Não será pois de estranhar que a implementação deste módulo venha trazer um aumento geral da qualidade de serviço e reforce a imagem da unidade industrial perante o mercado.

Outro factor de capital importância é a componente económica. Com a introdução do módulo SLV_MAINT estão criadas as condições para uma potencial redução de custos inerente a paragens forçadas. Principalmente nos tipos de indústria que são o mercado do SLV, com destaque para o sector do cimento, as unidades produtivas caracterizam-se por funcionamentos em regime contínuo, sem nenhuma paragem durante o dia, e durante os 365 dias do ano. Dessa forma, uma paragem forçada é sinónimo de perdas avultadas, tanto em custos directos como indirectos. Com a análise da degradação dos componentes críticos, um eficiente sistema de alertas e com a informação detalhada para permitir uma intervenção eficaz, estão criadas as condições para que não haja interrupções no serviço motivadas por avarias nos componentes.

O SLV é um sistema que está orientado para a exportação. Os seus principais mercados são países em vias de desenvolvimento e onde muitas vezes a qualificação dos técnicos locais não é muito elevada. Desse modo, com a introdução do módulo SLV_MAINT, é adicionado mais um factor diferenciador na internacionalização da solução SLV, pois a solução desenvolvida aumenta o grau de confiança por parte das entidades interessadas na instalação do sistema nas suas unidades produtivas.

5.1 Trabalho futuro

Com base na presente dissertação é possível continuar a investigação e o desenvolvimento da temática do *e-maintenance*, existindo neste domínio um vasto leque de áreas onde é possível fazer desenvolvimentos significativos e introduzir importantes contributos para a consolidação do *e-maintenance* como realidade efectiva no sector industrial. Tanto a comunidade científica como empresas ou grupos de investigação têm inúmeros vectores de orientação onde os seus esforços podem ser concentrados, sendo os exemplos seguintes alguns dos mais prementes.

Ainda não está encontrada uma *Framework* de *e-maintenance* que contenha a formalização da maioria dos conceitos, teorias, modelos, metodologias e ferramentas necessárias à promoção do *e-maintenance* como uma disciplina da engenharia. Isto conduz à dispersão de esforços quando se torna necessário implementar no terreno as mudanças necessárias para romper com práticas de manutenção desactualizadas face às necessidades específicas de cada sector industrial.

Para permitir um maior e mais eficaz suporte às tarefas de monitorização e diagnóstico, tanto ao nível local como remoto, é importante o desenvolvimento de dispositivos e soluções capazes de introduzir “inteligência” no sistema. Dispositivos como sensores, transdutores, *smart tags*, emissores de rádio frequência, e uma vasta panóplia de *hardware* necessitam ser aprimorados de modo a que possam ser incorporados no processo de avaliação do desempenho do sistema e na análise da degradação dos componentes.

A comunicação em tempo real entre os dispositivos de *e-maintenance* no terreno e o respectivo sistema de processamento de informação é fundamental. Nesse campo, importa desenvolver novas técnicas de comunicações sem fios, principalmente ao nível do componente ou micro-sistema. Apesar da tecnologia *wireless* ser hoje em dia uma realidade omnipresente, com grande evidência ao nível das telecomunicações ou da informática, ainda há um longo caminho a percorrer nas soluções de comunicação sem fios ao nível do componente industrial, onde será de grande utilidade obter informações sobre o estado do mesmo, em tempo real, a partir de locais de difícil acesso.

Para garantir o desempenho esperado do sistema, o apoio à decisão na área da manutenção é fundamental. Assim, é importante continuar a desenvolver e a readaptar os novos serviços, tais como e-monitorização, e-diagnóstico, e-prognóstico, e-logística, entre outros. Estes serviços deverão ser capazes de se adaptar constantemente às inovações tecnológicas que vão emergindo gradualmente, trazendo aos responsáveis da organização um conjunto de mais-valias importantes no processo de tomada de decisão.

Para que os vários agentes da mudança nas organizações sejam capazes de utilizar as tecnologias inerentes ao *e-maintenance*, é de extrema importância o desenvolvimento de *standards*. A infra-estrutura da manutenção, nos seus diversos níveis, como sejam os sensores, as comunicações, a interoperabilidade, a segurança, entre outras, necessita de alguma consistência e possibilidade de evolução. Quando a referida infra-estrutura de manutenção é baseada em *standards*, torna-se mais fácil otimizar e tirar partido das diversas potencialidades do sistema.

Finalmente, uma palavra para o SLV, o Sistema Logístico de Viaturas, que tem certamente um longo caminho a percorrer na senda da excelência e da internacionalização. A adição do módulo SLV_EMMAINT, desenvolvido no âmbito desta dissertação, que conferiu ao SLV as características de uma plataforma de *e-maintenance*, capaz de monitorizar degradações de componentes, gerir equipas de trabalho, coordenar processos documentais e logísticos, pode ainda ser amplamente melhorado.

A componente do *hardware* ainda não está devidamente explorada. Falta encontrar no terreno as melhores formas de captar as degradações e de transmitir esses dados aos respectivos centros de processamento. Podem ser desenvolvidas as capacidades ao nível do *Business Intelligence*, com a utilização do histórico de serviços como mais-valia nas previsões de futuros incidentes e formas de os evitar. Por outro lado, existe um vasto leque de áreas onde este módulo pode ser aplicado, além desta aplicação para a indústria cimenteira. Será interessante usar este conceito e fazer a expansão para a gestão de resíduos ou para a pesagem industrial.

6 Referências

- [1] A. C. Marquez and J.N.D. Gupta. "Contemporary maintenance management: process, *Framework* and supporting pillars", in *Omega* 34 (3), 2006, pp. 325–338.
- [2] K. Pinjal, L. Pintelon, A. Vereecke. "An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies", in *International Journal of Production Economics*, in press, available on line February 5, 2005 at <http://www.sciencedirect.com>
- [3] J. Lee and Ni j. "Infotronics-based intelligent maintenance system and its impacts to closed-loop product life cycle systems", invited Keynote Paper, in: *Proceedings of the IMS'2004 International Conference on Intelligent Maintenance Systems*, Arles, France, 15–17 July, 2004.
- [4] CEI IEC50 (191), 1990; and DIN EN 13306 (September 1998).
- [5] Brito, Mário e Eurisko – Estudos, Projectos e Consultoria, S.A. - *Manual Pedagógico PRONACI* (Programa Nacional de Qualificação de Chefias Intermédias Manutenção), Publicação da AEP Março 2003.
- [6] C.O.S.® – CUSTOMER ORIENTED SERVICE for Transmission and Distribution Networks, ABB, *Maintenance Programs*, Germany.
- [7] Muhammed Ucar and Robin G. Qiu. "*E-maintenance* in support of e-automated manufacturing systems", in *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, Vol. 22, No. 1, 2005, pp. 1-5.
- [8] A.C. Marquez, B. lung, A. Muller. "On the concept of the *e-maintenance*: Review and current research" in *Reliability Engineering and System Safety* 93, 2008, pp. 1166-1167
- [9] Tsang A. "Strategic dimensions of maintenance management", in *Journal of Quality in Maintenance Eng.* 2002; 8(1), pp. 7–39.
- [10] Hausladen I. and Bechheim C. "*E-maintenance* platform as a basis for business process integration", in *Proceedings of INDIN04, 2nd IEEE international conference on industrial informatics*, Berlin, Germany, 2004, pp. 46–51.
- [11] Baldwin RC. "*Enabling an E-maintenance infrastructure*", in *CMRP*, Editor Saturday, 01 December 2001
- [12] Moore WJ and Starr AG. "An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities" in *Computer Industry*, 57(6), 2006, pp. 595–606.
- [13] Ibidem, Muhammed Ucar and Robin G. Qiu "*E-maintenance* in support of e-automated manufacturing systems", pp. 5-10.

- [14] Muller A, Suhner M-C, lung B. "Proactive maintenance for industrial system operation based on a formalised prognosis process", in Reliability Engineering and System Safety, 2006.
- [15] Muller A., Suhner M-C and lung B. "Maintenance alternative integration to prognosis process engineering", in Journal of Quality in Maintenance Engineering (JQME), [special issue on "Advanced Monitoring of Systems Degradations and Intelligent Maintenance Management"],13 (2), 2007.
- [16] Han T, Yang B-S. "Development of an *e-maintenance* system integrating advanced techniques", in Computer Industry [special issue on *e-maintenance*], 57 (6) 2006, pp. 569–580.
- [17] Tao B, Ding H., Xion YL. "IP sensor and its distributed networking application in *e-maintenance*", in Proceedings of the 2003 IEEE international conference on systems, man and cybernetics, vol. 4, Washington, DC, USA, 2003, pp. 3858–3863.
- [18] Koc M, Lee J. "A system *Framework* for next-generation *e-maintenance* system", in Proceedings of the second international symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing, Tokyo, Japan, 2001.
- [19] Lee J. "A *Framework* for next-generation *E-maintenance* system" in Proceedings of the second international symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing, Tokyo, Japan, 2001.
- [20] Zhang W., Halang W. and Diedrich C. "An agent-based platform for service integration in *E-maintenance*" in Proceedings of ICIT 2003, IEEE international conference on industrial technology, vol. 1, Maribor, Slovenia, 2003, pp. 426–433.
- [21] Ibidem, A. C. Marquez and J.N.D. Gupta, "Contemporary maintenance management: process, *Framework* and supporting pillars", pp. 313-326.
- [22] lung B. "From remote maintenance to MAS-based *E-maintenance* of an industrial process", in Journal of Intelligent Manufacturing, 14 (1), 2003, pp. 59–82.
- [23] Wang J, Tse P, He LS, Yeung R. "Remote sensing, diagnosis and collaborative maintenance with web-enabled virtual instruments and mini-servers", in The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 24 (9-10), 2004, pp. 764–72.
- [24] Egea-Lopez E, Martinez-Sala A, Vales-Alonso J, Garcia-Haro J, Malgosa-Sanahuja J-M. "Wireless communications deployment in industry: a review of issues, options and technologies", in Computer Industry, 56(1), 2005, pp. 29–53.
- [25] Ramus W. and Neroda J. "E-diagnostics: the value proposition story" in Semiconductor International, 2003.

- [26] Saint-Voirin D., Lang C, Zerhouni N, Guyennet H. "Cooperative systems modelling, example of a cooperative *e-maintenance* system", in Proceedings of CIRA 2005—computational intelligence in robotics and automation, Espoo, Finland, 2005, pp. 439–444.
- [27] Bangemann T., Reboul D, Scymanski J, Thomesse J-P, Zerhouni N. "PROTEUS—An integration platform for distributed maintenance systems", in Computer Industry [special issue on *e-maintenance*], 57(6), 2006, pp.539–551.
- [28] Ong MH, Lee SM, West AA, Harrison R. "Evaluating the use of multimedia tool in remote maintenance of production machinery in the automotive sector", in IEEE conference on robotics, automation and mechatronics, vol. 2, Singapore, 2004, pp. 724–728.
- [29] Zhang W, Halang W, Diedrich C. "An agent-based platform for service integration in *E-maintenance*", in Proceedings of ICIT 2003, IEEE international conference on industrial technology, vol. 1, Maribor, Slovenia, 2003. pp. 426–433.
- [30] Macchi M, Garetti M. "Benchmarking maintenance policies in complex production systems", in Computer Industry [special issue on *e-maintenance*], 57(6), 2006, pp. 581–594.
- [31] A.C. Marquez and B. lung. "A review of *e-maintenance* capabilities and challenges" in Journal of Systemics, 2008.
- [32] Hung M, Chen K, Ho R, Cheng F. "Development of an e-diagnostics/ maintenance *Framework* for semiconductor factories with security considerations", in Advanced Eng Inf., 17(3–4), 2003, pp.165–178.
- [33] Ong MH, Lee SM, West AA and Harrison R. "Evaluating the use of multimedia tool in remote maintenance of production machinery in the automotive sector", in IEEE conference on robotics, automation and mechatronics, vol. 2, Singapore, 2004, pp. 724–728.
- [34] Hamel W. "*E-maintenance* robotics in hazardous environments", in Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, Takamatsu, Japan, 2000.
- [35] Ibidem, A. C. Marquez and J.N.D. Gupta, "Contemporary maintenance management: process, *Framework* and supporting pillars", pp. 313–326.
- [36] Garcia E., Guyennet H., Lapayre J-C. and Zerhouni N. "A new industrial cooperative tele-*maintenance* platform", in Computer Industry Eng., 46(4), 2004, pp. 851–864.
- [37] Goncharenko I. and Kimura F. "Remote maintenance for IM [inverse manufacturing]", in Proceedings of the first international symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing, Tokyo, Japan, 1999, pp. 862–867.
- [38] Lee J. "E-manufacturing: fundamental, tools, and transformation" in Robotics Computer Integr. Manuf. 19(6), 2003, pp. 501–507.

- [39] lung B., Morel G., Léger JB. "Proactive maintenance strategy for harbor crane operation improvement" in *Robotica*, 21(3), 2003, pp.313–324.
- [40] Roemer M, Dzakowic J, Orsagh R, Byington C, Vachtsevanos G. "An overview of selected prognostic technologies with reference to an integrated PHM architecture", in *Proceedings of the IEEE aerospace conference, Big Sky, United States, 2005*.
- [41] Holmberg K., Helle A., Halme J. "Prognostics for industrial machinery availability" in *POHTO 2005 International seminar on maintenance, condition monitoring and diagnostics, Oulu, Finland, 2005*.
- [42] Wohlwend H, et al. "E-diagnostics guidebook: revision 2.1. Technology Transfer" in *SEMATECH Manufacturing Initiative, 2005*.(internet: www.sematech.org)
- [43] Koc- M., Ni J., Lee J., Bandyopadhyay P. "Introduction of e-manufacturing", in *Proceedings of the 31st North American manufacturing research conference (NAMRC), Hamilton, Canada, 2003*.
- [44] Li Y, Chun L, Nee A, Ching Y. "An agent-based platform for webenabled equipment predictive maintenance", in *Proceedings of IAT'05 IEEE/WIC/ACM international conference on intelligent agent technology, Compiègne, France, 2005*.
- [45] Yam R, Tse P, Li L, Tu P. "Intelligent predictive decision support system for condition-based maintenance", in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, 2001, pp.383–391.
- [46] Léger J-B, Morel G. "Integration of maintenance in the enterprise: towards an enterprise modelling-based *Framework* compliant with proactive maintenance strategy", in *Production Planning Control*, vol. 12(2), 2001, pp. 176–187.
- [47] Lee J. "E-manufacturing: fundamental, tools, and transformation", in *Robotics Computer Integr Manuf*, vol. 19(6), 2006, pp.501–507.
- [48] Emmanouilidis C., Jantunen E., MacIntyre J. "Flexible *software* for condition monitoring, incorporating novelty detection and diagnostics", in *Compute Industry*, 57(6), 2006, pp. 516–527.
- [49] Rasovska I, Chebel-Morello B., Zerhouni N. "Process of s-maintenance: decision support system for maintenance intervention", in *Proceedings of the 10th IEEE conference on emerging technologies and factory automation, vol. 2, Catania, Italy, 2000*, pp. 679–686.
- [50] Bengtsson M. "Condition based maintenance system technology— where is development heading?", in *Proceedings of the 17th European maintenance congress Euromaintenance 2004, Barcelona, Spain, 2004*.
- [52] Mike DiUlio, Brian F., Chris Savage, Ken Krooner. "Revolutionizing Maintenance Through Remote Monitoring via ICAS & Distance Support" in *Naval sea systems command (NAVSEA), USA*.

- [53] Michael DiUlio, Chris Savage, Brian Finley, Eric Schneider. "Taking the Integrated Condition Assessment System to the Year 2010", presented at the Thirteenth International Ship Control Systems Symposium (SCSS) in Orlando, Florida, 2003.
- [54] E. Levrat and B. Iung. "TELMA: A full *e-maintenance* platform" in Centre de Recherche en Automatique de Nancy Université (UMR 7039), France, 2007.
- [55] Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I., *The Unified Modeling Language User Guide*, Reading, MA Addison-Wesley Longman, 1999.
- [56] Doumeingts, G., Y. Ducq, B. Vallespir, et S. Kleinhans. "Production management and enterprise modeling" in *Computers in Industry*, Vol. 42, 2000, pp.245-263.
- [57] Byington, C.S., Roemer and M.J., & Galie, T. "Prognostic Enhancements to Diagnostic Systems for Improved Condition-Based Maintenance", in *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 2002.
- [58] Lebold, M. and M. Thurston. "Open *Standards* for Condition-Based Maintenance and Prognostic Systems", in *Proceedings of MARCON 2001-5th Annual Maintenance and Reliability Conference*, Gatlinburg, USA, 2001.
- [59] Farrar, C.R., & Lieven, N.A.J. "Damage prognosis: the future of structural health monitoring", in *Philosophical transactions of the Royal Society A*, n°365, 2007, pp. 623—632.
- [60] Marcus Bengtsson. "Condition based maintenance systems – an investigation of technical constituents and organizational aspects". Licentiate Thesis, Mälardalen University Press (Department of Innovation, Design, and Product Development), September, 2004.
- [61] Muhamed Ucar and Robin G Qiu. "*E-MAINTENANCE* in support of E-automated Systems" in *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, Vol. 22 (1), 2005, pp. 1-10.
- [62] Victor Prochnik, Adriana Perez, Carla Maria de Souza e Silva, *A globalização na indústria do cimento*, 1998.
- [63] Thomas B., Xavier R., , Denis R., , Andreas S., Jacek S., Jean-Pierre T., Mario T., and Nouredine Z. "PROTEUS—Creating distributed maintenance systems through an integration platform" in *Computers in Industry*, Volume 57 (6), 2006.
- [64] Ahmed Rasool, "SAP Mill Industry – Overview, Vision and Strategy" in *Industry Principal – Process Industry*, SEME.
Internet: www.sap.com/westbalkans/company/events/worldtour08/pdf/P1/Ahmed_Rasool_Mill_Products.pdf, Nov, 20, 2008.
- [65] Williams T. J., *The Purdue Enterprise Reference Architecture – A technical guide for CIOM planning and implementation*, ISA, Research Triangle Park, NC-USA, 1992.
- [66] Thomas R. Pomorski, "*Principal Consulting Engineer, Brooks Automation, Inc.*" in *Total Productive Maintenance (TPM), Concepts and Literature Review*, 2004.

