

SISTEMA INTEGRADO DE APOIO À MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Iony Patriota de Siqueira(*)

RESUMO

Este trabalho resume as características de um sistema integrado de suporte à Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC (RCM – Reliability-Centered Maintenance). Desenvolvido para apoiar a implantação da MCC em empresas de qualquer porte, o sistema tem sido aperfeiçoado em sucessivas aplicações na Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, e como software de suporte ao treinamento em RCM, no curso de pós-graduação em Gestão da Manutenção, na Universidade Federal de Pernambuco. A primeira parte do trabalho resume as características principais da metodologia MCC, como introdução aos módulos correspondentes do programa. Utilizando um sistema real formado por um motor a explosão, descrevem-se as características de operação e aplicação de cada módulo do programa. Destaque para o módulo de otimização da frequência de manutenção para cada atividade sugerida pela metodologia MCC, baseado em um modelo formalizado do comportamento dos modos de falha.

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção Centrada na Confiabilidade. Otimização da Periodicidade, Sistema de Informação.

1.0 - INTRODUÇÃO

Entre as metodologias contemporâneas de manutenção, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) (7) destaca-se por priorizar o atendimento a estritos critérios de segurança e preservação do meio-ambiente, buscando simultaneamente assegurar sua atratividade econômica.

Este artigo descreve um sistema integrado de apoio à **Manutenção Centrada na Confiabilidade**, desenvolvido para dar suporte à implantação da MCC em qualquer processo ou ativo de uma empresa. A seção 2 revisa a metodologia da MCC, introduzindo os conceitos utilizados no restante do artigo. Na seção 3, **Requisitos**, são determinadas as necessidades informacionais da MCC, utilizadas na especificação do sistema de apoio ao analista de MCC. A seção 4, **Implementação**, descreve os recursos específicos do sistema para suporte à metodologia MCC, seguindo-se pelas seções 5 e 6 que ilustram a **Descrição Estrutural** e **Descrição Funcional** das instalações, respectivamente. Os módulos de **Análise** do sistema são descritos na seção 7, seguindo-se com a ilustração dos **Relatórios** disponíveis na seção 8. Os **Anexos** listam as telas, formulários e relatórios disponibilizados pelo sistema, além do diagrama lógico da MCC.

2.0 - MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é uma metodologia de identificação das necessidades de manutenção de processos físicos ou industriais (6,7). Originária da indústria aeronáutica na década de 70, a MCC, após adoção pela indústria bélica americana, estendeu-se às áreas nuclear e de energia, atingindo hoje praticamente todos os setores da indústria moderna. Além de recomendar atividades preventivas, a MCC define um modelo consistente para associar cada atividade ao modo de falha subjacente. O processo utilizado consiste na obtenção de respostas a um conjunto estruturado de questões que identificam, seqüencialmente, os seguintes aspectos do equipamento:

- **Funções principais** O que o usuário espera;
- **Falhas funcionais** Perdas de funcionalidade;
- **Modos de falhas** Eventos causadores das falhas;
- **Efeitos das falhas** Desdobramento das falhas;
- **Conseqüências das falhas** Impactos resultantes.

Com base nas conseqüências das falhas (no ambiente, segurança, operação e a economia do processo), a metodologia propõe, através de uma lógica estruturada, as tarefas mais aplicáveis e efetivas para combater cada modo de falha, entre as seguintes opções:

- **Serviço Operacional** Suprir, lubrificar, limpar;
- **Inspeção Preditiva** Detectar falhas potenciais;
- **Inspeção Funcional** Localizar falhas ocultas;
- **Restauração Preventiva** Recuperar antes da falha;
- **Substituição Preventiva** Substituir antes da falha;
- **Reparo** Recuperar ou substituir após a falha.

Na impossibilidade técnica-econômica de uma ou mais destas atividades, a MCC recomenda operar até que a falha ocorra e reparar, ou, em casos de ameaça à segurança ou ao meio-ambiente, realizar uma revisão do projeto. A lógica de decisão em geral é representada por um fluxograma, conforme representado no Anexo I.

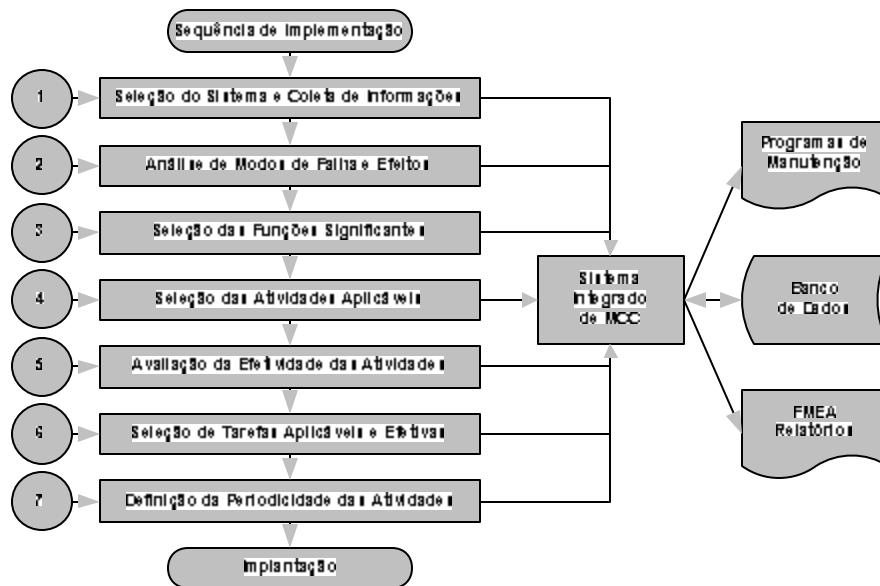
3.0 - REQUISITOS

Para servir de apoio ao processo da MCC, um software de MCC deve prover suporte para realização e documentação de todas as etapas do processo. Para isto, deve considerar não só a lógica inerente ao processo MCC, mas suportar, entre outros, os seguintes requisitos operacionais:

- **Integração** – exportar dados em formatos acessíveis por outros programas;
- **Armazenamento** – usar bancos de dados padronizados no mercado;
- **Importação** – ler dados em formatos abertos padronizados (XML, etc.);
- **Exportação** – publicar em formatos padronizados (HTML, XML, RTF);
- **Especificação** – seguir um padrão reconhecido sobre a metodologia MCC;
- **Instalação** – guiar o processo de implantação da metodologia;

- **Replicação** – permitir a multiplicação de resultados de análise;
- **Normalização** – obedecer às normas internacionais de MCC;
- **Documentação** – permitir o registro ilimitado de detalhes em cada etapa;
- **Multimídia** – viabilizar a inclusão de detalhes visuais, sonoros e gráficos;
- **Ajuda** – dispor de sistema de ajuda on-line para cada etapa;
- **Auditoria** – possuir sistema interno de auditoria do processo;
- **Segurança** – adotar um sistema seguro de credenciamento para acesso;
- **Escalabilidade** – permitir a operação isolada ou em rede multiusuária;
- **Acompanhamento** – gerenciar as pendências de análise de cada item;
- **Otimização** – calcular a freqüência ótima para cada atividade;
- **Programação** – distribuir as atividades em blocos de programação;
- **Multiplicidade** – permitir a análise de múltiplas instalações e sistemas;
- **Performance** – reduzir tempo de acesso e tráfego de dados em rede;
- **Controlabilidade** – permitir o controle gerencial de dados e acessos;
- **Distribuição** – distribuir novas versões automaticamente;
- **Centralização** – facilitar a consolidação de servidores;
- **Recuperação** – restaurar versões anteriores de bandos de dados;
- **Integridade** – incluir ferramentas de backup e compactação de dados.

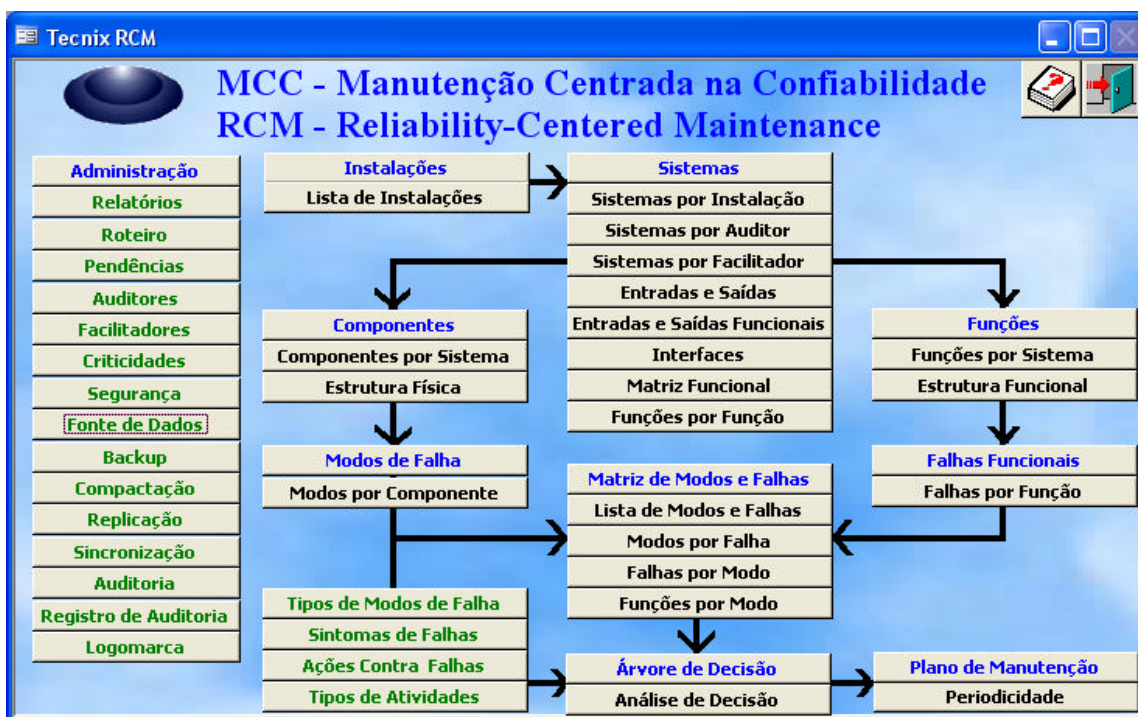
O sistema multiusuário descrito neste trabalho foi construído com tecnologia cliente-servidor, para dar suporte à implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em grandes organizações, com múltiplas instalações geograficamente distribuídas. O programa é constituído de vários módulos e funções formando um sistema integrado, com geradores de relatórios e acesso a bancos de dados. A figura a seguir ilustra a correlação destes módulos com as atividades tradicionais da MCC.



4.0 - IMPLEMENTAÇÃO

Para ser fiel à metodologia MCC, o programa deve garantir o cumprimento de algumas regras que caracterizam a lógica MCC. A figura a seguir ilustra a tela de

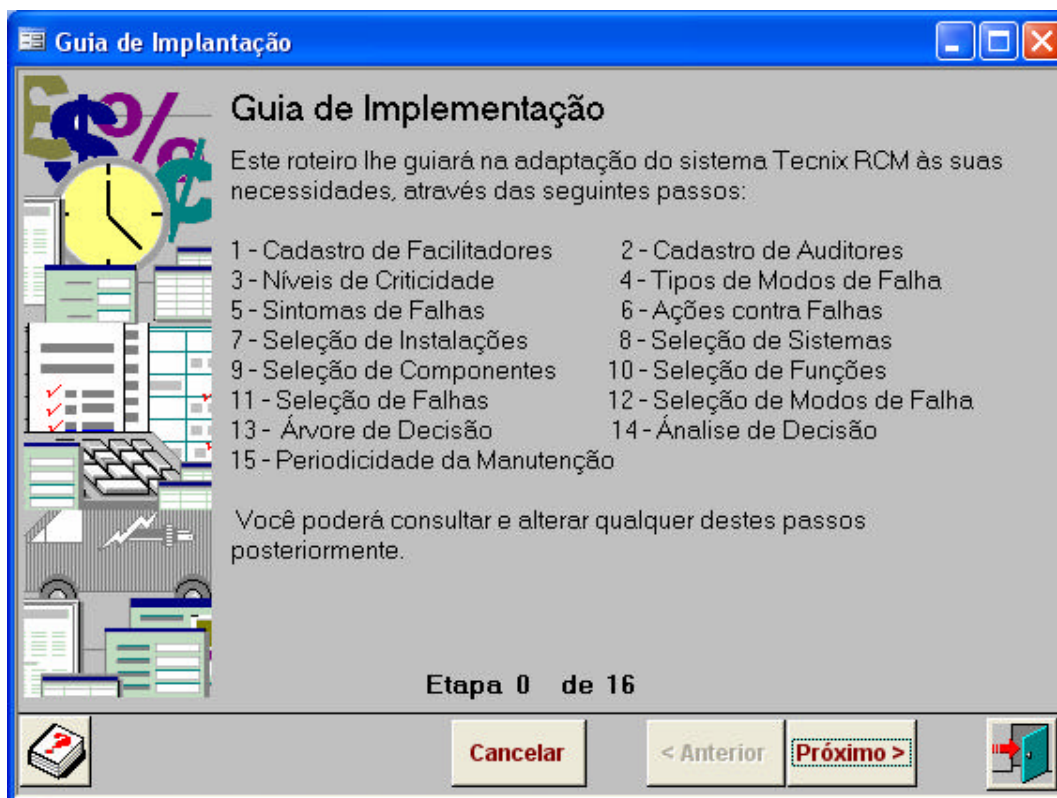
abertura do sistema descrito neste trabalho, que identifica os principais módulos disponíveis, após a identificação e autorização de acesso do usuário. O Anexo II relaciona as principais telas utilizadas pelo programa para interação com os facilitadores e usuários.



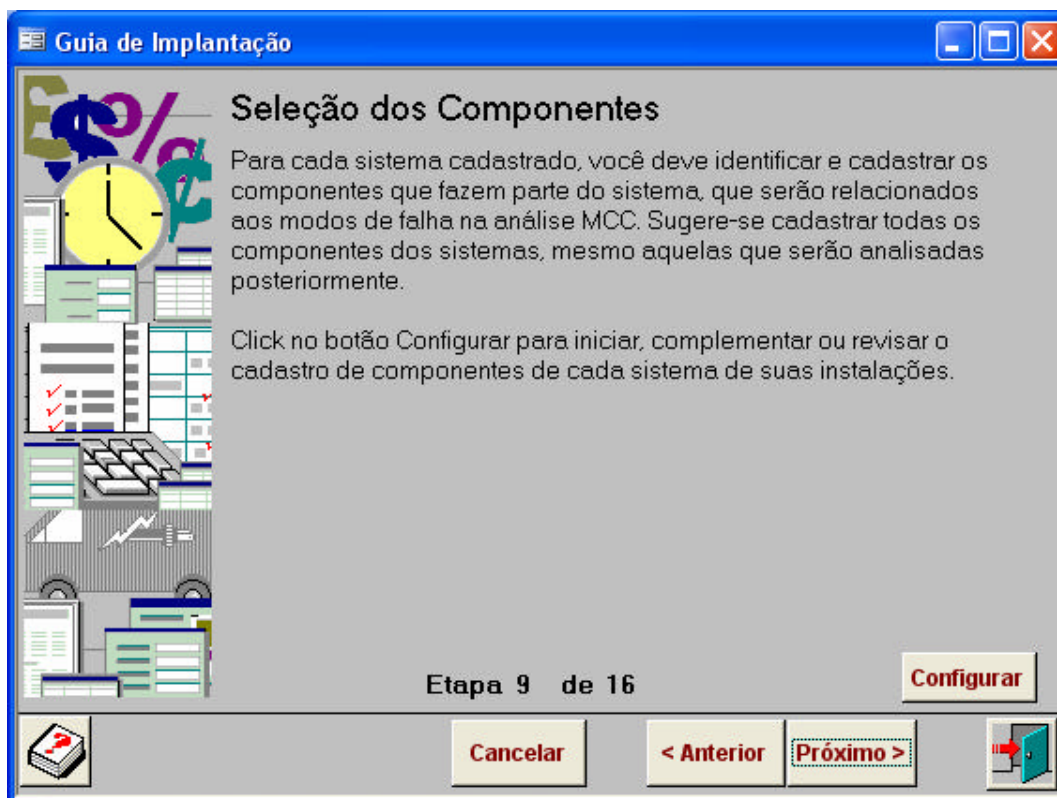
O lado esquerdo da tela de abertura contém vários botões que dão acesso a vários módulos do sistema, tais como Roteiro de implantação, Relatórios disponíveis, Listas de pendências, Administração de auditores, Administração de facilitadores, Critérios de criticidades, Subsistema de segurança, Acesso a bases de dados, Subsistema de backup, Compactação de dados, Subsistema de auditoria, Registros e logs de auditoria.

O lado direito e central da tela ilustram, através de um grafo, a seqüência típica de aplicação da metodologia MCC. Cada nó deste grafo corresponde a um botão que dá acesso ao módulo correspondente, que irá suportar o facilitador na condução da análise. Note-se a bifurcação desta seqüência, entre um ramo dedicado à análise da estrutura física da instalação, e outro dedicado à análise funcional de cada sistema. Na seqüência, estes ramos se unem nos módulos de análise e decisão da MCC, produzindo os Planos de Manutenção com a periodicidade ótima para cada tipo de atividade.

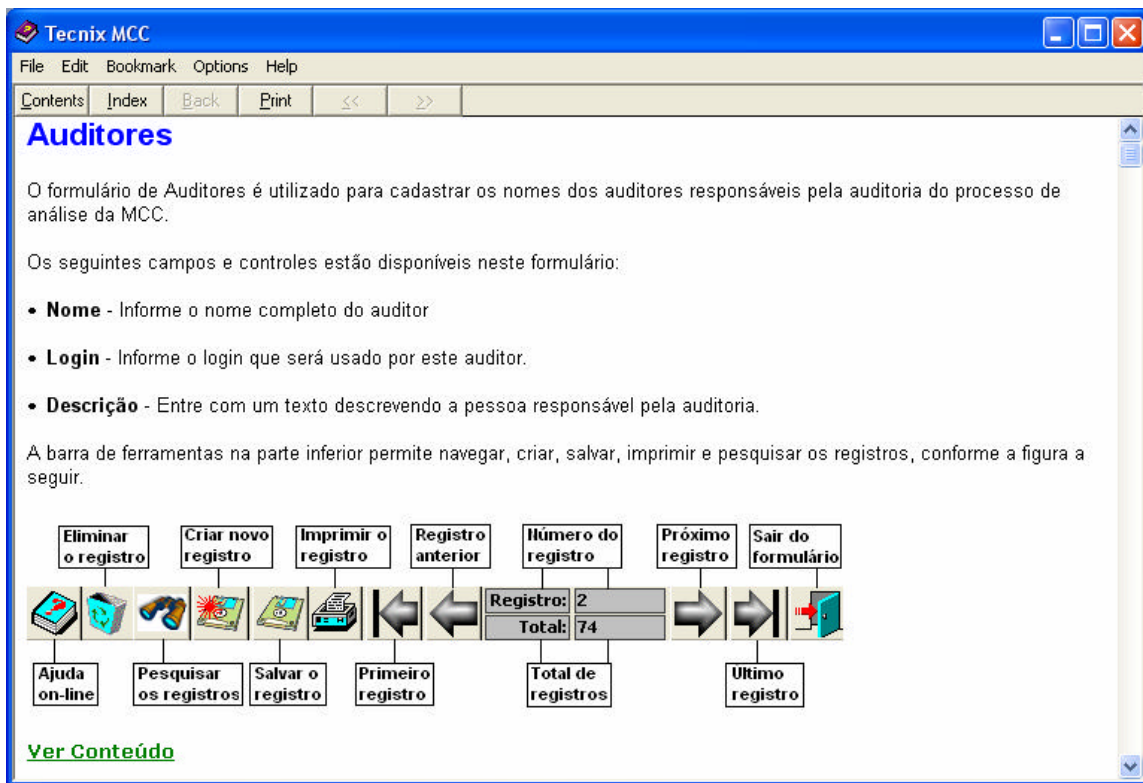
Para facilitar a aplicação desta seqüência, principalmente para os usuários iniciantes, o sistema disponibiliza um ajudante inteligente que virtualmente guia o usuário na seqüência de implantação da MCC em uma instalação. A figura a seguir ilustra a tela de abertura deste assistente.



Cada passo instrui sobre a etapa atual, como ilustrado no passo 9 na figura seguinte. O botão “Configurar” permite o acesso ao módulo correspondente do sistema.



Todos os módulos são suportados por um sistema de ajuda *on-line* sensível ao contexto, conforme ilustrado na figura a seguir. O exemplo mostra a ajuda contextual disponibilizada para o cadastramento de auditores de MCC.



Para os usuários já experientes, o programa disponibiliza uma barra de ferramentas com botões associados a cada etapa da metodologia, disponível em todas as telas, ilustrado na figura a seguir. A barra inclui *links* para as atividades correspondentes de cadastramento e análise de Instalações, sistemas, componentes, funções, falhas e modos de falhas, além das etapas de definição da árvore e análise de decisão, para escolha das atividades de manutenção, concluindo com a definição da periodicidade ótima de cada atividade. A seqüência natural de execução destas atividades é da esquerda para direita, conforme indicado pela seta abaixo da figura.



Em todo caso, o sistema disponibiliza um módulo de diagnóstico de pendências que auxilia o facilitador ou usuário a determinar o que falta concluir, em qualquer estágio de análise de cada instalação, conforme mostrado na figura a seguir. Cada aba desta tela contém as pendências de cada etapa, para cada item analisado.

Código	Componente	Pendência
2	Eletrobomba Auxiliar	Descrição
4	Tanque auxiliar	Descrição
11	Borboleta	Descrição
13	Respiro do Combustivel	Descrição
23	Camisa de Água	Descrição
29	Captador de Óleo	Descrição
38	Disjuntor	Descrição
40	Tacômetro	Descrição
41	Motor de Partida	Descrição
42	Chave de Ignição	Descrição
44	Fusível Geral	Descrição

Esta tela é utilizada principalmente por auditores e facilitadores do processo RCM. Os primeiros podem também utilizar os relatórios de auditoria, ilustrados na figura a seguir.

Auditoria de Modificações

Código do Log: -469547793 Chave: 1.1.9

Tipo do Log: I Inserção Formulário: Componentes

Usuário MCC: Iony Data/Hora: 6/23/2005 3:02:30 PM

Usuário da Rede: IPS Estação: IONY

Descrição da Modificação: de maneira a evitar que o radiador se amasse devido à pressão atmosférica., Sistema 2, InstalacaoSelecionada ,CodigoInstalacaoSelecionada , SistemaSelecionado ,CodigoSistemaSelecionado ,ID -1539953818,ParteDe 0

Comentário:

Registro: 1 Total: 164

Esta tela permite ao Auditor monitorar todas as interações com o sistema, identificando os usuários e pontos da rede que foram utilizados para realizar modificações no sistema. Os tipos de modificações monitoradas pelo sistema de auditoria são determinadas pelo Administrador do sistema, conforme ilustrado a seguir.



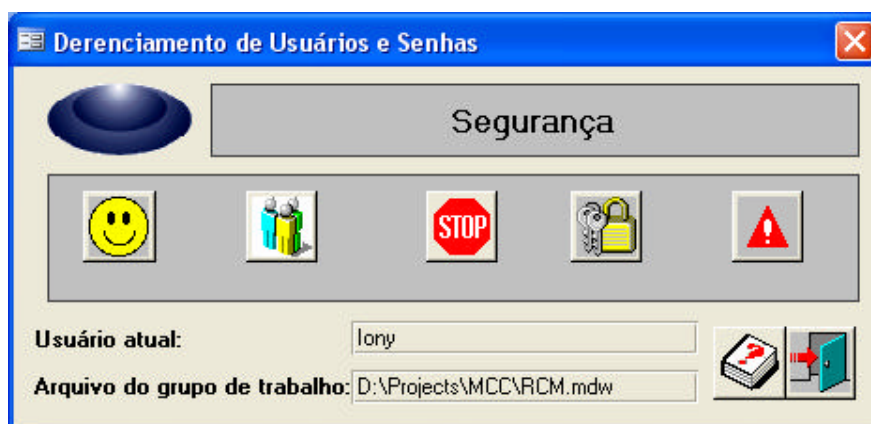
Além dos Administradores, o sistema exige o cadastro dos Auditores, através do formulário a seguir. Com o *Login* fornecido pelo Administrador, o Auditor pode certificar cada sistema analisado. Após a certificação, qualquer modificação será registrada nos *logs* de auditoria, para revisão pelos Auditores.



Facilitadores também precisam ser cadastrados para poderem ter acesso ao sistema, através da tela a seguir. O *login* recebido dos Administradores permite aos Facilitadores de MCC editarem os registros de análise, e realizarem modificações nos resultados registrados. Caso o sistema já tenha sido aprovado por um Facilitador ou auditado por um Auditor, as modificações subsequentes serão automaticamente registradas no *log* de auditoria, para certificação futura.



Todos os demais usuários devem ser previamente cadastrados no sistema, através do sistema de acesso e segurança ilustrado na figura a seguir. Opções de segurança incluem, além do cadastro de usuários, o cadastramento de grupos de usuários com direitos específicos, a alocação e modificação de senhas pelos administradores, e o teste de funcionalidade do sistema de segurança.



Cada usuário é alocado a um grupo específico, tal como Administradores, Facilitadores, Auditores, Observadores, Coordenadores, Avaliadores, conforme a política da organização, aos quais são atribuídos direitos e permissões específicas pelo sistema. Um usuário pode pertencer a mais de um grupo, segundo suas funções e responsabilidades no processo da MCC. A figura a seguir ilustra a tela de administração dos grupos de usuários do sistema.

Evidentemente, estas telas só são acessíveis a usuários cadastrados no grupo de Administradores, aos quais são alocados direitos de administração e gestão da segurança do sistema.

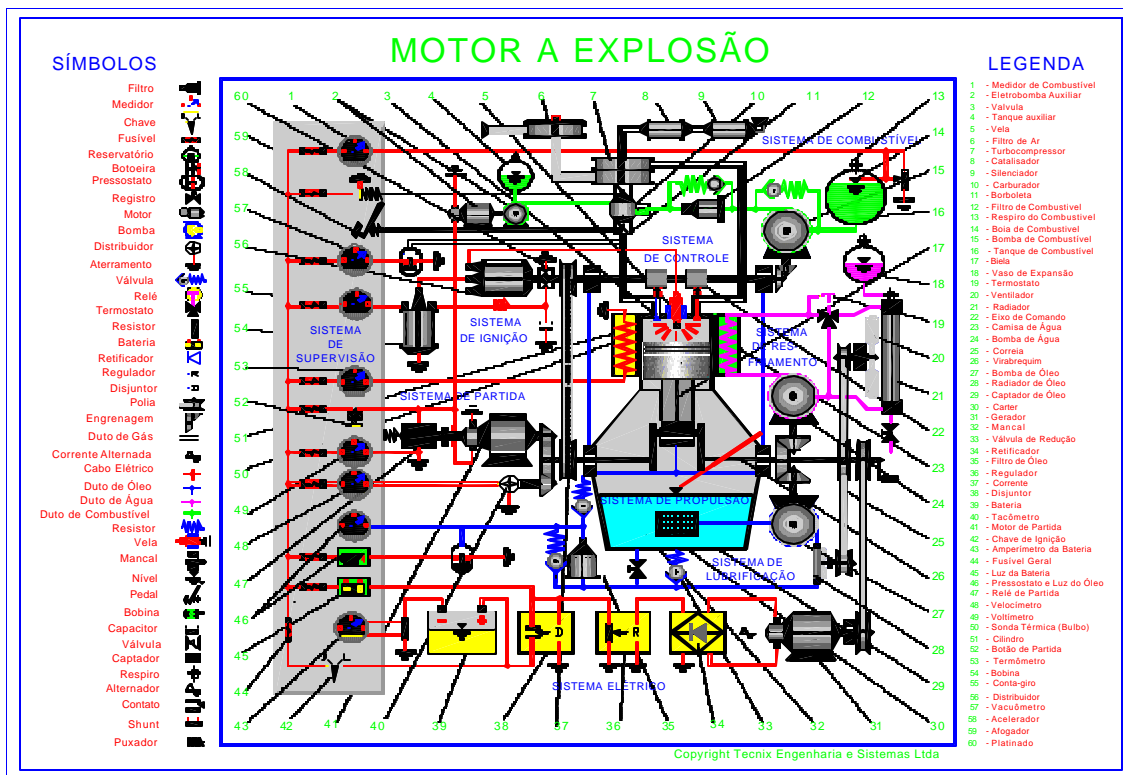


5.0 - ESTRUTURA FÍSICA

A primeira etapa na aplicação da MCC envolve a documentação dos sistemas físicos das diversas instalações que serão analisadas, com o registro de suas principais características. A figura a seguir ilustra a tela de entrada de dados para cadastro de instalações. Neste exemplo, ilustra-se um sistema composto por um motor a explosão.



O diagrama esquemático de uma instalação típica de um motor a explosão encontra-se representado na figura a seguir, usado para exemplificar estas etapas.



Nesta instalação, podem ser identificados vários sistemas típicos de um motor a explosão, sendo evidentes os seguintes tipos:

- Sistema de Ignição;
- Sistema de Controle;
- Sistema de Combustível;
- Sistema de Supervisão;
- Sistema de Propulsão;
- Sistema de Resfriamento;
- Sistema de Partida;
- Sistema Elétrico;
- Sistema de Lubrificação.

Para análise desta instalação pela metodologia MCC, cada sistema deve ser cadastrado no programa usando telas similares à da figura a seguir, que ilustra o Sistema de Lubrificação deste motor a explosão.

Note-se a inclusão do diagrama esquemático deste sistema, extraído do diagrama esquemático do motor acima. Outros arquivos multimídia, tais como fotografias, sons, filmes, plantas em AutoCad, e planilhas eletrônicas podem ser mostrados, e associados ao sistema em análise. Fotografias são especialmente indicadas para documentar os componentes dos sistemas, permitindo usar estes cadastros como verdadeiros manuais de treinamento.

Sistemas

Instalação: Motor a Explosão Código: 1

Sistema: Sistema de Lubrificação Código: 5

Auditor: Facilitador:

Instalação: Motor a Explosão

Descrição

O Sistema de Lubrificação tem como objetivo fornecer lubrificante para reduzir o atrito entre as partes móveis do motor. Compõe-se principalmente das funções de Armazenamento, Circulação, Resfriamento e Purificação do óleo lubrificante, sendo composto pela bomba de óleo (27), captador de óleo (29), carter (30), radiador de óleo (28), válvula de redução (33), dreno de óleo, filtro de óleo (35), microswitch de pressão do filtro de óleo, válvula de retenção, suspiro

Figura/Filme

Registro: 2
Total: 9

Cada sistema, por sua vez, é composto de vários componentes, cadastrados em formulários conforme a figura a seguir, para o caso do Carburador do Sistema de Combustível do Motor a Explosão.

Componentes

Instalação: Motor a Explosão Código: 1

Sistema: Sistema de Combustível Código: 7

Componente: Carburador Código: 10

Sistema: Sistema de Combustível Parte de:

Descrição

O carburador realiza a mistura de ar e combustível, além de regular a quantidade da mistura que é injetada nos cilindros, sob o comando do acelerador. Componente que forma a mistura ar-combustível para ser admitida ao motor. O combustível é vaporizado no momento em que o ar se acelera ao passar por um ponto mais estreito chamado difusor. Como a pressão nesse ponto fica subatmosférica, o combustível da cuba sob pressão atmosférica normal leva o combustível a fluir para a passagem de ar, formando-se aí a mistura. Apesar de o carburador ser uma peça de precisão e agregar sistemas auxiliares como o de marcha-lenta, o afogador e

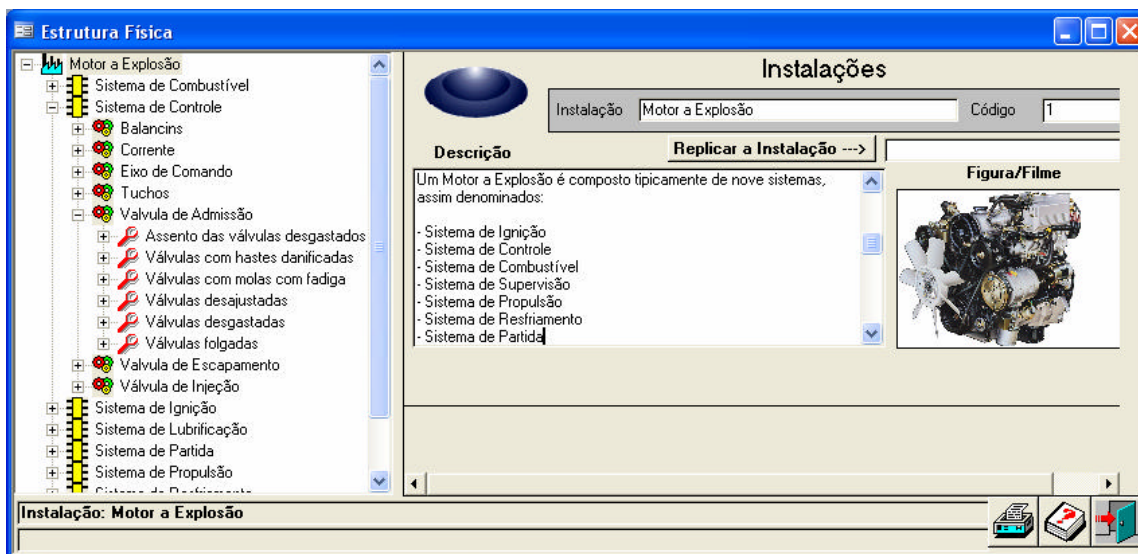
Figura/Filme

Registro: 9
Total: 95

Cada componente possui em geral vários modos de falha, que podem ser cadastrados utilizando a tela ilustrada na figura a seguir.



Estes componentes formam a estrutura física da instalação, que pode ser editada utilizando o navegador estrutural ilustrado na figura a seguir. O navegador estrutural permite a navegação em cada instalação, pelos sistemas e componentes, até os modos de falhas correspondentes. A janela esquerda do navegador ilustra a composição hierárquica do motor, iniciando pelo nível mais alto da instalação, seguindo-se pelo nível inferior dos sistemas e componentes, até a base da hierarquia, formada pelos modos de falha de cada componente. Nesta janela, todos os itens podem ser arrastados para novas posições, eliminados ou editados, utilizando a janela do lado direito.



6.0 - ESTRUTURA FUNCIONAL

Além da estrutura física, cada instalação possui uma estrutura funcional, determinada pelas funções desempenhadas por cada sistema. A figura a seguir ilustra a tela utilizada para cadastrar cada função de cada sistema.

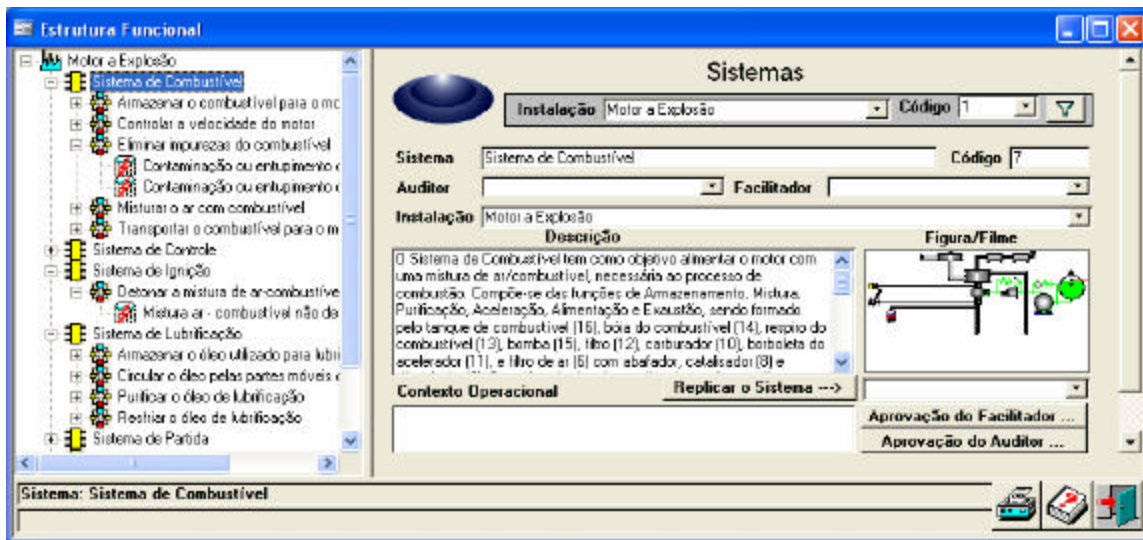


Cada função, por sua vez, pode falhar de várias formas. Estas falhas são cadastradas utilizando a tela da figura a seguir.



As funções também formam uma estrutura hierárquica funcional da instalação, que pode ser editada utilizando um navegador funcional ilustrado na figura a seguir. O navegador funcional permite a navegação em cada instalação, pelos sistemas e funções associadas, até as falhas correspondentes. A janela esquerda do navegador ilustra a composição funcional hierárquica do motor, iniciando pelo nível mais alto da

instalação, seguindo-se pelo nível inferior dos sistemas, funções, até a base da hierarquia, formada pelas falhas de cada função. Nesta janela, todos os itens podem ser arrastados para novas posições, eliminados ou editados, utilizando a janela do lado direito.



A correlação entre os modos de falhas dos componentes e as falhas das funções é estabelecida em uma matriz, conforme ilustrado na figura a seguir. Cada modo de falha de cada componente do sistema selecionado é correlacionado com as falhas funcionais correspondentes.

Esta arquitetura permite a correlação ilimitada de cada modo de falha com cada falha, e vice-versa, permitindo maior flexibilidade na modelagem da instalação. Assim, um modo de falha pode provocar múltiplas falhas no sistema, assim como cada falha pode ser provocada por vários modos de falhas de diferentes componentes.



Cada marcação nesta matriz estabelece uma relação de causalidade possível entre o modo de falha listado na horizontal, com a falha funcional listada na vertical.

Esta correlação também pode ser estabelecida utilizando listas de associação de modos de falha com as falhas, conforme ilustrado na figura seguinte.



Cada linha nesta lista estabelece uma relação entre o modo de falha da esquerda com a falha funcional da direita. Estas listas e a matriz de modos e falha podem ser filtradas entre instalações, sistemas, funções e componentes, pela escolha adequada dos filtros na parte superior da tela, facilitando a associação.

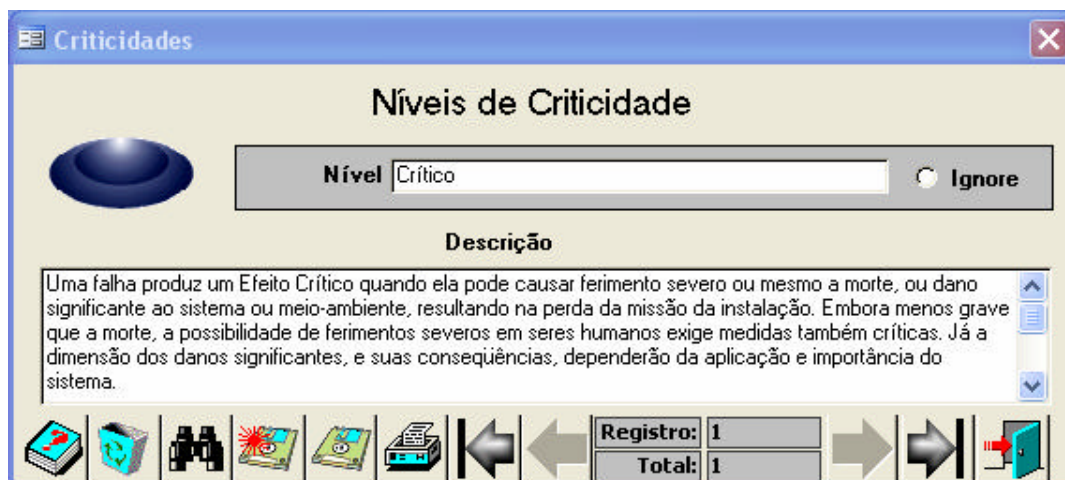
7.0 - ANÁLISE

Tendo modelado as estruturas física e funcional de uma instalação, a próxima etapa da metodologia MCC será a análise dos requisitos de manutenção. Os modos de falha que serão avaliados serão determinados após uma análise prévia de criticidade. A figura a seguir ilustra o cadastro de níveis de criticidade que serão adotados pela organização proprietária da instalação.



Apenas os modos que ultrapassem níveis mínimos de criticidade serão analisados pela lógica de decisão da MCC.

A quantidade e descrição de níveis de criticidade é definida pelo Administrador do projeto de MCC, sendo específico de cada organização. O programa permite o cadastro de um número ilimitado de níveis de criticidade, com descrições detalhadas de cada nível, conforme ilustrado na figura a seguir.



Aqueles modos de falha que possuírem níveis de criticidade acima dos níveis selecionados pelo botão de seleção "ignore" acima serão submetidos ao processo formal de análise de conseqüências da MCC. A figura a seguir mostra a tela utilizada para avaliar as conseqüências de cada modo de falha.

Árvore de Decisão

Árvore de Decisão

Instalação: Motor a Explosão Código: 1

Sistema: Sistema de Resfriamento Código: 1

Componente: Ventilador Código: 20

Modo de Falha: Ventilador empenado Código: 2

Falhas Associadas	Funções Associadas
Falta ventilação forçada	Resfriar a água do sistema

A falha ou seus efeitos são evidentes para o operador ou usuário da instalação?
 A falha ou seus efeitos afetam a segurança de pessoas/instalações ou meio ambiente?
 A falha ou seus efeitos afetam a operação ou economia dos processos/instalações?

Consequência: **ESA - Segurança/Ambiental Evidente**

Descrição: Aquecimento excessivo do motor, com possibilidade de fusão do sistema motriz.

Registro: 2
Total: 158

Três questões formam a parte principal deste módulo, suficientes para estabelecer a classe de conseqüências das falhas, segundo a metodologia MCC, entre quatro opções:

- ESA - Segurança/Ambiental Evidente;
- OSA - Segurança/Ambiental Oculta;
- EEO - Operacional/Econômico Evidente;
- OEO - Operacional/Econômico Oculta.

Estas opções correspondem à parte inicial da lógica MCC, segundo o fluxograma do Anexo I, e determinam as etapas o conjunto de atividades de manutenção aplicáveis no combate ao modo de falha. Cada opção deve ser explicada no item Descrição, com as razões para sua escolha, uma vez que terão conseqüências sobre as etapas subseqüentes da metodologia.

Tendo escolhido a conseqüência de cada modo de falha, a próxima etapa da MCC exige que o analista avalie cada tipo de atividade quanto à aplicabilidade e efetividade no combate ao modelo de falha em análise. A figura a seguir ilustra a tela utilizada pelo programa para suportar a decisão do analista, através da resposta às questões determinadas pela lógica MCC (Anexo I).

Análise de Decisão

Instalação: Motor a Explosão Código: 1

Sistema: Sistema de Resfriamento Código: 1

Componente: Ventilador Código: 20

Modo de Falha: Ventilador quebrado Código: 1

Falhas Associadas: Falta ventilação forçada

Funções Associadas: Resfriar a água do sistema

Consequência: **OEO - Operacional/Econômico Oculta**

Ação Corretiva: []

Análise Atividade: Reparar (tela protetora?)

Tipo de Atividade: []

Descrição: []

Frequência: 0

Calcular Periodicidade ...

Registro: 1

Total: 158

Todas estas etapas podem ser visualizadas no plano de manutenção, uma planilha que permite o acesso a todas as etapas da metodologia MCC, conforme ilustrado na figura a seguir.

Plano MCC

Cód	Instalação	Cód	Sistema	Cód	Componente	Cód	Função	Cód	Falha
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	62	Gases de Escap	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.3	Contaminação dos Gases
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	17	Bielas	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.2	Faça insuficiente da biela
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	8	Catalisador	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.2	Excesso de gases no escapamer
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	9	Silenciador	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.1	Ruído excessivo na exaustão
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	32	Mancal	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.4	Vibração excessiva do motor
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	26	Virabrequim	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.3	Torque insuficiente do virabrequim
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	61	Pistão	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.1	Faça insuficiente do pistão
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	51	Cilindro	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.1	Falta compressão no cilindro
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	51	Cilindro	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.1	Falta compressão no cilindro
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	51	Cilindro	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.1	Falta compressão no cilindro
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	51	Cilindro	1.9.1	Explodir a mistura ar-combustível	1.9.1.1	Falta compressão no cilindro
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	62	Gases de Escap	1.9.2	Transmitir o torque do motor	1.9.2.3	Contaminação dos Gases
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	17	Bielas	1.9.2	Transmitir o torque do motor	1.9.2.2	Faça insuficiente da biela
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	8	Catalisador	1.9.2	Transmitir o torque do motor	1.9.2.2	Excesso de gases no escapamer
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	9	Silenciador	1.9.2	Transmitir o torque do motor	1.9.2.1	Ruído excessivo na exaustão
1	Motor a Explosão	1.9	Sistema de Propulsão	32	Mancal	1.9.2	Transmitir o torque do motor	1.9.2.4	Vibração excessiva do motor

Escolhidas as atividades aplicáveis e efetivas para combater cada modo de falha, a tarefa seguinte será a definição do intervalo entre estas atividades. Um modelo matemático de otimização (9,10) é utilizado para determinar a frequência de manutenção que otimiza qualquer indicador de qualidade desejado pelo analista. A figura a seguir ilustra a tela do programa que implementa esta funcionalidade.

Note-se que o indicador de qualidade que será otimizado, e que mede o retorno obtido da manutenção, deve ser escolhido pelo analista, junto com as taxas de retorno unitárias para cada manutenção preventiva, corretiva ou reparo. Usualmente, um dos seguintes indicadores é utilizado para otimizar a manutenção, embora qualquer indicador escolhido pelo facilitador possa ser otimizado:

- FIE** Freqüência de indisponibilidade do equipamento;
- DIE** Duração da indisponibilidade do equipamento;
- FPP** Freqüência média de perda de produção;
- PPP** Probabilidade de perda de produção;
- DNS** Demanda média de produção não suprida;
- PNS** Produção média não suprida;
- FEI** Freqüência equivalente de interrupção da produção;
- DEI** Duração equivalente de interrupção da produção;
- IDP** Índice de descontinuidade de produção;
- CVE** Custo variável empresarial;
- CVC** Custo variável do cliente.

8.0 - RELATÓRIOS

Além das telas interativas, o programa disponibiliza um conjunto de relatórios impressos para uso pelos analistas, facilitadores e auditores, conforme listado no Anexo III. A figura a seguir ilustra o formulário utilizado para selecionar o tipo de relatório desejado.



Cada relatório pode ser parametrizado ou filtrado em função do interesse do usuário, pelo formulário ilustrado a seguir, apresentado antes da impressão ou visualização de cada relatório.

Item	Código
Instalação	
Sistema	
Função	
Falha	
Componente	
Modo	

Este formulário permite filtrar os dados que serão incluídos no relatório solicitado, através da escolha dos seguintes itens:

- Instalação – apenas os dados da instalação selecionada serão incluídos
- Sistema – inclui apenas os dados do sistema selecionado da instalação acima
- Função – apenas os dados referentes à função selecionada do sistema acima
- Falha – inclui apenas os dados da falha selecionada da função acima
- Componente – apenas os dados referentes ao componente do sistema acima
- Modo – apenas dados do modo de falha selecionado do componente acima.

Cada item pode ser escolhido também pelo código correspondente, segundo o padrão de identificação adotado na organização.

As figuras seguintes ilustram extratos de alguns destes relatórios.



FMEA - Failure Mode and Effects Analysis

1 Motor a Explosão		Sistema de Combustível			7
FU Função	FA Falha	MO Modo de Falha	Efeitos da Falha	Criticidade	
1	Armar o combustível para o motor	1	Falta de combustível armazenado	Motor não funciona	Alto
		2	Falta de Combustível Desseccado	Motor não funciona	Alto
		3	Combustível Contaminado	Motor não funciona	Alto
		4	Combustível Inadequado	Motor não funciona	Alto

Instalação		Processo de Decisão				Sistema			
1 Motor a Explosão						Sistema de Resfriamento			1
Modo de Falha	Análise	ANALISE	APLICABILIDADE/EFETIVIDADE				ATIVIDADE	Prevalência	
		Validade	Quantidade/Consumo	Segurança/padrões	Simplex	Imprevisibilidade			
Agua contornada		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Travar liquidificador eparacionado	<input type="checkbox"/>	0
Bomba de agua em queda		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Travar liquidificador eparacionado	<input type="checkbox"/>	0
Bomba de agua parada		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Verificar viscosidade de agua	<input type="checkbox"/>	0
Correia em queda		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Travar liquidificador eparacionado	<input type="checkbox"/>	0

Instalação		Matriz de Modos e Falhas										Sistema							
1 Motor a Explosão												Sistema de Resfriamento			1				
Modo de Falha	Falha	Falha ventilador forçada	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	Agua não esfria o sistema de	
																			Agua contornada
Bomba de agua em queda		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bomba de agua parada		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Correia em queda		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Correia parada		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Componentes Incompletos

IN Instalação	SI Sistema	CO Componente	<i>COMPONENTES INCOMPLETOS</i>
1	Motor a Explosão		
	1	Sistema de Resfriamento	
		18	Viao de Espelho
			Pendências: Descrição
		19	Torneamento
			Pendências: Descrição



Falhas

IN Instalação	SI Sistema	FU Função	FA Falha	Descrição
1	Motor a Explosão			
	1	Sistema de Resfriamento		
		1	Resfriar a agua do sistema	
			1	Falta ventilação forçada
			2	Agua não esfria o radiador

		Funções	
IN	Instalação		
SI	Sistema		
FU	Função		
1	Motor a Explosão		
1	Sistema de Resfriamento		
1	Resfriar a água do sistema	Através do resfriamento da água se consegue retirar o calor gerado pelo motor transferido pela água do resfriamento.	
2	Circular a água pelo motor		

		Plano de Manutenção									
FU	Função	FA	Polis	MO	Modo de Falha	Efeito	Critic-idade	Conseq-ueñcia	Tipo	Atividade	Fazendo
1	Resfriar a água do sistema										
	1										
	1										
	2										
	2										
	1										
	2										

9.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um resumo das características de um sistema de apoio à Manutenção Centrada na Confiabilidade. As generalidades do sistema e soluções propostas permitem sua aplicação a praticamente qualquer tipo de equipamento e atividade industrial. Sua implantação em equipamentos de uma empresa de geração e transmissão de energia foi testada e acompanhada por seminários onde os gerentes de manutenção analisaram os resultados descritos, como suporte do processo decisório.

10.0 - ANEXOS

Anexo I – Lógica de Decisão da MCC

Anexo I – Telas de Entrada de Dados

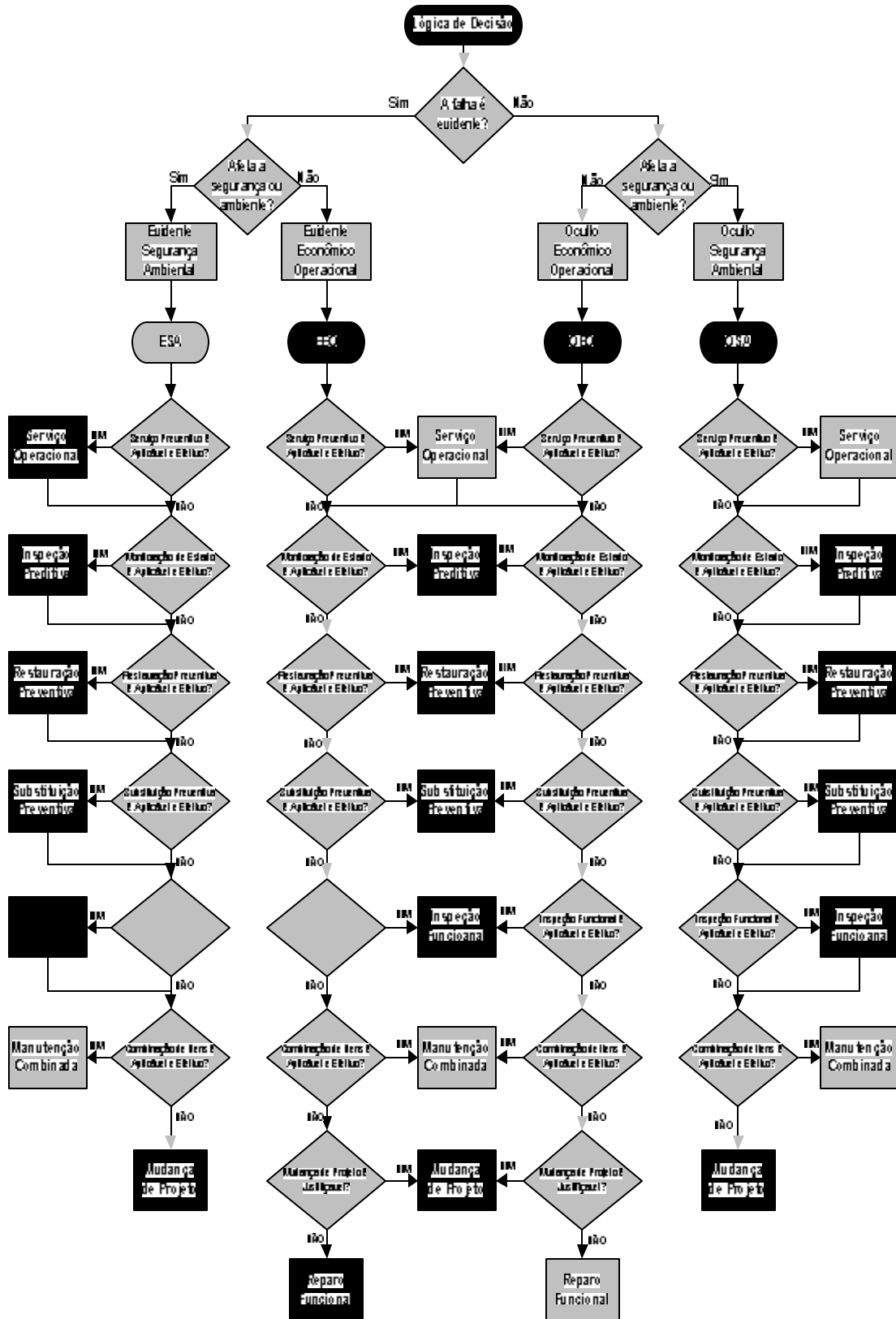
Anexo I – Relatórios

11.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SIQUEIRA, I.P., Fiabilité des Appareillages de Protection et son Impact sur les Performances des Réseaux, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques, CIGRÉ, Paris, 1996.
- (2) SIQUEIRA, I.P., Processos de Decisão Markovianos em Sistemas de Segurança e Proteção, Tese de Mestrado em Engenharia de Produção, UFPE, Recife, 1999.

- (3) SIQUEIRA, I.P., Impact of Protective Apparatus and Maintenance Scheduling on Power System Performance, 4th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Rio de Janeiro, ELETROBRAS, 1994.
- (4) LYONNET, P., Optimisation d'une Politique de Maintenance, Technique & Documentation, Paris, 1993
- (5) SIQUEIRA, I.P., Análise de Riscos de Adiamento de Manutenção em Sistemas Elétricos de Potência, XVI Seminário Nacional de Geração e Transmissão de Energia Elétrica, CIGRÉ, SP, 2001.
- (6) ALMEIDA, A.T., SOUZA, F.M.C., Org., Gestão da Manutenção – Na Direção da Competitividade, ISBN 85-7315-273-7, Instituto de Desenvolvimento da Engenharia de Produção – Recife, PE, 2001
- (7) MOUBRAY, J., Reliability-Centered Maintenance, Butterworth-Heinemann, London, 1994.
- (8) NORRIS, J.R., "Markov Chains", Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- (9) SIQUEIRA, I.P., "Frequência Ótima de Manutenção Centrada na Confiabilidade", Seminário Internacional de Mantenimiento Y Servicios Asociados, CIER, Cartagena de Índias, Colômbia, 2003.
- (10) SIQUEIRA, I.P., "Optimum Reliability-Centered Maintenance Task Frequencies of Power System Equipments, 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Iowa State University, Iowa, USA, 2004.

Anexo I – Lógica de Decisão da MCC



Anexo II – Telas de Entrada de Dados

Tela	Descrição
Ação contra Falha	Edição de tipo de ação contra falha
Ações contra Falha	Consulta aos tipos de ação contra falha
Análise de Decisão	Análise de conseqüências de falhas
Auditor	Cadastramento de dados de auditor MCC
Auditores	Consulta aos dados de auditores MCC
Auditoria	Consulta aos registros de auditoria
Árvore de Decisão	Aplicação da lógica de decisão da MCC
Browser	Navegador pela estrutura funcional
Componentes	Edição de características de componentes
Componentes por Sistema	Associação de componentes a sistemas
Criticidade	Edição dos níveis de criticidade adotados
Criticidades	Classificação dos níveis de criticidades
Datasource	Escolha da base de dados da MCC
Entradas e Saídas	Interfaces funcionais entre os sistemas
Entradas e Saídas Funcionais	Interligação das funções entre sistemas
Estrutura	Navegador pela estrutura física
Facilitador	Edição dos dados do facilitador da MCC
Facilitadores	Lista de dados dos facilitadores da MCC
Falhas	Edição das falhas funcionais dos sistemas
Falhas por função	Consulta às falhas funcionais por sistema
Enviar E-mail	Envio de relatórios da MCC por e-mail
Exportar XML	Exportação de relatórios em formato XML
Funções	Descrição das funções do sistema
Funções por Sistema	Consulta às funções de cada sistema
Iniciar	Tela de abertura do programa
Instalações	Consulta aos dados das instalações
Interfaces	Edição das interfaces entre os sistemas
Lista de Instalações	Consulta às instalações cadastradas
Lista de Modos e Falhas	Consulta aos modos de falhas das funções
Matriz de modos e Falhas	Correlação de modos e falhas associadas
Matriz Funcional	Correlação entre as funções dos sistemas
Modos	Edição dos modos de falha das funções
Modos por Componente	Consulta aos modos de falha por componente
Modos por Falha	Edição dos modos de falha das funções
Pendências	Consulta às pendências de análise da MCC
Periodicidade	Definição da freqüência ótima de manutenção
Plano MCC	Planilha de planejamento de tarefas da MCC
Sintoma de Falha	Edição de classes de sintomas de falhas
Sintomas de Falha	Consulta de classes de sintomas de falhas
Sistemas	Edição dos sistemas das instalações
Sistemas por Auditor	Consulta aos sistemas alocados por auditor
Sistemas por Facilitador	Consulta aos sistemas alocados por facilitador
Sistemas por Instalação	Consulta aos sistemas alocados por instalação
Tipo de Modo de Falha	Cadastro dos tipos de modos de falha
Tipos de Modo de Falha	Consulta aos tipos de modos de falha

Anexo III – Relatórios

Título	Relatório
Análise	Resultado do processo de análise da MCC
Auditoria	Conteúdo dos registros para auditoria
Componentes	Lista dos componentes dos sistemas
Componentes Incompletos	Lista dos componentes com dados incompletos
Componentes por função	Lista de componentes por função do sistema
Componentes sem Função	Lista de componentes sem função associada
Contextos Operacionais	Contextos operacionais por sistema
Efeitos e Criticidades	Efeitos e criticidades de cada modo de falha
Falhas	Descrição das falhas por função dos sistemas
Falhas Incompletas	Lista de falhas com dados incompletos
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
Frequência de Manutenção	Frequência ótima de manutenção por atividade
Funções	Descrição das funções de cada sistema
Funções Incompletas	Lista de funções com dados incompletos
Funções por Componente	Lista de funções associadas a componentes
Funções sem componentes	Lista de funções sem componentes associados
Instalações	Descrição das instalações
Instalações Incompletas	Lista das instalações com dados incompletos
Matriz de Componentes e Funções	Associação dos componentes com as funções
Matriz de Modos e Falhas	Associação dos modos de falhas com as falhas
Matriz Funcional	Associação entre as funções de cada sistema
Modos Ignorados	Lista de modos de falha sem funções
Modos Incompletos	Lista de modos de falha com dados faltantes
Modos Não Ignorados	Lista de modos de falha com funções definidas
Modos por Componente	Lista de modos de falha por componente
Modos por Falha	Descrição de modos de falha da instalação
Níveis de Criticidade	Descrição dos níveis de criticidade adotados
Planilha MCC	Plano de manutenção segundo a MCC
Plano de Inspeção funcional	Lista de atividades funcionais por sistema
Plano de Inspeção Preditiva	Lista de atividades preditivas por sistema
Plano de Manutenção	Lista de atividades de manutenção por sistema
Plano de manutenção combinada	Lista de atividades combinadas por sistema
Plano de Mudança de Projeto	Lista de mudanças de projeto por sistema
Plano de Reparo Funcional	Lista de reparos funcionais por sistema
Plano de Restauração Preventiva	Lista de restaurações preventivas por sistema
Plano de Serviço Operacional	Lista de serviços operacionais por sistema
Plano de Substituição Preventiva	Lista de substituições preventivas por sistema
Plano por Componente	Lista de atividades por componente do sistema
Roteiro de Implantação	Seqüência de implantação da MCC
Sistemas	Descrição dos sistemas por instalação
Sistemas Incompletos	Lista de dados faltantes sobre sistemas
Todos	Guia de Manutenção com todos os relatórios