

SITEM - SISTEMA INTEGRADO DE ENGENHARIA E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

EDUARDO LOPES BARATA

ALSTOM Portugal, S.A., Av. Columbano Bordalo Pinheiro, 108, 5º. Piso, 1070-067 Lisboa – www.alstom.com
eduardo.lobes-barata@crn.alstom.com

ABSTRACT: The aim of this paper is to divulge the final results of the “Projecto Mobilizador SITEM - SISTEMA INTEGRADO DE ENGENHARIA E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS”, which was created to develop a set of methodologies and computing tools for supporting management systems and plant improvements. Such methodologies were oriented to improve the performance of the Maintenance Managers, since it was well known that the Portuguese Maintenance Departments had a very small participation from the phases of conception to the implementation of the industrial projects. The “Projecto SITEM” was developed by an industrial consortium formed by ALSTOM PORTUGAL, S.A., CELBI-CELULOSE BEIRA INDUSTRIAL, S.A., EDP-GESTÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA, S.A., FEUP-FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, ISQ- INSTITUTO DE SOLDADURA E QUALIDADE and PORTUCEL-EMPRESA PRODUTORA DE PASTA E PAPEL, S.A.

Keywords: Industrial Maintenance, Maintenance Management, Reliability, Safety, RCM, RAMS, TPM, FMECA, Maintenance Software, ANIM, APIM, INES III, FADLU, FATVEN

RESUMO: Esta apresentação tem como objectivo a divulgação dos resultados finais do Projecto Mobilizador SITEM – SISTEMA INTEGRADO DE ENGENHARIA E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, o qual visava desenvolver um conjunto de metodologias e ferramentas informáticas de apoio à decisão, tendo em vista a melhoria do desempenho dos Gestores de Manutenção em face da constatação do pouco envolvimento dos Sectores de Manutenção nas fases de concepção e implementação dos projectos industriais. O Projecto SITEM era constituído por um Consórcio, integrando a ALSTOM PORTUGAL, S.A. a CELBI - CELULOSE BEIRA INDUSTRIAL, S.A., a EDP - GESTÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA, S.A., a FEUP - FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, o ISQ - INSTITUTO DE SOLDADURA E QUALIDADE e a PORTUCEL - EMPRESA PRODUTORA DE PASTA E PAPEL, S.A.

Palavras chave: Fiabilidade, RAMS, Segurança, Indicadores de Desempenho, Apoio à Decisão, Acções de Melhoria, Software de Manutenção, ANIM, APIM, INES III, FADLU, FATVEN.

1. INTRODUÇÃO

O SITEM - SISTEMA INTEGRADO DE ENGENHARIA E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS foi um Projecto Mobilizador apoiado pelo PRIME- PROGRAMA DE INCENTIVOS À MODERNIZAÇÃO DA ECONOMIA, Medida 3.1A – Projectos Mobilizadores para o Desenvolvimento Tecnológico e foi organizado em torno de um Consórcio, constituído pela ALSTOM Portugal (Promotor Líder), CELBI- Celulose Beira Industrial, EDP-Gestão da Produção de Energia, FEUP- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, ISQ- Instituto de Soldadura e Qualidade e PORTUCEL- Empresa Produtor de Pasta e Papel, S.A. O Projecto foi aprovado tendo início em Novembro de 2003, com uma duração de 40 meses e um investimento de mais de três milhões de euros.

O objectivo global do Projecto consistia no desenvolvimento de um conjunto de metodologias e sistemas de engenharia e gestão da manutenção para o estudo e implementação de melhorias técnicas, utilizando processos avançados de

análise e tratamento de dados a partir de sistemas de monitorização dos equipamentos dinâmicos mais críticos das instalações industriais. O carácter inovador do projecto pode-se induzir de diversas vertentes:

- Optimização dos intervalos de tempo entre paragens das instalações industriais.
- Afinação e ajustamento das actividades e tarefas inerentes às inspecções e acções de vigilância em componentes e áreas industriais relevantes.
- Manutenções consequentes e previsíveis em componentes ou zonas mais críticas.
- Avaliação de factores de análise de custo/benefício, valorizando o impacto ambiental, a análise de risco e a segurança dos equipamentos.
- Implementação de metodologias multi-critério.
- Utilização de ferramentas de apoio à decisão.

A implementação destes factores e modelos inovadores nas unidades industriais parceiras no projecto, bem como a sua validação ao longo do período de implementação e ensaio de componentes previamente seleccionados, permitiu a obtenção de uma ferramenta de gestão de manutenção

possível de disseminar em unidades industriais, que não pertençam ao consórcio.

O interesse na aplicação das metodologias da Investigação Operacional à Manutenção, assim como a aplicação de Tecnologias de Informação mais adaptadas às reais necessidades de gestão dos sistemas, permitiu o desenvolvimento de novos conceitos e metodologias de manutenção e afirmar a importância desta actividade no seio das empresas, considerando, que as estratégias de manutenção estão em evolução permanente, que se procura acompanhar a evolução tecnológica dos equipamentos e, que se devem integrar nos modernos conceitos de gestão global das empresas.

2. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJECTO

O Projecto foi estruturado em quatro Sub-Projectos, identificados por PPS- Processo Produto ou Sistema, cabendo a cada um Actividades e Tarefas específicas, que se apresentam em seguida: PPS 1- Gestão Técnica, Administrativa e Financeira do Projecto; PPS 2- Desenvolvimento e Implementação de Técnicas e Ferramentas de Gestão da Manutenção; PPS 3 - Desenvolvimento de um Sistema de Gestão da Manutenção baseado em Indicadores de Desempenho; PPS 4- Desenvolvimento e Implementação de Soluções de Melhoria e/ou Revitalização de Equipamentos - “Case Studies”.

2.1. PPS 1- Gestão Técnica, Administrativa e Financeira do Projecto

Os objectivos corresponderam ao desenvolvimento e implementação de acções de organização e coordenação do Consórcio, para cumprimento dos compromissos contratuais e de desenvolvimento técnico, tecnológico e científico do projecto face às metas estabelecidas.

As actividades definidas para uma execução das metas foram: a) Organização e Coordenação Global; b) Gestão Técnica Global; c) Gestão Administrativa e Financeira Global; d) Gestão Técnica da Actividade por Co-Promotores; e) Gestão Administrativa e Financeira por Co-Promotor; f) Divulgação do Projecto; g) Protecção dos Direitos de Propriedade Industrial dos Produtos, Processos ou Sistemas Desenvolvidos.

2.2. PPS 2 - Desenvolvimento e Implementação de Técnicas e Ferramentas de Gestão da Manutenção

O objectivo fundamental baseou-se na criação de condições, que permitissem à Manutenção das Empresas Parceiras, um envolvimento activo no projecto de novas instalações e equipamentos, desde a fase inicial de concepção, durante a vida, até ao fim do equipamento.

A metodologia adoptada foi inserida no desenvolvimento e Implementação de Técnicas e Ferramentas de Gestão da Manutenção para aplicação nas Instalações e Equipamentos, suportadas em aplicações informáticas do tipo APIM- Apoio e Orientação da Intervenção da Manutenção a articular com a aplicação ANIM desenvolvida no PPS 3, para a permuta de dados.

As actividades decorrentes deste Sub-Projecto foram: a) Produção do Software corresponde ao Módulo APIM; b) Especificação de equipamentos considerando os níveis de

disponibilidade, fiabilidade, manutenibilidade e custos de ciclo de vida pretendidos; c) Estabelecimento de requisitos dos “layouts”, tendo em conta as acessibilidades para as operações de manutenção dos equipamentos; d) Desenvolvimento dos planos de Manutenção Preventiva Sistemática e Preditiva, de modo a permitir a sua implementação desde a fase de arranque dos equipamentos, apoiando-se no contexto operacional em que estão inseridos os equipamentos, na análise das suas funções, nos seus modos de falha, e na experiência dos agentes de manutenção e, pela análise dos indicadores de desempenho; e) Desenvolvimento de Planos de Especialização dos Técnicos de Manutenção; f) Estudo comparativo dos Modelos de Organização da Função Manutenção, para apoio à selecção e decisão dos modelos mais adequados a cada situação concreta e crítica.

2.3. PPS 3- Desenvolvimento de um Sistema de Gestão da Manutenção baseado em Indicadores de Desempenho

O objectivo previsto foi o de incentivar e apoiar os Gestores da Manutenção a utilizarem um conjunto de ferramentas inovadoras de apoio à Gestão da Manutenção, de modo a que a metodologia a aplicar, permitisse a selecção, recolha e tratamento dos dados relevantes.

O desenvolvimento do novo sistema apoiou-se num Sistema de Gestão da Manutenção baseado em Indicadores de Desempenho e de acordo com as melhores práticas conhecidas, sendo suportado por uma aplicação informática, ANIM- Apoio à Análise e Selecção de Indicadores do Desempenho, da Gestão da Manutenção. Esta aplicação informática articula-se com a aplicação APIM desenvolvida no PPS 2, para a permuta de dados.

As actividades decorrentes deste objectivo foram:

- Produção do Software correspondente ao Módulo ANIM.
- Levantamento dos sistemas de organização da Gestão da manutenção dos Co- Promotores, e identificação e selecção dos equipamentos críticos, com vista à implementação de Indicadores de Desempenho.
- Implementação de Indicadores de Desempenho para os equipamentos, que permitissem a análise da evolução do tempo de imobilização, “downtime”, por problemas de manutenção, bem como dos índices de produção.
- Implementação de Indicadores de Desempenho para os modelos de Manutenção Preventiva Sistemática e Preditiva, para avaliação dos tempos de imobilização, “downtime”, devido a avarias, horas/homem utilizados em reparações e custos de manutenção, antes e após a manutenção Preditiva.
- Implementação de Indicadores de desempenho para a metodologia “RCM – Reliability-Centered Maintenance”[1] relacionando falhas em equipamentos sujeitos a “Root Cause Analysis” e falhas repetitivas.
- Implementação de Indicadores de Desempenho para a Gestão de “Stocks” e Aprovisionamentos, para análise da evolução de requisições/compras, rotação e total de “stocks”.
- Implementação de Indicadores de Desempenho para os Sistemas de Melhoria Contínua, referenciados aos equipamentos críticos no universo em estudo.

- Implementação de Indicadores da Avaliação da Satisfação dos Clientes Internos (Produção) e Tratamento das Reclamações para avaliação do número de reclamações e da evolução do tempo médio consumido para a sua satisfação.
- Desenvolvimento de Metodologias de Avaliação e caracterização da Eficácia das Funções Produtiva (Produção, Manutenção, Qualidade) “TPM- Total Productive Maintenance” [2] utilizando indicadores da produção/produto e do nível de desempenho das Instalações Industriais., para definição das acções de melhoria.

2.4. PPS 4- Desenvolvimento e Implementação de Soluções de Melhoria e/ou Revitalização de Equipamentos -“Case Studies”

Os objectivos definidos neste Sub-Projecto inserem-se no desenvolvimento da Aplicação da Engenharia da Manutenção, em particular o “software” INES III a ser organizado em quatro módulos específicos e, no estudo de soluções de melhoria e/ou revitalização dos equipamentos.

As actividades decorrentes dos objectivos referidos correspondem aos seguintes aspectos:

- Desenvolvimento do “software” INES III em sistema operativo Microsoft Windows 95/98/2000, NT e Me, permitindo tratar um mesmo caso e permutar dados entre si. As capacidades respeitam as Normas existentes: Portuguesas, Comunidade Europeia e “Military Standards” (MIL-HDBK – 338B [3], MIL-HDBK-127 [4], US-MIL-STD-756USA [5] e IEC1025 [6]).
- Desenvolvimento dos módulos do INES III respeitando à sua execução e utilização: a) Módulo I – Análise estatística de dados; b) Módulo II – Optimização da Manutenção; c) Módulo III – Periodicidade de manutenção preventiva em função do custo de produção degradada; d) Módulo IV – Nível de reposição de peças de reserva; e) Módulo V – Viabilidade económica de posse de um sobressalente; f) Módulo VI – Política preventiva óptima com base no tempo de calendário.
- Desenvolvimento de um “Módulo de Cálculo de Degradação por Fadiga e Fluência”, tomando como referência as Normas Europeias Harmonizadas [7], desenvolvidas pelo CEN, no âmbito da Directiva Comunitária, N° 97/23/CE – Equipamentos sobressalente (Decreto – Lei 211/99 de 14 de Junho) [8]. Estas Normas Harmonizadas são as únicas que são reconhecidas pela Directiva no espaço comunitário.
- Desenvolvimento de Soluções, de Melhoria ou Revitalização em casos de estudo seleccionados para o efeito pelo Co-Promotores, utilizando-se processos avançados de análise.
- Desenvolvimento e Implantação de Sistemas de Monitorização, “on-line” e “off-line” de equipamentos dinâmicos em casos de estudo a seleccionar pelos Co-Promotores.

3. PRODUTOS DESENVOLVIDOS

3.1. Principais equipamentos/instalações analisados e avaliados através de metodologias desenvolvidas, no âmbito do Projecto SITEM

3.1.1. Parque de Madeira da Fábrica de Pasta da PORTUCEL, Setúbal

O Parque de Madeiras é o ponto de partida do processo de transformação da madeira em pasta de papel e, pelas suas características, representa um local onde a função manutenção e a segurança, assumem especial importância, pois uma manutenção mal estruturada irá inevitavelmente conduzir a falhas nos equipamentos, o que terá reflexos numa perda produtiva e de qualidade e, eventualmente, numa diminuição dos níveis de segurança.

O estudo foi feito, aplicando uma metodologia desenvolvida no âmbito do Projecto, procedendo-se, numa fase inicial, à divisão do Parque de Madeiras em: sistemas; subsistemas; conjuntos; subconjuntos e, finalmente, em componentes. Foi feito o estudo ao nível dos conjuntos, com a selecção dos mais críticos e, que por essa razão, mereceram um estudo mais detalhado. Para os seleccionar, foi realizada uma avaliação da Criticidade Global de todos os conjuntos, considerando a Segurança e a Fiabilidade/Custos de Manutenção.

Deste modo, foi possível identificar os conjuntos que representam um nível de criticidade mais elevado, para um estudo mais detalhado pela aplicação das técnicas de análise dedutivas (*FMECA- Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) [9] e indutivas (*Árvore de Falhas e Árvore de Eventos*) [10], descritas nas Metodologias de Análise de Equipamentos, que foram desenvolvidas no âmbito do Projecto.

A identificação dos conjuntos mais críticos foi fundamental para a selecção do tipo de manutenção a realizar, onde e com que frequência, de modo a permitir organizar e planear melhor a manutenção, reduzindo os atrasos e aumentando a produtividade.

No estudo foram desenvolvidas as seguintes fases:

Fase 1: Descrição e Divisão do Parque de Madeiras: Sistema 1- Parque de aparas; Sistema 2- Preparação de madeiras; Sistema 3- Armazenagem e transporte de casca e serrim.

Fase 2: Implementação da Metodologia para Avaliação da Criticidade Global de modo a identificar os conjuntos críticos.

A implementação da Metodologia para Avaliação da Criticidade Global de modo a identificar os conjuntos críticos no Parque de Madeira da Fábrica de Pasta da PORTUCEL em Setúbal, iniciou-se pela Avaliação da Segurança, obtendo-se os valores de Criticidade Global para cada conjunto, seguindo a metodologia de avaliação dos Indicadores de Segurança e Fiabilidade/Custos de Manutenção.

Fase 2.1: Avaliação da Segurança

A avaliação da segurança consistiu na *identificação dos perigos* e na *avaliação do risco* associado. A identificação dos perigos foi feita pela técnica *HAZOP- Hazard and*

Operability [11], amplamente utilizada e com resultados comprovados e, permitiu a identificação sistemática dos perigos dos potenciais, ao nível de todos os subsistemas do Parque de Madeiras.

A avaliação do risco usou a técnica *RERAR- Rapid Environmental Checklist* [12] para quantificar a *Probabilidade* e a *Severidade* dos perigos identificados pela análise *HAZOP*, obtendo-se um valor do Risco Total Avaliado (RTA) dado pela expressão (1):

$$\text{RTA} = \text{Probabilidade} \times \text{Severidade} \quad (1)$$

A técnica *RERAC* [13] define as escalas da Probabilidade e Severidade, sendo a Probabilidade definida pela categoria do evento perigoso: 1) Contacto com objectos e equipamentos. 2) Quedas. 3) Exposição a substâncias ou ambientes danosos. 4) Incidentes no transporte. 5) Fogos e explosões. 6) Assaltos e actos violentos. 7) Outros não relatados.

A Severidade é definida numa escala de 5 a 1: Crítico, Importante, Significativo, Marginal e Insignificante.

A avaliação da Fiabilidade/Custos de Manutenção foi realizada com base nos “Critérios de Criticidade dos equipamentos e análise de Custos de Manutenção e Fiabilidade” [14] e das “Escalas de Criticidade da PORTUCEL” [15]. Calculou-se, para cada local o produto do número de intervenções por ano (aspecto fiabilístico) pelo custo de manutenção por ano (aspecto financeiro).

A avaliação da Criticidade Global, realizada ao nível do Parque de Madeiras foi calculada pela média dos dois aspectos considerados: Segurança e Custo/Fiabilidade. O valor da Criticidade Global, que varia entre 0 e 5, é dada pela fórmula seguinte expressão (2):

$$\text{Criticidade Global} = \frac{\text{Segurança} + \text{Custo/Fiabilidade}}{2} \quad (2)$$

Fase 22: Selecção dos Indicadores de Segurança e de Manutenção

- Os Indicadores de Segurança considerados foram: a) Probabilidade; b) Taxa Total de Incidência (TTI); c) Taxa de Severidade (TS); d) Custo de Incidência (CI).
- Os Indicadores de Manutenção considerados foram: a) Indicadores de Actividade; b) Indicadores de Eficácia; c) Indicadores Financeiros.

O estudo desenvolvido para o Parque de Madeiras da PORTUCEL permitiu obter os seguintes resultados:

1. A identificação dos Conjuntos do Parque de Madeiras, que apresentavam um nível mais elevado de Criticidade Global, deveriam ser alvo de um estudo mais detalhado para a minimizar.
2. A avaliação da Segurança verificou que, o RTA para alguns Equipamentos se situava na Categoria 1, pelo que deveriam ser tomadas medidas para reduzir os valores RTA e enquadrar na Categoria 2.
3. O estudo das famílias de equipamentos identificou duas, os motores eléctricos e os redutores, que deveriam ser alvo de um estudo mais aprofundado.

3.1.2 *Electrofiltros das Caldeiras de Recuperação das Fábricas de Pasta de Papel da PORTUCEL, Setúbal e da CELBI, Figueira da Foz*

Os electrofiltros são equipamentos, que permitem a captação de partículas sólidas produzidas pela combustão. No caso das indústrias de produção de pasta de papel, os electrofiltros utilizados são denominados de “secos”, porque as partículas são retiradas por um processo mecânico designado por batimento. O princípio de funcionamento recorre à utilização de forças electrostáticas para separar as partículas dos gases da combustão das caldeiras de recuperação, utilizando a capacidade, que todas as partículas têm de poderem ser carregadas positiva ou negativamente. Uma vez carregadas negativamente, é possível captura-las por corpos carregados positivamente.

O funcionamento de um electrofiltro, compreende três estágios: 1- Ionização; 2- Captura de Partículas; 3- Remoção de Partículas. Estes electrofiltros apresentam uma eficiência de captura da ordem dos 99% contribuindo muito para a preservação do ambiente.

Os electrofiltros estudados foram sujeitos a uma análise utilizando a metodologia desenvolvida no Projecto, com base nos pressupostos *RAMS- Reliability, Availability, Maintainability and Safety* [16] e teve como objectivos identificar os sistemas e os componentes críticos e definir o tipo de manutenção a realizar, onde e com que frequência, de modo a permitir planear a manutenção. Este processo permitiu contribuir para a redução dos atrasos de intervenção da manutenção e para aumentar a produtividade da empresa, onde esses equipamentos se encontravam instalados.

O estudo dos electrofiltros das Caldeiras de Recuperação das Fábricas de Pasta de Papel da PORTUCEL, Setúbal e da CELBI, Figueira da Foz tiveram um desenvolvimento de acordo com as seguintes fases:

1. Definição do sistema a analisar
Análise das fronteiras de análise e reunião de toda a informação relativa ao sistema para conhecimento do seu contexto operativo, das suas funções, dos seus componentes e das suas ligações funcionais.
2. Descrição funcional do sistema
Definição da função e operação do sistema identificando a função de cada subconjunto e as ligações funcionais entre eles.
3. Divisão do sistema
Identificação das diferentes funções dos componentes em estudo, bem como das ligações funcionais entre eles e dos diferentes subconjuntos a que pertencem. É necessário dividir o sistema em elementos mais simples, para que seja possível a sua análise por parte da manutenção.
4. Diagrama funcional do sistema
Desenho dos blocos funcionais, que mostram graficamente a relação entre os diferentes subsistemas do sistema.
5. Conceito de avaria
Definição de avaria como resultado de um ou vários acontecimentos, que colocam um e os outros constituintes de um sistema (subsistemas, conjuntos, subconjuntos e componentes), num estado em que não é possível executar uma dada função com o nível de desempenho requerido.
6. Análise *HAZOP- Hazard and Operability* [11]
Cálculo da Criticidade e do estado do sistema para identificação do equipamento crítico e selecção dos

sistemas para aplicação do *FMECA - Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* [9]. A análise HAZOP permitiu estabelecer os potenciais riscos provenientes das avarias e funcionamento incorrecto dos componentes dos equipamentos, bem como das conseqüências daí provenientes;

7. Critérios de severidade, ocorrência e detectibilidade para um sistema

Definição dos critérios de Severidade, Ocorrência e Detectibilidade segundo a seguinte ordem: a) Severidade- gravidade do efeito do modo de avaria no nível superior do conjunto, no sistema ou no operador; b) Ocorrência- probabilidade da avaria, que representa o número de avarias do item; c) Detectibilidade- capacidade de identificar possíveis avarias antes desta ocorrerem.

Foram consideradas os seguintes aspectos: a) Severidade- o tipo de falha provocado no electrofiltro está a operar sem avarias e conseqüentemente está a cumprir a legislação de emissões; b) Ocorrência- a taxa de avarias reflecte a frequência com que os diferentes componentes deixem de operar; c) Detectibilidade- a capacidade de detecção da avaria por parte do controlo da máquina e/ou do operador. Foram considerados dois níveis, visto que apenas existem sistemas de alarme e não de diagnóstico.

8. Realização do FMECA

Procedimento utilizado segundo o princípio de passo a passo para avaliação sistemática da severidade de uma falha potencial do sistema e para a classificação de falha potencial, de acordo com a severidade e a probabilidade de ocorrência. Foram identificados os componentes em que era necessário proceder a alterações de projecto, de operação ou de estratégia de manutenção para reduzir a severidade do efeito do modo de falha específico.

A classificação da criticidade dos equipamentos efectuou-se através do cálculo do *RNP- Rank Priority Number* [17] definido pela operação (*ocorrência x severidade x detectibilidade*), procurando-se realçar a importância da detectibilidade para o cálculo da criticidade e permitir aplicar a metodologia *RCM- Reabilit- Centred Maintenance* [18].

9. Árvores de falhas (FTA)

Aplicação da técnica gráfica da árvore de falha (*FTA - Fault Tree Analysis*) [19] para fornecer uma descrição sistemática da combinação de modo de falha do equipamento e/ou de falha humana que conduzisse a um modo particular de falha do sistema. O modo de falha particular do sistema é designado por “acontecimento principal”, por poder ser um acontecimento com conseqüências mais severas. Este resulta dos acontecimentos do nível imediatamente inferior, e que por sua vez resultam dos acontecimentos do nível imediatamente inferior e assim sucessivamente, até serem identificados os denominados de “acontecimentos de base”, que são acontecimentos independentes uns dos outros e com probabilidade conhecida.

10. Matriz de Criticidade

Realização da matriz de criticidade inserida no contexto da segurança e análise de risco, por a segurança ser ausência de risco não aceitável. A

gestão da segurança visou reduzir ou eliminar os factores de risco de acidentes, que pudessem causar danos a pessoas e bens, sendo a segurança, uma característica do equipamento, devendo ser possível medir durante as fases do programa de ciclo de vida do equipamento.

Os conceitos técnicos de segurança foram baseados no conhecimento do conjunto de situações potencialmente perigosas do sistema e das características de cada situação perigosa em termos de frequência e gravidade das suas conseqüências;

11. RCM e Planeamento da Manutenção

Aplicação da metodologia RCM para determinar os requisitos da manutenção de cada bem físico no seu contexto operativo e, por definição de manutenção.

Pode ser completada a metodologia através de um processo, que assegure, que qualquer bem físico continue a desempenhar a função requerida no seu actual contexto operativo.

A análise dos electrofiltros levou à construção de um diagrama de decisão RCM, considerando os critérios que foram estabelecidos.

A aplicação desta metodologia de análise aos electrofiltros, permitiu seleccionar de uma forma estruturada e objectiva, os subsistemas críticos (subsistemas de risco “intolerável”), que requeriam especial cuidado no acto da compra de electrofiltros, bem como, a definição das tarefas de manutenção calendarizada mais adequadas, por forma a evitar as avarias destes equipamentos.

A avaliação aos dois electrofiltros, um da PORTUCEL e outro da CELBI, aplicando a mesma metodologia de análise, permitiu comparar e verificar quais os componentes e subconjuntos diferentes dos electrofiltros de cada uma das empresas, utilizados em sistemas semelhantes, e qual a implicação destes nas taxas de avarias dos sistemas em que se inseriam.

Foi determinado, qual dos electrofiltros apresentava uma taxa de avarias mais elevada e quais os subsistemas, que mais contribuíam para essa taxa de avarias. Além destes aspectos foi possível comparar os modos de falha críticos para componentes semelhantes (electrofiltros) e a respectiva frequência das tarefas de manutenção propostas.

3.1.3. Outras instalações avaliadas

- CELBI- Cortadeira instalada no fim de linha da formação da folha de pasta seca, antes da embalagem.
- ALSTOM - Instalação de alhetagem de tubos em componentes tubulares de caldeiras de recuperação para centrais térmicas de ciclo combinado.

3.2. Aplicação APIM – Apoio e Orientação da Intervenção da Manutenção

A aplicação APIM (Fig. 1) teve como objectivo a criação de condições, que permitissem à Manutenção das Empresas um envolvimento activo no projecto de novas instalações e equipamentos e, se mantivessem enquadradas ao longo da vida do equipamento.

Assim, foram considerados os parâmetros mais relevantes da filosofia “*RAMS- Reliability, Availability, Maintainability and Safety*”, não só relativamente aos equipamentos, aos

“lay-outs” da instalação, ao desenvolvimento de Planos de Manutenção Preventiva Sistemática e/ou Condicionada, à formação adequada de Técnicos de Manutenção e ao estabelecimento de Metodologias de Organização da Manutenção.

O “Software” APIM é um manual para a definição de requisitos de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança de um equipamento de produção e funciona como um guia para a elaboração de consultas aos fornecedores de equipamentos, constituindo um quadro de referência, para avaliação e decisão, de acordo com a metodologia RAMS. Essa avaliação foi realizada tendo em conta todas as fases do ciclo de vida de um sistema, de acordo com a Norma NP EN 50126:2000 [20].

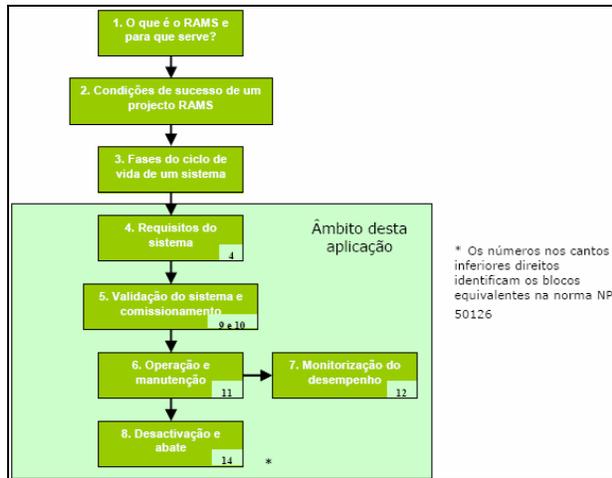


Fig. 1. APIM- Estrutura, 1.º Nível.

A aplicação informática APIM foi desenvolvida numa lógica de interacção com o utilizador numa forma de “e-book”, servindo de “guide line” para o utilizador, de modo que este percorra todos os pontos objecto de análise e possa tomar decisões sobre as alternativas em confronto.

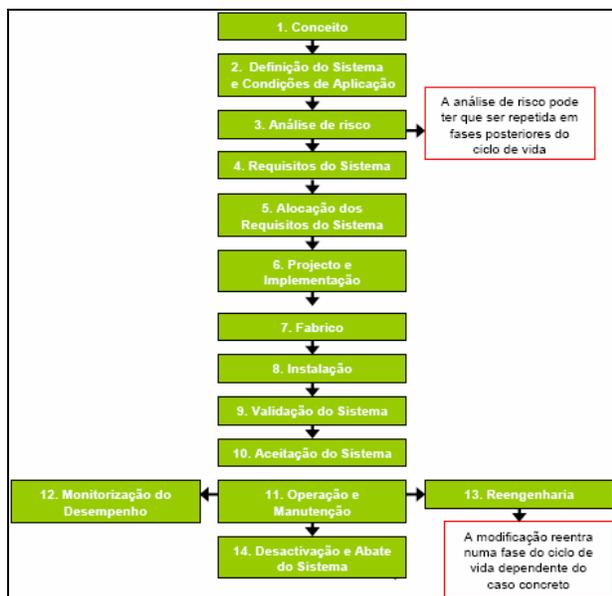


Fig. 2. APIM- Fases do Ciclo de Vida de um Sistema, segundo a Norma EN 50 126.

3.3. Aplicação ANIM- Apoio à Análise e Selecção de Indicadores de Desempenho, da Gestão e da Manutenção

A aplicação informática ANIM (Fig. 3) teve como objectivo monitorar o desempenho de um equipamento através da definição de objectivos e da sua avaliação, através de indicadores, seguindo os quatro eixos estratégicos do “Balanced-Score Card”: 1) Desenvolvimento Organizacional; 2) Processos Internos; 3) Satisfação Cliente; 4) Resultados Financeiros. De uma forma suscita, o modo de funcionamento do programa é o seguinte:

1. Na entrada, o utilizador é confrontado com uma estrutura fixa de objectivos, estruturados a 1.º nível segundo 4 eixos: i) melhorar a disponibilidade operacional; ii) melhorar a previsibilidade; iii) melhorar a segurança; iv) melhorar a eficiência. Cada um destes eixos desdobra-se, por sua vez, até mais dois níveis em vários sub-objectivos. O utilizador poderá optar pelos objectivos, que considere pertinentes para cada equipamento em concreto e, ignorar os restantes.
2. O utilizador selecciona os indicadores (métricas- Fig. 3), que considere mais adequados, para medir ou descrever cada objectivo, a partir de alguns dos sugeridos. Pode, no entanto, optar por outros e cria-los.
3. O utilizador atribui pesos aos objectivos em cada nível da hierarquia. Para apoio, pode recorrer a uma matriz auxiliar, a qual lhe permite comparar os vários critérios existentes em cada nível de hierarquia (módulo auxiliar). Este método permite-lhe minimizar o grau de subjectividade que aquele procedimento sempre encerra.
4. O utilizador constrói seguidamente as curvas, que melhor traduzem as relações, métrica-mérito através de um método gráfico, o qual passa pela fixação de forma iterativa das coordenadas de quatro pontos. A curva de melhor ajustamento, uma polinomial de terceiro grau, é construída automaticamente. As abcissas descrevem os valores possíveis por cada métrica e as ordenadas descrevem, numa escala de 0 a 10, o mérito ou a preferência. O valor 0 representa o valor mínimo, e o valor 10 o nível máximo. Este último valor constitui a “fasquia”, que se pretende alcançar, a curto prazo, sendo incrementado logo que se revele trivial. Esta prática pretende influenciar o comportamento dos gestores da manutenção no sentido de perseguirem permanentemente objectivos cada vez mais ambiciosos.

5. O utilizador introduz o valor de cada métrica obtida em cada período de controlo e o valor correspondente de mérito introduzido automaticamente na hierarquia. Estes valores de mérito (na escala de 0 a 10) são depois ponderados automaticamente pelos pesos atribuídos aos vários sub-objectivos no sentido ascendente da hierarquia e resultam finalmente num valor de mérito global naquele período de controlo.

É de salientar, que os procedimentos descritos de até ao ponto 4, são realizados pontualmente, porque os resultados se mantém estáveis durante algum tempo. Só o procedimento descrito no ponto 5, será realizado regularmente, no fim de cada período de controlo.

Após a constatação de que o mérito global poderia ser melhor, interessa responder à questão: por onde começar? É para responder a esta questão que foi desenvolvido um

algoritmo para análise da sensibilidade do mérito global a melhorias percentuais de qualquer um dos 24 objectivos fixados.

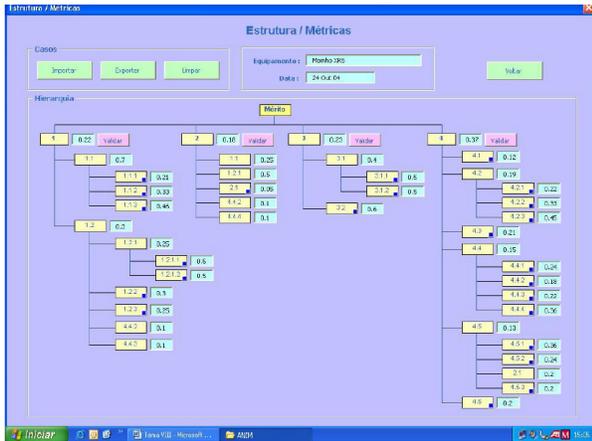


Fig. 3. ANIM- Ecrã, Estrutura/Métricas.

3.4. Aplicação INES III

A aplicação informática INÊS III (Fig.s 4-7) foi construída em diversos módulos: Análise estatística de dados; Optimização da Manutenção; Periodicidade de manutenção preventiva em função do custo de produção degradada; Nível de reposição de peças de reserva; Viabilidade económica de um sobressalente; Política preventiva óptima com base no tempo de calendário.

3.4.1. Módulo I- Análise Estatística de Dados

O Módulo I, intitulado de Análise Estatística de Dados (Fig. 4), teve como objectivo o tratamento estatístico dos elementos recolhidos em série de observações de um determinado acontecimento. As suas principais funcionalidade são as seguintes: 1) Cálculo das principais variáveis estatísticas (medidas de concentração, de variação, de forma e intervalo de confiança); 2) Teste de homogeneidade pelo método de Laplace [21]; 3) Tratamento em frequência e cálculo das médias de vida até cada limite superior dos intervalos de classes; 4) Regressão linear pelo método de Bernard [22] para o cálculo dos parâmetros da Weibul [23] de melhor aderência; 5) Teste de aderência a um grupo de funções teóricas mais comuns em fiabilidade pelo método de Kolmogorov Smirnov [24].



Fig. 4. INES III- Módulo I, Ecrã, Análise Estatística de Dados.

3.4.2. Módulo II – Optimização da Manutenção

O Módulo de Optimização da Manutenção (Fig. 5) foi constituído por duas versões, em que a primeira interpreta a manutenção preventiva sistemática com base na vida acumulada de cada componente e a segunda com base na vida acumulada do equipamento a que os componentes pertencem (substituição em grupos).

O objectivo deste Módulo foi o de responder às seguintes questões:

- 1- Qual o custo e a disponibilidade proporcionada pelas duas políticas alternativas de manutenção, correctiva e preventiva sistemática, aceitando um certo risco de ter de realizar n intervenções correctivas em cada N intervenções (correctivas e preventivas)?
- 2- Quais as vidas acumuladas até à substituição preventiva de cada componente, adoptando a política preventiva sistemática encontrada no ponto anterior?
- 3- Qual o custo da política de manutenção preventiva se, em lugar de se aceitar um certo risco de realização de n intervenções correctivas em cada N intervenções preventivas, se impuser uma certa periodicidade para um ou mais componentes?
- 4- Qual o custo e a disponibilidade anual da política óptima (a custo mínimo) de manutenção preventiva? E quanto é que esta política é mais económica que outra fixada empiricamente?
- 5- Quais as vidas acumuladas até à substituição preventiva de cada componente, adoptando a política óptima encontrada no ponto anterior ?

Para obter as respostas às questões formuladas foi necessário introduzir no software, os seguintes parâmetros:

- a) Distribuição de probabilidades de Weibull, que caracteriza o comportamento em falha (modo predominante) de cada um dos componentes;
- b) Custos estimados das intervenções de manutenção curativa e de manutenção preventiva, dividida em três parcelas: mão-de-obra, materiais e oportunidade;
- c) Tempos estimados das intervenções de manutenção curativa e de manutenção preventiva;
- d) Proporção admissível de intervenções curativas em relação ao total (curativas+preventivas).

O “software” foi desenvolvido para receber até 20 componentes de um sistema tendo em conta os seguintes pressupostos: a) Os componentes não interferem entre si, porque uma falha num não influencia a falha no outro; b) Cada componente comporta-se sempre da mesma forma ao longo da vida do sistema em que está integrado.



Fig. 5. INES III, Módulo II, Ecrã de Dados.

3.4.3. Módulo III – Periodicidade de Manutenção Preventiva

O Módulo de Periodicidade de Manutenção Preventiva (Fig. 6) foi desenvolvido para determinar o intervalo ideal de substituição ou reparação de um componente crítico, cujo estado previsto possa afectar directamente a cadência de um equipamento de produção e constituir um estrangulamento do fluxo de produtivo.

Nestes casos, o avolumar do estado de deterioração do componente crítico conduz ao decréscimo da eficiência do processo, cuja produção é compensada por uma redução progressiva da cadência. A produção e as vendas diminuem, originando custos de oportunidade.

Assim, quanto mais cedo for feita a substituição dos componentes críticos, tanto menor será o custo de oportunidade mas, em contrapartida, mais frequentes serão as paragens, aumentando os custos de manutenção. A questão principal é conhecer o momento ideal para o qual corresponde o melhor compromisso, entre aqueles dois custos ou que corresponde ao momento em que a soma dos dois custos será o mínimo

Neste Módulo é possível manipular a produção degradada, em função da percentagem da produção nominal, do tempo de funcionamento acumulado, do número de horas de funcionamento, do tipo de equipamento, conhecidas que são as coordenadas de três pontos. Esta degradação pode ser informada pelo fabricante do equipamento ou determinada pela análise estatística do histórico da produção, e apresenta normalmente a forma de uma curva côncava ascendente, passando pela origem dos eixos. Esta curva pode ser descrita como uma função polinomial de 2.º ou 3.º grau, cujos coeficientes são calculados automaticamente a partir dos mínimos quadrados. O primeiro é a origem e os outros três, são seleccionados pelo utilizador. O Módulo permitiu ainda a realização da análise de sensibilidade do custo total a variações da periodicidade ideal.

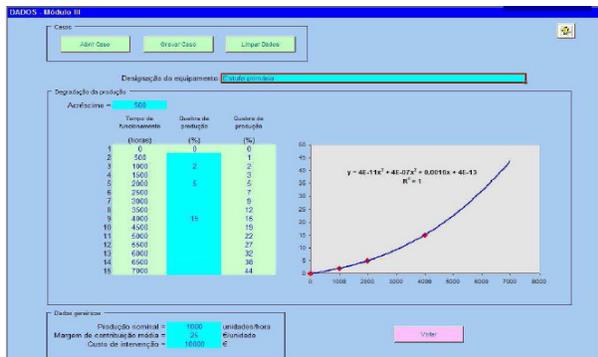


Fig. 6. INES III, Módulo III, Ecrã de Dados.

3.4.4 Módulo IV – Nível de reposição de peças de reserva

O Módulo do Nível de reposição de peças de reserva (Fig. 7) teve como objectivo o cálculo dos parâmetros de gestão de uma qualquer peça de reserva pelo método de revisão contínua de reposição de stocks. A sua abordagem é diferente da que é feita pelos ERP's, como por exemplo o SAP [25], pois está aplicado a situações de falha, o que conduz a um nível de stocks mais baixo, da ordem de 15 a 20%.

Assim, a avaliação da reposição de uma peça, considera que essa peça está sujeita a modos de falha por degradação e

gerida por uma política de manutenção preventiva. Introduziram-se diariamente os regimes de funcionamento dos equipamentos até 10 (com média e desvio padrão), a quantidade de componentes iguais por equipamento, os parâmetros da função de Weibull, que identificam os modos de falha por degradação, a periodicidade de intervenção preventiva, o nível de serviço desejado, o regime de laboração da empresa e os parâmetros do aprovisionamento (prazo de entrega, custo unitário, custo de posse e custo de aprovisionamento).



Fig. 7. Módulo IV, Ecrã de Dados.

O Módulo simula os momentos de falha e calcula em cada iteração a procura durante o prazo de entrega. Uma vez realizadas as necessárias iterações para se obter uma significativa estimativa estatística, o valor esperado do ponto de encomenda deverá indicar valores, que cumpram com o nível de serviço especificado.

3.4.5 Módulo V – Viabilidade econômica de posse de um sobressalente.

Este Módulo tem como objectivo a análise da viabilidade econômica de se optar pela aquisição e posse em stock de um sobressalente de um equipamento a adquirir. Os fabricantes de equipamentos propõem frequentemente fornecer sobressalentes de preço elevado para backup dos seus homólogos montados naqueles e o que se pretende é eleger as alternativas: 1) adquirir e manter um sobressalente caro, o qual só se tornará necessário se uma falha casual ocorrer (erro de operador, erro de um técnico de manutenção, desastre natural, etc.); 2) não o adquirir e manter e sofrer as consequências da espera pelo fornecimento urgente na eventualidade de uma falha. A Aplicação consiste num modelo de simulação numérica onde o utilizador descreve a composição de cada alternativa (com sobressalente e sem sobressalente), o comportamento previsto de falha de natureza casual e os custos pertinentes. Depois de corrido o modelo, o utilizador recebe a informação de qual a melhor alternativa e a probabilidade de esta se vir a revelar, afinal, a pior alternativa. Este Módulo tem sobretudo uma natural ligação ao software APIM.

3.4.6 Módulo VI – Política preventiva óptima com base no tempo de calendário.

Este Módulo permite determinar a decisão sobre o melhor intervalo de tempo para parar totalmente um equipamento e proceder à substituição preventiva de todos os equipamentos críticos independentemente da vida acumulada. O equipamento tem que parar sempre que um componente crítico atinge um limite máximo de vida acumulada. Esta solução apresenta geralmente a vantagem de ser mais económica, dependendo, contudo, do peso do custo da paragem face ao custo dos componentes críticos. A menor

disponibilidade dos equipamentos, pode constituir um factor determinante sobretudo nas indústrias de processo.

A Aplicação consiste num Modelo de simulação numérica onde o utilizador descreve, para cada componente crítico, os comportamentos de falha por degradação, as durações e os custos médios de reparação, as fracções de tempo de funcionamento de cada um em relação ao tempo de funcionamento do equipamento e a duração e o custo médio de paragem preventiva. Depois de corrido o Modelo, o utilizador recebe a informação de qual o melhor intervalo de tempo entre paragens gerais completada com uma análise de sensibilidade.

3.5. Módulos de Cálculo FADFLU e FATVEN

3.5.1. FADFLU

O *FADFLU* [26] (Fig. 8) é uma ferramenta de Cálculo para Avaliação da Vida Residual de Equipamentos a operar a altas temperaturas, em regime de Fluência, permitindo a obtenção de um aspecto visual da geometria do componente e os danos das inspecções anteriores e actuais. O cálculo de vida restante por meio desta aplicação necessita de serem conhecidas diversas variáveis relativas ao equipamento, nomeadamente: a instalação, o material, a base de projecto, a temperatura máxima de serviço, o número de horas de funcionamento, a data da última inspecção, os componentes a analisar e a descrição desses componentes e a sua geometria. É ainda necessário conhecer as condições de serviço a que o componente de determinada instalação está sujeito.

A aplicação informática efectua o cálculo da tensão, tempo de ruptura e, dano parcial de diversas formas, de acordo com diversas perspectivas. É possível atingir resultados resultantes de curvas, médias, mínimos e deformação de 1% do material, enquanto que o cálculo de tensões poderá utilizar métodos de acordo com o Código TRD [27] ou com a teoria das cascas finas.

O *FADFLU* origina como resultado final um relatório com as informações relativas ao componente em análise e as relativas às condições de serviço anteriormente introduzidas. A aplicação informática tem ainda uma ferramenta, que permite a visualização das curvas δ e dos parâmetros de várias materiais simultaneamente, contendo ainda uma base de dados de ensaios de fadiga clássica e fadiga oligocíclica de diversos materiais, para além da possível introdução de novos dados.

The screenshot shows the 'DADOS GERAIS RELATIVOS À INSTALAÇÃO' window. It contains several input fields for project and component details. Below the input fields, there is a table for 'COMPONENTES / DETALHES A ANALISAR' with columns for 'ANÁLISE À FADIGA' and 'ANÁLISE À FLUÊNCIA'. At the bottom right, there is a summary table for damage percentages.

COMPONENTES / DETALHES A ANALISAR	
ANÁLISE À FADIGA	ANÁLISE À FLUÊNCIA
ADICIONAR COMPONENTE	ADICIONAR COMPONENTE
COMPONENTE : 1	COMPONENTE : 1
	COMPONENTE : 2
REMOVER COMPONENTE	REMOVER COMPONENTE

Dano Acumulado nas Inspeções Anteriores %	10
Dano Calculado Nesta Inspeção %	14
Dano Total %	24

Fig. 8. FADFLU, Ecrã, Dados Gerais relativos à Instalação.

3.5.2. FATVEN

O “software” *FATVEN* [28] (Fig. 9) é uma ferramenta de “Cálculo de Fadiga de Reservatórios Sob-Pressão”, tendo como referência a norma harmonizada europeia, “EN 13445 – 3, part 3: Design; Subgroup Design Criteria”: “Clauses 17 – Simplified Assessment of Fatigue Life”; “Clauses 18 – Detail Assessment of Fatigue Life” [29].

Esta aplicação é constituída por dois módulos: 1- Análise simplificada à fadiga devido a flutuações de pressão, segundo a Cláusula 17 (cálculo da vida residual, cálculo do dano, cálculo da resistência à fadiga); 2- Cálculo detalhado à fadiga de reservatórios sob-pressão e seus componentes sujeitos a flutuações de tensão, segundo a Cláusula 18 (cálculo da vida residual, cálculo do dano e cálculo à fadiga).

The screenshot shows the 'Type of analysis' dialog box. It has several sections with radio button options. The 'Exit' and 'Next' buttons are at the bottom.

- Type of analysis**
 - Simplified analysis - Clause 17
 - Detailed analysis - Clause 18
- Type of detail for analysis**
 - Welded components
 - Unwelded components
 - Bolts
- Type of loading**
 - Variable amplitude loading
 - Constant amplitude loading
- Type of analysis in function of the type of loading**
 - Assessment of the fatigue strength (allowable stresses)
 - Assessment of the number of cycles

Fig. 9. FATVEN, Janela de Selecção do Tipo de Análise.

Tem associadas ferramentas auxiliares, sendo de referir a contagem do n.º de ciclos, que se baseia no método do reservatório (*Reservoir cycle counting method*) [30], contendo um espectro de carga aleatório e uma repetição por blocos. A aplicação informática necessita, entre outros, da introdução de diversos dados, como sejam: o tipo de soldadura, o modo de soldadura, as condições de funcionamento do reservatório, defeitos identificados e pormenores particulares de geometria.

3.6. Estudo de soluções de melhoria ou revitalização dos equipamentos utilizando processos avançados de análise

O Projecto SITEM seleccionou quatro casos de estudo a partir de soluções de melhoria ou revitalização de equipamentos, três dos quais da EDP e um da PORTUCEL, cujos estudos foram desenvolvidos e apresentam-se seguidamente.

EDP

1. Braçadeiras anti-vibração dos feixes tubulares dos Geradores de vapor da Central Termoelectrica de SINES

de algumas das variáveis eléctricas que fazem parte do controlo de velocidade dos accionamentos e que estão intimamente relacionadas com a estabilidade da Máquina e consequentemente com a eficiência da instalação.

- 2- Sistema de monitorização “on-line” de análise das vibrações, das prensas da Máquina de Pasta

As prensas da Máquina de Secagem de Pasta são equipamentos de fim de linha produtiva onde qualquer paragem provoca directamente perda de produção. Deste modo as intervenções aí realizadas para a substituição de rolamentos são sempre difíceis, demoradas e consequentemente onerosas.

Quer a precaridade das condições de trabalho, quer a complexidade dos rolos a desmontar para aceder aos rolamentos, ou condições de falta de acesso e/ou espaço de manobra, exigem tempos de intervenção muitos longos, motivando a CELBI para a instalação do sistema de monitorização de modo a permitir detectar e acompanhar situações de degradação dos rolamentos e a programar as intervenções para os períodos de paragem programadas da fábrica, minimizando assim os custos indirectos de paragens intempestivas da máquina por falha dos rolamentos.

Foi adoptado um sistema de Diagnóstico com uma “workstation” ligada digitalmente a unidades de aquisição de dados, com cálculo de gráficos de diagnóstico para serem trabalhados os dados por técnicos de manutenção condicionada.

Os parâmetros preditivos de uma variável, são definidos de forma, que correspondam aos diferentes modos de falha (desiquilíbrio, desalinhamento, rolamentos, folgas, engrenagens, e outros), são armazenados de forma periódica para obter gráficos de tendência, que permitiram a avaliação dos problemas electromecânicos identificados.

PORTUCEL

- 1- Sistema de monitorização “on-line” nas bombas de média consistência da instalação de Branqueamento

O sistema estudado tem seis bombas do sistema de branqueamento e uma bomba de lavagem, permitiu disponibilizar a informação em contínuo sobre a evolução do desgaste nos órgãos rotativos. Os acelerómetros foram montados nas chumaceiras e possuíam uma sonda de temperatura acoplada.

- 2- Sistema de monitorização “off-line” e “on-line” da Máquina de Secagem de Pasta

O sistema estudado faz a monitorização de 64 chumaceiras do lado da operação e de 96 chumaceiras do lado do accionamento. Os acelerómetros encontram-se ligados às caixas selectoras, localizadas no lado de accionamento da máquina e nas caixas selectoras existem fichas BNC para ligação aos equipamentos de medida portáteis para recolha das medições.

Os resultados obtidos pelos sistemas de monitorização para análise de vibrações, permitiram a detecção de alguns problemas nas chumaceiras, que foram acompanhados e solucionados em paragens programadas e sem perda de produção. Conduziu-se assim, a uma evolução para um sistema de monitorização “on-line” de sinais de 12 acelerómetros instalados em chumaceiras consideradas as mais críticas.

4. ACCÇÕES DE APRESENTAÇÃO E DE DIVULGAÇÃO DO PROJECTO

O Consórcio SITEM aproveitou alguns dos resultados obtidos durante a sua execução e divulgação, apresentando comunicações nos seguintes eventos:

- a) *CELPA- Associação da Industria Papeleira*
Reunião do Grupo de Trabalho Manutenção e Apresentação Geral do Projecto SITEM.
- b) *4.º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica, Ordem dos Engenheiros:*
Apresentação Geral do Projecto SITEM.
O Valor da Manutenção nas Empresas e a Aplicação informática ANIM.
Análise Multicritério do Desempenho dos Equipamentos.
- c) *8.º Congresso da APMI – Associação Portuguesa de Manutenção Industria:l*
Apresentação Geral do Projecto: metodologias, aplicações informáticas, “casos de estudo” e sistemas de monitorização de equipamentos dinâmicos, desenvolvidos e implementados no âmbito do Projecto.
Aplicação informática ANIM, Análise Multicritério do Desempenho dos Equipamentos.
Avaliação do Parque de Madeira de uma fábrica de pasta de papel.
Metodologia de Análise de Equipamentos Industriais com vista à sua manutenção.
- d) *ESREL '2006:*
RAMS based analysis of industrial equipment.
Global criticality evaluation of a pulp and paper industry's wood yard.

5. CONCLUSÕES

O Projecto SITEM - SISTEMA INTEGRADO DE ENGENHARIA E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, atingiu todos os seus objectivos e metas, sendo reconhecida a sua qualidade e o seu valor, sendo de realçar como conclusões os seguintes aspectos gerais :

- a) O Projecto SITEM demonstrou um carácter integrador e inovador do reconhecimento da Área da Manutenção Industrial respondendo à estratégia das empresas em aumentar a sua produtividade e competitividade
- b) O Projecto SITEM consolidou o conhecimento das Empresas do Consórcio ao longo dos trabalhos realizados nos diferentes grupos e nas diferentes actividades.
- c) Os Produtos / Sistemas desenvolvidos no Projecto SITEM pertencem em regime de co-propriedade, a todos os membros do Consórcio.
- d) O Projecto SITEM levou à criação de competências nos domínios da Engenharia e Gestão da Manutenção e à sua divulgação no tecido industrial em geral.

Como conclusões específicas do Projecto SITEM poder-se-ão identificar um conjunto geral de resultados, que permitiram criar vantagens competitivas para as empresas industriais intervenientes:

- a) Optimização dos Sistemas de Gestão da Manutenção das suas instalações industriais.

- b) Avaliação dos Modelos de Gestão de Manutenção através de indicadores de desempenho.
- c) Aumento da eficiência dos processos de produção.
- d) Utilização lógica e racional das metodologias de manutenção.
- e) Criação de *know-how* e cultura nas empresas permitindo abordar de uma forma tecnologicamente mais evoluída as questões relacionadas com a manutenção das instalações.
- f) Obtenção de vantagens competitivas em relação à concorrência, nomeadamente estrangeira, devido à uma menor indexação nos custos de produção dos custos associados às instalações.
- g) Especialização do conhecimento e possibilidade de hierarquização dos fenómenos de envelhecimento das instalações e relacionamento com as acções a tomar.

É também de referir, que o Projecto SITEM, além do desenvolvimento de sistemas de engenharia e manutenção, criou vários softwares, cujas patentes registou [33-36], desenvolveu várias soluções de melhoria e revitalização de equipamentos e processos e procedeu à divulgação de resultados específicos, tendo apresentado vários artigos em congressos e seminários nacionais e internacionais de relevante importância [37-53].

6. AGRADECIMENTOS

O Projecto SITEM foi um projecto apoiado pelo PRIME, Programa de Incentivos à Modernização da Economia, Medida 3.1A- Projectos Mobilizadores para o Desenvolvimento Tecnológico, tendo sido a **AdI-Agência de Inovação, S.A.**, a Entidade Gestora, à qual expressamos aqui os nossos agradecimentos.

7. REFERÊNCIAS

- [1] RCM – Reliability-Centered Maintenance. (Manutenção Centrada na Fiabilidade), Moubray, John, Nowlan & Heap, 1978 e normas, MIL-STD 2173 e SAE JA1011, 1999.
- [2] TPM - Total Productive Maintenance, (Nakajima, Seiichi, Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, Productivity Press (October 1988), ISBN-13: 978-0915299232; e IMC International, 1989; Wyreski, Jerzy, 1997; Katila, Pekka, TPM Principles in Flexible Manufacturing Systems, 2000;
- [3] Military Standard MIL-HDBK - 338B, USA
- [4] Military Standard MIL-HDBK -127, USA
- [5] Military Standard US-MIL-STD-756, USA, (previsões de fiabilidade).
- [6] IEC1025, (ISO Standard: <http://www.iso.ch/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMUMBER=26242>).
- [7] Normas Europeias Harmonizadas desenvolvidas pelo CEN, Comité Européen de Normalisation, 2002.
- [8] Directiva Comunitária, N.º 97/23/CE, “Equipamentos sob-pressão” (transportada para a Legislação Portuguesa, Decreto – Lei 211/99 de 14 de Junho).
- [9] FMECA- Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, (Análise de risco de falha, modos e efeitos de falha), MIL-STD-1629A, 1980 – USA; .
- [10] Árvore de Falhas e Árvore de Eventos; H Raafat, Risk Assessment Methodologies, University of Portsmouth, 1990 – ISBN 1 069959434; e CETIM – ISBN 2 85400 312 8.
- [11] HAZOP - Hazard and Operability, “Safety Management Requirement for Defense System”- (Norma militar Britânica, - Def Stan 00-58, 2000; e Raafat, Risk Assessment Methodologies, University of Portsmouth, 1990 - ISBN 1 069959434, CETIM – ISBN 2 85400 312 8.
- [12] RERAR - Rapid Environmental Checklist; SEMF Holdings Pty Ltd – “Preliminary Hazard Analysis and Risk Assessment for the Wood Centre Development, Southwood Resources – Huon”; Development Proposal and Environmental Management Plan, Publish By Forestry Tasmania, 2002.
- [13] Técnica RERAR; SEMF Holdings Pty Ltd – “Preliminary Hazard Analysis and Risk Assessment for the Wood Centre Development, Southwood Resources – Huon”; Development Proposal and Environmental Management Plan, Publish By Forestry Tasmania, 2002.
- [14] Critérios de Criticidade dos equipamentos e análise de Custos de Manutenção e Fiabilidade, J. Moubray, RCM II – Reliability-Centered Maintenance, Elsevier Butterworth – Heinemann 1997 - ISBN 0 7506 3358 1 e Desenvolvimento de Ferramentas para a aplicação da metodologia RAMS a equipamentos industriais, Ludovico Morais, Tese de Mestrado em Manutenção Industrial, FEUP, Dezembro 2005.
- [15] Escalas de Criticidade da PORTUCEL, SITEM/PORTUCEL 050/SP/09.
- [16] RAMS- Reliability, Availability, Maintainability and Safety, (Norma NP EN 50126, 2000).
- [17] RNP- Rank Priority Number Methodology , J. Moubray, RCM II – Reliability-Centered Maintenance, Elsevier Butterworth – Heinemann, 1997 - ISBN 0 7506 3358 1 e Desenvolvimento de Ferramentas para a aplicação da metodologia RAMS a equipamentos industriais, Ludovico Morais, Tese de Mestrado em Manutenção Industrial, FEUP, Dezembro 2005.
- [18] RCM – Reability-Centred Maintenance, (Manutenção Centrada na Fiabilidade), Moubray, John, Nowlan & Heap, 1978 e normas, MIL-STD 2173 e SAE JA1011, 1999.
- [19] FTA – Fault Tree Analysis; (Árvore de Falhas e Árvores de Eventos, SITEM/FEUP 012/SP/05).
- [20] Norma NP EN 50126:2000, (Aplicações Ferroviárias – Especificação e Demonstração de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança).
- [21] Método de Laplace; O’CONNOR, PATRICK D.T., Pratical Reliability Engineering 3rd ed., 1997, ISBN: 0471957674).
- [22] Método de Bernard; (Abernethy, Robert B., The New Weibull Handbook, 4th ed., 2000, ISBN: 0-9653062-1-6).

- [23] Método de Weibull; (Abernethy, Robert B., The New Weibull Handbook, 4th ed., 2000, ISBN: 0-9653062-1-6).
- [24] Método de Kolmogorov – Serminov; (Guimarães, Rui Campos e Cabral, José Sarsfield, Estatística, 1997, Mc Graw Hill de Portugal).
- [25] SAP, Systems Application and Products (Sistemas de Gestão Empresarial).
- [26] FADFLU, software de “Cálculo para Avaliação da Vida Residual de Equipamentos”, (Cálculo de tensões previsto no código TRD e na teoria das cascas finas).
- [27] Código Alemão, TRD, 301, (Equipamentos sob-pressão), 2003.
- [28] FATVEN , software de “Cálculo de Fadiga de Reservatórios Sob-Pressão”, (cálculo à Fadiga, código EN 13445, Part 3, Cláusulas 17 e 18, para reservatórios sob-pressão não sujeitos a chama), 2002.
- [29] “EN 13445 – 3, part 3: Design; Subgroup Design Criteria”: “Clauses 17 – Simplified Assessment of Fatigue Life”; “Clauses 18 – Detail Assessment of Fatigue Life”, 2002.
- [30] “Reservoir cycle counting method”, Norma EN 13445 – Unfired Pressure Vessels, 2002
- [31] Aço, SA 213 T 91; ASME – American Association of Mechanical Engineers, Section II, Part A (Metais Ferrosos), 1990.
- [32] ANSYS, Software de Análise Estrutural (elementos finitos), versão 5.4, 1997. (Ingeciber, S.A.)
- [33] Patente, registo: SITEM - APIM - n.º. 5549/2006; Marca Comunitária n.º 5.552.625.
- [34] Patente, registo: SITEM - ANIM - n.º. 5531/2006; Marca Comunitária n.º 5.552.716.
- [35] Patente, registo: SITEM - INES III - n.º. 5532/2006; Marca Comunitária n.º 5.552.831.
- [36] Patente, registo: SITEM - FADFLU FATVEN – n.º. 5533/2006; Marca Comunitária n.º 5.552.864.
- [37] Rui Assis; Análise Multicritério do Desempenho de Equipamentos; 4.º. Encontro do Colégio de Engenharia Mecânica (Ordem dos Engenheiros), 2005.
- [38] Santos, Lopes; Apresentação do Projecto SITEM; 4.º. Encontro do Colégio de Engenharia Mecânica (Ordem dos Engenheiros), 2005.
- [39] L. A. Ferreira; O valor da Manutenção na Gestão das Empresas; 4.º. Encontro do Colégio de Engenharia Mecânica (Ordem dos Engenheiros), 2005.
- [40] Barata, L. Eduardo; Apresentação Global Projecto SITEM; 8.º. Congresso da APMI, Nov. 2005.
- [41] V.B. Mota, L.A. Ferreira; Avaliação da Criticidade Global do Parque de Madeiras de uma Empresa Produtora de Pasta de Papel; 8.º. Congresso da APMI, Nov. 2005.
- [42] L. Morais, L.A.A. Ferreira; Metodologia de Análise de Equipamentos Industriais com vista à sua Manutenção; 8.º. Congresso da APMI, Nov. 2005.
- [43] L. Morais., L. A.A. Ferreira; RAMS based analysis of industrial equipment; ESREL'2006, Estoril, 18-22 de Setembro de 2006.
- [44] V. B. Mota, L.A.A. Ferreira; Global criticality evaluation of a pulp and industry's wood yard; ESREL'2006, Estoril, de 18-22 de Setembro 2006.
- [45] Barata, L. Eduardo; Apresentação Global Projecto SITEM; CELPA - Associação da Industria Papeleira, 24 Nov. 2004.
- [46] Barata, L. Eduardo; Apresentação Global Projecto SITEM; Sessão Pública de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa, Outubro de 2006).
- [47] Barata, L. Eduardo; Caso de estudo: Análise colector saída sobreaquecedor da CR III, PORTUCEL; Sessões Públicas de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa - Outubro de 2006).
- [48] Barata, L. Eduardo; Caso de estudo: Juntas dissimilares tubos dos reaquecedores da Central de Setúbal, EDP; Sessões Públicas de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa - Outubro de 2006).
- [49] Jordão, Paulo; Sistemas de Monitorização On-Line das Prensas da Máquina de Pasta; Sessões Públicas de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa - Outubro de 2006).
- [50] P. Monteiro; H. Pereira, L.Morais, V. Mota, L.ª Ferreira; Apresentações dos softwares, FADFLU e FATVEN e Metodologias envolvidas no Projecto SITEM; Sessões Públicas de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa - Outubro de 2006).
- [51] Rui Assis; Apresentação dos softwares, APIM, ANIM e INES III; Sessões Públicas de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa - Outubro de 2006).
- [52] Fernando Amaral; Análise de Perdas de Produção na Caldeira de Recuperação Fábrica de Pasta-PORTUCEL, Setúbal; Sessões Públicas de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa - Outubro de 2006).
- [53] Rui Carvalho; Sistemas de Monitorização de Equipamentos Dinâmicos da Fábrica de Pasta – PORTUCEL, Setúbal; Sessões Públicas de Divulgação do Projecto SITEM (Porto, Coimbra e Lisboa - Outubro de 2006).