

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Aplicação da Metodologia de RCM II ao Sistema  
de Proteção, Comando e Controlo de uma  
Subestação Numérica AT/MT**

Eduarda Isabel do Carmo Sousa

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. Hélder Leite  
Co-orientador: Eng.º Alberto Pinto

Junho 2013



# Resumo

O Sistema de Proteção, Comando e Controlo (SPCC) de uma subestação AT/MT necessita de manter padrões elevados de fiabilidade, tendo por isso de existir planos de manutenção bem definidos. Esta manutenção exige vários recursos humanos e financeiros, devendo por isso ser controlada. A metodologia “*Reliability Centered Maintenance II*” (RCM II) vem de encontro a estas necessidades, uma vez que a operadora da rede elétrica de distribuição procura otimizar a relação custo/benefício da manutenção.

Neste trabalho será estudado todo o processo de implementação da metodologia de RCM II no SPCC. Será efetuada uma análise a todo o SPCC por forma a ter conhecimento dos seus equipamentos e qual a sua função no sistema. Posteriormente será efetuada uma análise de RCM II aos equipamentos do SPCC para que se identifique qual o melhor plano de manutenção segundo esta metodologia. Por fim será realizada a descrição de todo o processo de implementação desta metodologia ao sistema, definindo a equipa de trabalho, a preparação prévia da análise de RCM II, quando deve ser renovada e quais os treinos necessários para se conseguir formar a equipa.

Em suma, com o presente estudo pretende-se identificar se a implementação da metodologia é vantajosa para o departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto (OMPRT) e que alterações teriam de ser efetuadas por forma a adotar esta nova metodologia.

**Palavras-Chaves:** Manutenção Centrada na Fiabilidade, Sistema de Proteção, Comando e Controlo e RCM II.



# Abstract

*The AT/MT substation's Control, Command and Protection System (SPCC) needs to maintain high reliability standards and for this reason it needs well defined maintenance plans. This maintenance needs many human and financial resources underlining the need for their adequate control. The "Reliability Centered Maintenance II" (RCM II) methodology fulfills those needs since the electrical distribution network's operator pretends to optimize the maintenance cost/benefit relationship.*

*This work will detail all the RCM II methodology implementation process applied to the SPCC. It will be performed an analysis to the whole SPCC in order to obtain a full knowledge of its equipment and its function within the system. Afterwards it will be performed a RCM II analysis to the SPCC equipment to find the most adequate maintenance plan according to this methodology. Finally it will be described the methodology's implementation process to the system, defining the work team, the RCM II analysis' preparation, when it should be renewed and the necessary training to form the team.*

*Summarizing, with this study it is pretended to identify if the methodology's implementation is beneficial to the Porto's Automation and Telecontrol, Operation and Maintenance department (OMPRT) and which modifications would have to be performed in order to adopt this new methodology.*

**Keywords:** *Reliability Centered Maintenance, Protection, Control, Command and Protection System and RCM II.*



# Agradecimentos

Começo com o maior dos agradecimentos: aos meus pais por todo apoio, dedicação e motivação incondicionais que me deram ao longo de toda a vida, em especial neste momento. Sem eles não seria possível chegar a este novo cruzamento da vida. Em especial à minha mãe que tem sido um pilar indestrutível ao longo de todo o Mestrado Integrado.

Ao meu irmão agradeço pela paciência e carinho que tem sido fundamental e ainda pelo companheirismo que tem tido comigo.

Aos meus avós agradeço a dedicação e apoio incondicional, especialmente à minha avó Ana Morango que teve sempre o maior dos cuidados comigo.

Aos meus amigos, em especial aqueles que percorreram este caminho comigo, o Pedro Cardoso que teve sempre a maior das paciências ao estar sentado à minha beira 5 dias por semana durante todo este semestre, foste um amigo essencial; o Rogério Lopes que tinha sempre uma palavra para dizer boa ou má; e ao Hugo Rocha pela revelação que ele se demonstrou na minha vida. Agradeço a vossa paciência, a ajuda e o companheirismo, vocês foram os melhores estagiários que podia ter encontrado, marcaram esta etapa da minha vida da melhor maneira possível. À Liliana Castro, à Patrícia Silva e à Ivone Neves pelo apoio incondicional que me deram nesta fase que foi determinística na minha vida.

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Hélder Leite e ao meu co-orientador Engenheiro Alberto Pinto pela orientação, disponibilidade e dedicação.

Ao Departamento de Automação e Telecontrolo dedicado à Operação e Manutenção do Porto da EDP Distribuição - Energia S.A. pelo acolhimento e conhecimentos transmitidos.

*Dedico este trabalho, inteiramente, aos meus pais!*



# Índice

Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Agradecimentos .....	vii
Índice .....	ix
Lista de figuras .....	xi
Lista de tabelas .....	xiii
Abreviaturas e Símbolos .....	xiv
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>17</b>
Introdução.....	17
1.1- Implementação da metodologia “ <i>Reliability Centered Maintenance II</i> ”: Motivação e Objetivos.....	17
1.2- Implementação da metodologia “ <i>Reliability Centered Maintenance II</i> ”: Possíveis Benefícios .....	18
1.3- Estrutura do documento .....	18
1.4- Disseminação de Resultados .....	19
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>21</b>
Manutenção e o RCM II: Descrição .....	21
2.1- Introdução.....	21
2.2- Evolução Histórica do RCM II: Enquadramento [1, 2] .....	21
2.3- Indicadores de Fiabilidade: Disponibilidade e Indisponibilidade .....	24
2.4- Custos Associados à Manutenção .....	27
2.5- Manutenção de Equipamentos: Conceitos e Técnicas .....	29
2.6- Outras Metodologias de Manutenção .....	35
2.7- Descrição do Processo de RCM II .....	37
2.8- Sumário .....	45
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>47</b>
Sistema de Proteção, Comando e Controlo: Uma Descrição .....	47
3.1- Evolução dos Sistemas de Proteção, Comando e Controlo [13].....	47
3.2- Sistemas de Proteção, Comando e Controlo .....	48
3.3- Arquitetura e Organização Funcional do SPCC .....	50
3.4- Funções de Proteção, Automatismo e Complementares das Proteções Numéricas .....	52
3.5- Descrição dos Equipamentos do SPCC de uma SE Numérica.....	54

3.6- Manutenção do SPCC .....	61
3.7- Sumário .....	62
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>63</b>
Equipamentos do Sistema de Proteção, Comando e Controlo: Aplicação do RCM II .....	63
4.1- Sistema de Posicionamento Global (GPS) .....	64
4.2- Posto de Comando Local (PCL) .....	68
4.3- Unidade Central (UC) .....	72
4.4- Sumário .....	80
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>81</b>
Protocolo de Manutenção .....	81
5.1- Equipa a Integrar a Implementação do RCM .....	81
5.2- Antes da Aplicação da Análise de RCM II: Preparação .....	85
5.3- Análise de RCM II: Auditoria .....	91
5.4- Aplicando a Metodologia: Permanência .....	92
5.5- Treino e Formação .....	93
5.6- Caso de Estudo: Departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto (ATOM-OMPRT) .....	94
5.7- Sumário .....	99
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>101</b>
Conclusões e Trabalhos Futuros .....	101
6.1- Principais Conclusões .....	101
6.2- Limitação .....	103
6.3- Contribuições da Dissertação .....	103
6.4- Possíveis Trabalhos Futuros .....	104
<b>Referências .....</b>	<b>105</b>
<b>Anexo A .....</b>	<b>109</b>
Ficha de Ensaio de Manutenção Preventiva a UC´s, PCL's, URTAS e GPS .....	109
<b>Anexo B .....</b>	<b>121</b>
GPS: Folha de Informação e Decisão do RCM II .....	121
<b>Anexo C .....</b>	<b>135</b>
Posto de Comando Local (PCL): Folha de Informação e Decisão do RCM II .....	135
<b>Anexo D .....</b>	<b>153</b>
Unidade Central (UC): Folha de Informação e Decisão do RCM II .....	153

# Lista de figuras

Figura 2.1 - Ciclo de vida de um sistema reparável [4], [5].....	24
Figura 2.2 - Tempo médio entre avarias (MTBF) VS tempo médio para reparação (MTTR) [4].....	25
Figura 2.3 - Custos do Ciclo de Vida de um equipamento [6].....	27
Figura 2.4 - Iceberg dos custos de manutenção [6].....	28
Figura 2.5 - Determinação do nível ótimo de manutenção. ....	28
Figura 2.6 - Possibilidade de padrões de avaria de um equipamento [9], [1]. ....	30
Figura 2.7 - A curva P-F [1]. ....	32
Figura 2.8 - Matriz qualitativa de riscos [11]. ....	36
Figura 2.9 - Diagrama de decisão <i>Reliability Centered Maintenance II</i> [1], [12].....	43
Figura 2.10 - Benefícios expectáveis das técnicas de manutenção. ....	46
Figura 3.1 - Representação em diagrama de blocos de uma proteção numérica.....	51
Figura 3.2 - Interligação dos componentes do SPCC.....	60
Figura 4.1 - Representação esquemática dos principais componentes do GPS da marca Hopf, modelo 6842 [31-33]. ....	65
Figura 4.2 - Representação esquemática dos principais componentes do posto de comando local (PCL). ....	70
Figura 4.3 - Representação esquemática dos principais componentes da Unidade Central. ...	73
Figura 5.1 - Elementos de um grupo de aplicação do RCM nos componentes do SPCC. ....	82
Figura 5.2 - Categorias em que um facilitador deve ser competente. ....	84
Figura 5.3 - Descrição de subcategorias da categoria 5.....	85
Figura 5.4 - Bases de dados do SPCC. ....	88
Figura 5.5 - Matriz de risco para a manutenção corretiva.....	98

Figura 5.6 - Partilha de conhecimento através da metodologia RCM II e o ciclo PDCA. ....	100
Figura 6.1 - Algoritmo de implementação do RCM II. ....	102

# Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Condições que as técnicas de manutenção devem possuir para "valerem a pena fazerem-se" e serem "tecnicamente praticáveis" no processo de seleção do diagrama de decisão RCM II [12].	44
Tabela 3.1 - Funções de proteção e funções de automatismo nos diferentes painéis da SE. ..	52
Tabela 3.2 - Manutenção do Sistema de Proteção, Comando e Controlo Numérico [29].	61
Tabela 4.1 - Descrição de uma função exemplo, identificando as suas falhas funcionais, os seus modos de falha e os efeitos de falha para o GPS (Folha de Informação - passos 1 a 4).	66
Tabela 4.2 - Folha de decisão do RCM II para o GPS (passos 5 a 7).	68
Tabela 4.3 - Descrição de uma função exemplo, identificando as suas falhas funcionais, os seus modos de falha e os efeitos de falha para o PCL (Folha de Informação - passos 1 a 4).	70
Tabela 4.4 - Folha de decisão do RCM II para o PCL (passos 5 a 7).	72
Tabela 4.5 - Descrição de uma função exemplo, identificando as suas falhas funcionais, os seus modos de falha e os efeitos de falha para a UC (Folha de Informação - passos 1 a 4).	74
Tabela 4.6 - Folha de decisão do RCM II para a UC (passos 5 a 7).	77
Tabela 4.7 - Datas onde ocorreu a falha funcional 4A com o modo de falha II, num conjunto de subestações.	78
Tabela 4.8 - Representação do MTBF, da taxa de avarias, do número de manutenções anuais e tempo entre manutenções individuais e a média de todas as subestações.	79
Tabela 5.1 - Número de pessoas por áreas dos equipamentos a serem analisados [34].	94
Tabela 5.2 - Níveis de probabilidade de ocorrência dos modos de falha.	97
Tabela 5.3 - Indicadores relevantes na avaliação da probabilidade de um dado modo de falha e o seu peso.	98

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

AC	<i>Alternating Current</i>
AT	Alta Tensão
ATOM - OMPRT	Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção (Porto)
BC	Baterias de Condensadores
BD	Base de Dados
BT	Baixa Tensão
CC	Centro de Condução
DC	<i>Direct Current</i>
FFI	<i>Failure Finding Interval</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Device</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
mF	Mínimo de Frequência
MF	Máximo de Frequência
MIF	Máxima Intensidade de Fase
MIH	Máxima Intensidade Homopolar
MIHD	Máxima Intensidade Homopolar Direcional
MT	Média Tensão
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
mU	Mínimo de Tensão
MU	Máximo de Tensão
PCL	Posto de Comando Local
PDIF	Proteção Diferencial
PTR	Proteção de Máxima Intensidade Homopolar de Terras Resistentes
RAID	<i>Redundant Array of Independent Drives</i>
RLC	Rede Local de Comunicações

RN	Reactância de Neutro
RND	Rede Nacional de Distribuição
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCC	Sistema de Comando e Controlo
SE	Subestação
SEE	Sistema Elétrico de Energia
SP	Sistema de Proteção
SPCC	Sistema de Proteções, Comando e Controlo
STL	Sistemas de Telecomunicações
TP	Transformador de Potência
TSA	Transformador de Serviços Auxiliares
UC	Unidade Central
UPC	Unidade de Processamento Central
URTA	Unidade Remota de Teleação e Automatismo
UTP	<i>Unshield Twisted Pair</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

#### Lista de símbolos

$\lambda$	Taxa de avaria
$\mu$	Taxa de reparação



# Capítulo 1

## Introdução

O tema desta dissertação é a Aplicação da Metodologia de “*Reliability Centered Maintenance II*” (RCM II) ao Sistema de Proteção, Comando e Controlo de uma Subestação Numérica AT/MT, ou seja, a implementação de uma metodologia de manutenção baseada na fiabilidade nos planos de manutenção das subestações numéricas de AT/MT que estão sobre a responsabilidade do departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto da operadora da rede elétrica de distribuição.

### 1.1- Implementação da metodologia “*Reliability Centered Maintenance II*”: Motivação e Objetivos

A manutenção é um fator chave para as organizações e empresas que detêm ativos. Manter os ativos por forma a que os mesmos trabalhem na sua melhor condição e executem eficientemente as suas funções sem que a sua falha gere acidentes e incidentes é uma preocupação cada vez maior das áreas de manutenção destas organizações e empresas. A metodologia “*Reliability Centered Maintenance II*” (RCM II) vem ao encontro destas preocupações.

Um Sistema de Proteção, Comando e Controlo (SPCC) contém um conjunto de equipamentos. Para que este sistema tenha um bom funcionamento e desempenho deve ser garantida uma manutenção dos equipamentos que permita a maior disponibilidade possível ao menor custo possível. A metodologia de RCM II permite que seja efetuada uma análise de fiabilidade para saber qual a melhor tarefa de manutenção a aplicar. Neste trabalho será alvo de estudo os SPCC's do departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto (ATOM-OMPRT) da Operadora de Distribuição Portuguesa, EDP Distribuição S.A.. Os desafios que se põem são então os seguintes:

- (i) A implementação do RCM II será vantajosa para os SPCC's do ATOM-OMPRT?
- (ii) Que alterações implicariam a implementação do RCM II no ATOM-OMPRT?
- (iii) Seria quantificável o retorno desta política de manutenção?

Os objetivos desta dissertação tendo por base os desafios anteriores são em primeiro lugar compreender e aplicar a metodologia de RCM II aos equipamentos do SPCC, que assim o justifique, com base num histórico de ocorrências destes. Para que este objetivo seja cumprido é necessário efetuar um levantamento dos equipamentos existentes no SPCC, seguido de um estudo de cada um destes para que se possa encontrar os equipamentos que justificam a aplicação do RCM II. Além disto, é necessário compreender como é efetuada a aplicação da metodologia de RCM II. O segundo objetivo deste trabalho é descrever todo o processo de implementação da metodologia de RCM II num Sistema de Proteção, Comando e Controlo de forma generalizada e posteriormente adaptada ao ATOM-OMPRT. Após serem concluídos estes objetivos deverá ser possível responder aos desafios propostos.

## **1.2- Implementação da metodologia “*Reliability Centered Maintenance II*”: Possíveis Benefícios**

A implementação da metodologia de RCM II ao Sistema de Proteção, Comando e Controlo permite estabelecer um plano de manutenção adequado ao equipamento uma vez que são avaliadas todas as falhas funcionais, são detalhados todos os modos de falha e relacionadas as consequência destes modos de falha com os seus efeitos. As metodologias de RCM são reconhecidas por permitirem aumentar a disponibilidade do equipamento e por baixarem o custo de manutenção deste. A aplicação da metodologia permitirá evidenciar possíveis benefícios económicos, nomeadamente na redução de custos de manutenção dos equipamentos do SPCC.

## **1.3-Estrutura do documento**

A dissertação encontra-se dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo tem como objetivo apresentar a motivação, objetivos, desafios a resolver e ainda identificar os possíveis benefícios da implementação da metodologia. É ainda efetuada uma descrição da estruturação da dissertação onde é apresentado um resumo de cada capítulo. Por fim, é apresentada uma secção de disseminação de resultados.

O capítulo dois consiste na revisão de literatura em RCM II e metodologias de manutenção. É feita uma descrição da evolução da metodologia de RCM; são identificados os indicadores de fiabilidade e como são constituídos os custos de manutenção, estes permitem avaliar o desempenho de uma técnica de manutenção. É efetuada uma descrição das diversas técnicas de manutenção e metodologias de manutenção. Por fim, é efetuada uma descrição de todo o processo de RCM II.

No terceiro capítulo é efetuada uma descrição do Sistema de Proteção, Comando e Controlo (SPCC). É descrita a evolução histórica deste sistema, assim como a sua descrição: os objetivos, as funções que executa, a sua arquitetura e organização funcional e quais os seus

constituintes. Neste sistema uma parte fundamental são os sistemas de proteção de modo que foi efetuada uma descrição das proteções existentes numa subestação elétrica. No fim deste capítulo são identificadas as manutenções realizadas a cada um dos equipamentos do SPCC de uma subestação numérica da operadora da rede elétrica de distribuição.

O quarto capítulo foca-se na aplicação da metodologia de RCM II aos equipamentos do SPCC que mostraram vantagem na sua aplicação, nomeadamente, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), o Posto de Comando Local (PCL) e a Unidade Central (UC). É efetuada uma descrição técnica de cada equipamento, posteriormente efetua-se a análise de RCM II, percorrendo-se todas as etapas desta metodologia para a determinação das tarefas de manutenção a executar para cada modo de falha, efetuando a determinação do tempo entre manutenções e descrevendo cada uma das tarefas de manutenção.

No capítulo cinco é descrito todo o processo de implementação do RCM II no SPCC. É descrita a equipa que deve estar responsável por todo o processo de implementação. Antes da aplicação do RCM II tem de ser previstas reuniões, têm de ser elaborados documentos, têm de ser definidos os locais de busca de informação e tem de ser definida uma estratégia de implementação. Posteriormente é descrito como se deve processar a análise de RCM II, quando deve ser revista e quais os treinos e formações que a equipa de RCM II deve fazer para se preparar para implementar a metodologia. Por fim, é descrita a implementação desta metodologia a um departamento da operadora da rede elétrica de distribuição: Departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto (ATOM-OMPRT), terminando-se com uma análise de risco à manutenção corretiva.

Por ultimo, o capítulo 6 faz referência às principais conclusões, limitações e contribuições desta dissertação, bem como a sugestões de possíveis trabalhos futuros.

## 1.4- Disseminação de Resultados

O trabalho desenvolvido no contexto desta Dissertação irá resultar na escrita de um artigo. O *Abstract* deste artigo que deverá ser submetido até dia 18 de outubro de 2013 para a 12ª conferência internacional em *Developments in Power System Protection*, a decorrer em Copenhaga de 31 de março a 3 de abril de 2014. O artigo com título provisório “*Implementation of the methodology Reliability Centered Maintenance II in Protection, Command and Control Systems*” descreve o processo de implementação desta metodologia no sistema de proteção, comando e controlo de uma subestação AT/MT.



# Capítulo 2

## Manutenção e o RCM II: Descrição

Neste capítulo é apresentado um enquadramento histórico da metodologia RCM II, são apresentados os principais conceitos de fiabilidade na secção 2.3 e custos de manutenção a ter em conta para esta metodologia de fiabilidade na secção 2.4, prosseguindo com a indicação e descrição das diferentes técnicas de manutenção nas secções 2.5 e 2.6. Por fim, na secção 2.7, descreve-se todo o processo da RCM II a ser aplicado, posteriormente, ao Sistema de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC).

### 2.1-Introdução

As exigências da sociedade para com as empresas do setor energético são cada vez maiores, sendo que uma interrupção de serviço é um fenómeno que pode por em risco a segurança, a saúde e o meio ambiente. Interessa, portanto, atuar de forma responsável na manutenção dos ativos para que esta seja sustentável, ou seja, assegurando a maior fiabilidade possível do sistema ao menor custo possível. Manter os ativos de forma a que estes trabalhem nas suas melhores condições e sejam eficientes sem que uma falha gere acidentes é cada vez mais uma preocupação. A metodologia RCM II vem de encontro a estas necessidades.

### 2.2-Evolução Histórica do RCM II: Enquadramento [1, 2]

No fim da década de 50 e inícios da década de 60 do século XX houve um melhoramento das condições económicas nos Estados Unidos da América levando a uma crescente procura de viagens aéreas para todo mundo, tendo, as companhias de aviação, de acompanhar esta evolução. Para tal foram desenvolvidos aviões tecnologicamente mais completos e com uma maior capacidade. Foi ainda uma década de desenvolvimento de aeronaves para fins militares, uma vez que estava a ocorrer a denominada Guerra Fria. Com a evolução dos aviões

de passageiros, como foi o caso do Boing 747, o sonho despoletado por esta procura crescente nas viagens, tornou-se num pesadelo para as companhias de aviação: os custos operacionais eram de tal modo elevados que não conseguiam ter qualquer lucro, uma vez que a “*Federal Aviation Agency*” (FAA), entidade responsável por regular as práticas de manutenção das companhias de aviação requeria planos de manutenção preventiva muito extensos.

A manutenção exigida pela FAA era baseada na ideia que todos os componentes dos equipamentos que constituíam as aeronaves tinham uma determinada idade em que tinham de sofrer uma revisão completa ou substituição de componentes, que era fundamental para manter a segurança e fiabilidade do equipamento. Foi então ao longo da década de 60 que a United Airlines liderou em conjunto com a FAA e outras companhias de aviação uma revisão completa identificando o porquê de ser feita a manutenção e qual a melhor forma como deveria ser feita. Resultou desta revisão planos de manutenção baseados em fiabilidade, uma vez que se percebeu que a manutenção preventiva não tinha grande influência na fiabilidade do equipamento complexo, a menos que ele tivesse um modo de falha dominante; foram ainda identificados muitos equipamentos onde a manutenção preventiva calendarizada não era eficiente. Esta nova abordagem de manutenção foi definida e empregada através de árvores de decisão que visavam preservar as funções fundamentais das aeronaves durante os voos. Em 1968 foi então definida num documento designado de “*MSG-1: Maintenance Evaluation and Program Development*” e aplicada ao Boing 747, tornando assim viável economicamente a navegação aérea comercial desta aeronave.

Os princípios da manutenção centrada na fiabilidade do MSG-1 foram tão bem sucedidos que em 1970 foi elaborado um novo documento: “*MSG-2 : Airline Manufacturer Maintenance*” que foi usado nas aeronaves Lockheed 1011, Douglas DC 10. Com isto, objetivos como segurança e fiabilidade máximas ao menor custo possível foram assegurados.

Entre 1972 e 1974 a United Airlines foi contratada pelo Departamento da Defesa (DoD) para aplicar os princípios de manutenção baseada em fiabilidade à marinha e à força aérea. Em 1975 o conceito MSG foi intitulado de Manutenção Centrada em Fiabilidade e seria aplicada a todos os principais sistemas militares. Em 1978, F. Stanley Nowlan e Howard F. Heap publicaram um relatório a contrato do DoD intitulado “*Reliability Centered Maintenance*”. Este documento foi a base para do documento “*MSG-3: Airline Manufacturer Maintenance Program Planing Document*”. Este documento atualmente é usado para o desenvolvimento de programas de manutenção antes da entrada ao serviço de novos tipos de aviões comerciais nos Estados Unidos da América, sendo revisto em 1988, 1993, 2001 e 2002.

O relatório de Nowlan e Heap é considerado um dos documentos mais importantes na história do RCM. Este faz a descrição dos resultados obtidos da aplicação do MSG-2, apresentando um processo sistemático para efetuar a identificação de todos os eventos ou modos de falha que provavelmente causariam falhas de funções de um dado equipamento. Este processo atribui as consequências de cada modo de falha a uma de quatro categorias:

*hidden* (escondida), *safety* (segurança), *operational* (operacional), ou *non-operational* (não operacional). O RCM encaminha estas conseqüências para técnicas de manutenção proativas (*on-condition*, *scheduled restoration*, *scheduled discard*) ou reativas (*failure-finding*, *redesign*, *no scheduled maintenance*). No término do processo, a cada modo de falha é atribuída uma técnica de manutenção que seja aplicável e que seja eficaz em termos das suas conseqüências, mesmo que essa técnica de manutenção seja *no scheduled maintenance* (sem manutenção programada) [3].

Em 1983, o *Electric Power Research Institute* (EPRI) iniciou estudos piloto de RCM em centrais nucleares dos Estados Unidos da América, sendo, esta metodologia de manutenção, atualmente, aplicada a diversas centrais nucleares Americanas, Francesas e Alemãs.

Na década de 80 várias organizações começaram a mostrar preocupação pela importância do meio ambiente, sendo aconselhadas a analisar os impactos das falhas dos equipamentos no meio ambiente e também na segurança. Em 1988, John Moubray em conjunto com várias organizações começou a desenvolver um trabalho por forma a incluir nos modos de falha a preocupação com o meio ambiente e com a segurança. Em 1991, John Moubray publica no Reino Unido a primeira edição do livro *Reliability Centered Maintenance II*. Este livro é reconhecido como clássico para formulação de estratégias de gestão da manutenção baseada na fiabilidade.

O RCM II introduz algumas alterações à versão original da metodologia da RCM de Nowlan e Heap: são adicionadas as conseqüências ambientais à árvore de decisão, além disso, são definidas sete questões, ou seja, sete etapas essenciais para se implementar a metodologia do RCM II. Incorpora ainda uma mudança de termos: os termos “aplicáveis” e “eficazes” usados por Nowlan e Heap são agora substituídos por Moubray por “tecnicamente aplicáveis” e “valham a pena fazer-se”. Por fim, no processo de seleção das técnicas de manutenção mais adequadas aos modos de falha com a frequência do seu uso, foram desenvolvidas regras de seleção mais precisas na determinação da frequência da técnica de manutenção *failure-finding* foi incorporado quantitativamente o critério de risco.

Em 1999, a “*Society of Automotive Engineers*” (SAE) publicou o primeiro documento que nomeia os critérios mínimos que um processo deve incluir para ser chamado processo “RCM”: JA1011. Embora publicado pela SAE pode ser usado por todas as organizações com recursos físicos que necessitam de manutenção programada. O RCM II cumpre esta norma, que por sua vez introduz uma estrutura de gestão por equipas, onde os operadores e outros trabalhadores se encontram para compartilhar os seus conhecimentos e experiências práticas sobre o recurso físico em análise, e para decidir que recomendações devem ser feitas a respeito da manutenção.

## 2.3- Indicadores de Fiabilidade: Disponibilidade e Indisponibilidade

Aquando da compra de um dado equipamento é expectável que, após entrar ao serviço, este cumpra as funções pelo qual foi adquirido, tendo a maior disponibilidade possível ao menor custo. O fator que pode afetar a disponibilidade do equipamento é as avarias, ou seja, as falhas; por isto é necessário efetuar uma relação entre o estado de funcionamento do equipamento e o tempo, surgindo o conceito de fiabilidade.

Com aplicação dos conceitos de fiabilidade pretende-se identificar o tipo de manutenção necessária para que um determinado equipamento funcione no seu período de vida útil. Neste sentido surgem os indicadores de fiabilidade que facilitam a tomada de decisões no que diz respeito à manutenção, ajudando a definir as metodologias a implementar ou a corrigir as que já estão implementadas.

A fiabilidade de um equipamento é a probabilidade deste desempenhar, de forma adequada, a função para o qual foi concebido, nas condições previstas e nos intervalos de tempo em que tal é exigido [4]. Admitindo-se que os sistemas são reparáveis o ciclo de vida vai ser constituído por um ciclo de funcionamento: (i) avaria, (ii) reparação e (iii) recuperação de funcionamento. Deste modo, um sistema vai poder ter dois estados: estado de funcionamento (denominado por “F”) e estado de avaria (denominado por “A”). Quando o sistema se encontra num estado de avaria este é sujeito a uma reparação e recupera o funcionamento. Não são considerados estados de avarias parciais. Na Figura 2.1 está representado o ciclo de vida de um sistema nas condições referidas.

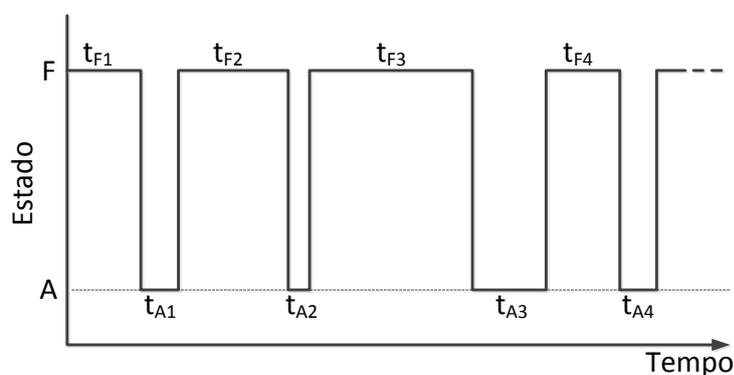


Figura 2.1 - Ciclo de vida de um sistema reparável [4], [5].

Para se conseguir determinar a disponibilidade e indisponibilidade de um determinado sistema ou componente é necessário determinar três tempos médios: Tempo Médio Entre Avarias (MTBF), (do inglês: *Mean Time Between Failures*), o Tempo Médio Para Reparação (MTTR), designado por *Mean Time To Repair* e o Tempo Médio Até Avariar (MTTF), designado por *Mean Time To Failure*. Estes tempos encontram-se representados na Figura 2.2.

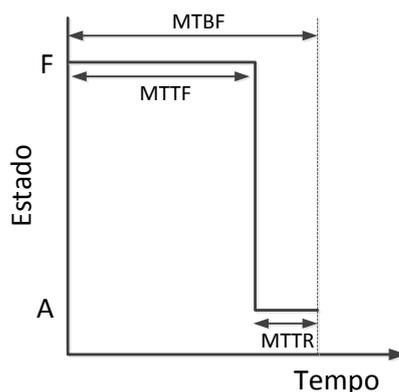


Figura 2.2 - Tempo médio entre avarias (MTBF) VS tempo médio para reparação (MTTR) [4].

O MTTF é uma medida de manutenção de sistemas ou equipamentos reparáveis. Este representa o tempo médio em que o equipamento ou sistema se encontra no estado de funcionamento. O MTTF é determinado através da expressão da Equação 2.1.

$$MTTF = m = \frac{1}{N_F} \sum_{i=1}^{N_F} t_{Fi} \quad (\text{anos}) \quad (2.1)$$

Em que:

- $N_F$  é o número de períodos que o sistema ou equipamento reside no estado de funcionamento;
- $t_{Fi}$  é o tempo que o sistema ou equipamento reside no estado de funcionamento  $i$ .

O valor de MTTF de 1 ano significa que o sistema ou o equipamento tem uma avaria, em média, de 1 em 1 ano, sendo que este tempo médio não exprime o tempo de calendário. Para que se consiga ter este resultado em tempo de calendário é necessário determinar a taxa de avarias ( $\lambda$ ), que é o inverso do MTBF, expressando-se em número de avarias por ano de funcionamento, como se pode ver na expressão da Equação 2.2.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \left( \frac{n^{\circ} \text{ avarias}}{\text{ano}} \right) \quad (2.2)$$

O MTTR é uma medida de manutenção de sistemas ou equipamentos reparáveis. Este representa o tempo necessário para reparar um sistema ou equipamento que falhou. Este tempo médio inclui o tempo de diagnóstico da avaria, o tempo de chegada das equipas de manutenção até à instalação do sistema ou equipamento e ainda o tempo que leva para reparar a avaria. Este tempo médio é determinado através da expressão da Equação 2.3.

$$MTTR = r = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} t_{Ai} \quad (\text{horas}) \quad (2.3)$$

Em que:

- $N_A$  é o número de períodos que o sistema ou equipamento reside no estado de avaria;
- $t_{Ai}$  é o tempo que o sistema ou equipamento reside no estado de avaria  $i$ .

Determinado o MTTR pode-se determinar a taxa de reparação ( $\mu$ ) que é dada pelo inverso do valor do MTTR, tal como se pode ver na expressão da Equação 2.4.

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{ (hora}^{-1}\text{)} \quad (2.4)$$

O MTBF exprime o tempo médio decorrente entre duas avarias consecutivas num dado equipamento ou sistema, ou seja, corresponde ao tempo médio de um ciclo completo funcionamento-avaria. Daqui facilmente se compreende que quando maior for este tempo maior será a fiabilidade do sistema ou equipamento. Deste modo, se o MTBF é o ciclo completo funcionamento-avaria, será calculado pela soma dos tempos médios já determinados, como se pode ver na expressão da Equação 2.5. De salientar que as unidades de MTTF e MTTR devem ser as mesmas.

$$MTBF = MTTF + MTTR = m + r \quad (2.5)$$

Após estarem determinados estes tempos médios resta determinar os indicadores de fiabilidade: indisponibilidade e disponibilidade. Deste modo, a indisponibilidade ( $U$ ) define-se como sendo a probabilidade de um determinado equipamento ou sistema se encontrar no estado de avaria. Assim a indisponibilidade é dada pela expressão da Equação 2.6. É de salientar que as unidades do MTTR e do MTBF devem ser as mesmas.

$$U = \frac{MTTR}{MTBF} \text{ (\%)} \quad (2.6)$$

A disponibilidade ( $A$ ) mede a percentagem de tempo em que o equipamento ou sistema se encontram em funcionamento. Deste modo, a disponibilidade é dada pela expressão da Equação 2.7. De igual modo à indisponibilidade as unidades do MTTF e MTBF devem ser iguais.

$$A = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \text{ (\%)} \quad (2.7)$$

Num equipamento ou sistema interessa que haja a maior disponibilidade possível. Para tal, analisando a expressão da Equação 2.7, o que se poderá fazer é ter o maior MTTF possível e o menor MTTR. Os tempos médios determinados, a taxa de avarias e de reparação e a

indisponibilidade e disponibilidade são fundamentais para que se consiga avaliar os benefícios resultantes de uma determinada técnica de manutenção, permitindo, além disto, efetuar comparações entre anos diferentes ajudando a tomar decisões sobre a gestão da manutenção.

## 2.4- Custos Associados à Manutenção

A aquisição de um equipamento ou reaproveitamento de um já existente origina custos e proveitos específicos durante muitos anos. Como tal, na aquisição do equipamento têm de ser ponderados os custos da sua aquisição e ainda os custos que serão tidos ao longo do ciclo de vida deste, assim são de referir dois custos no ciclo de vida: custo de propriedade e custo de operação. Os custos de propriedade são compostos por custos de aquisição do equipamento e sua instalação, custos de manutenção e custos de desativação e eliminação do equipamento. Os custos de operação compreendem unicamente os chamados custos variáveis dos recursos usados na produção de bens e serviços, tais como a energia, consumíveis e mão-de-obra. Na Figura 2.3 estão representados os custos do ciclo de vida de um equipamento e como se dividem ao longo dos anos, sendo de salientar que depois dos custos de operação os custos mais salientes são tidos com a manutenção, sendo importante controlar estes.

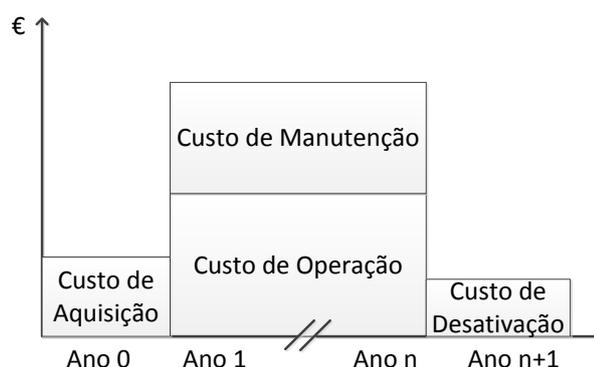


Figura 2.3 - Custos do Ciclo de Vida de um equipamento [6].

Os custos das atividades de manutenção podem ser de três naturezas diferentes: (i) custos diretos, (ii) custos indiretos e (iii) custos de imobilização dos *stocks* [6, 7] .

- (i) Os custos diretos são os custos de funcionamento dos serviços de manutenção, como é o caso da mão-de-obra, materiais e serviços, sendo aqui incluídos os custos de subcontratação, caso existam. É de notar que o custo de mão-de-obra é o custo que mais importa ao gestor da manutenção, uma vez que traduz, em termos financeiros, o esforço efetivamente dedicado à manutenção.
- (ii) Os custos indiretos são os custos que advêm das interrupções de serviço, ou falta de qualidade de serviço. São aqui englobados os custos para que possa ser efetuada manutenção, quer por avaria quer por manutenção prevista.

- (iii) Os custos de imobilização dos *stocks* englobam o custo de posse de materiais em armazém, ou seja, taxa de juro do capital imobilizado, encargos com armazenagem e encargos de seguros.

Na Figura 2.4 está representado o iceberg com todos os custos associados à manutenção sendo que os custos referidos anteriormente são facilmente contabilizados e de fácil identificação (parte emergente do iceberg), os outros custos não são tão fáceis de identificar nem de contabilizar e encontram-se representados na parte submersa do Iceberg.



Figura 2.4 - Iceberg dos custos de manutenção [6].

Uma gestão eficiente da atividade de manutenção requer um sistema de controlo de custos que permita em tempo útil a tomada de decisões para os manter dentro de limites aceitáveis e deve efetuar-se com referência a previsões de custo, mas sem deixar passar que tem de ser mantido um equilíbrio entre o custo e o nível de manutenção. Na Figura 2.5 pretende-se representar este equilíbrio entre o custo e o nível de manutenção que deve ser realizado, sendo determinado um ponto ótimo.

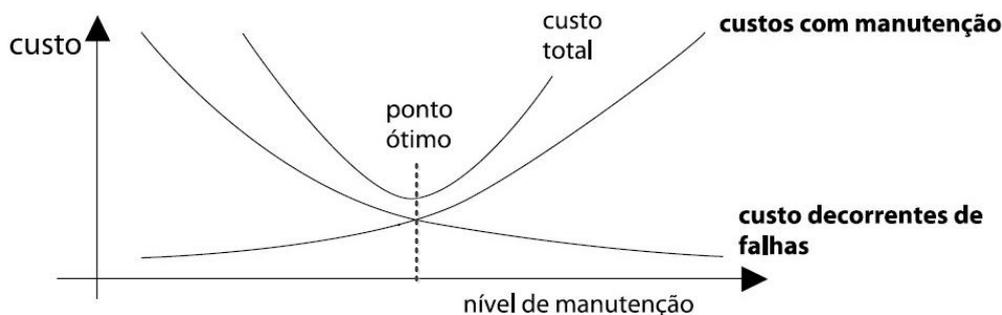


Figura 2.5 - Determinação do nível ótimo de manutenção.

## 2.5- Manutenção de Equipamentos: Conceitos e Técnicas

Todos os equipamentos ao longo do seu ciclo de vida são sujeitos a deterioração e desgaste. Como tal, é necessário tomar medidas que possam garantir a correta execução das funções do equipamento. Assim define-se manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida” [8].

A divisão das técnicas de manutenção pode ser realizada de várias formas. No entanto é muito usual a divisão em dois grandes grupos: manutenção proativa e manutenção reativa.

### 2.5.1- Manutenção Proativa

A manutenção proativa é efetuada antes da ocorrência de falhas com o intuito de prevenir que um determinado equipamento/sistema entre num estado de falha. Este tipo de manutenção é programada, antes das falhas funcionais ocorrerem. Pretende-se com esta prolongar o período de vida útil do equipamento. Este tipo de manutenção, se corretamente aplicada, permite:

- Aumentar a fiabilidade do equipamento, aumentando por sua vez a disponibilidade deste e reduzindo o custo devido a avarias;
- Melhoramento do planeamento dos trabalhos de manutenção, conseguindo-se reduzir e regularizar a carga de trabalhos e mão-de-obra;
- Aumentar a segurança dos operadores dos equipamentos;
- Facilitar a gestão de *stocks*;
- Redução de acontecimentos fortuitos.

Para que se possa realizar este tipo de manutenção é necessário existir uma previsão da ocorrência de falhas, para tal é fundamental a existência de um registo das falhas funcionais já ocorridas e dos seus modos de falhas, ou seja, será necessário um registo histórico detalhado da vida útil de um determinado equipamento, onde seja possível ver todas as informações de avarias, supervisões de funcionamento e intervenções de manutenção.

É através deste registo que se consegue determinar as possíveis datas de uma falha num dado equipamento, sendo necessário identificar os modos de falha associados ao equipamento, de modo a que seja antevista a ocorrência de uma avaria. Deste modo, quanto mais complexo for um equipamento mais dificuldade se encontra em identificar todos os modos de falha.

Através da análise dos registos será possível realizar as operações de manutenção preventiva, sendo tido em conta que deveram ter o menor custo possível, o menor impacto na disponibilidade do equipamento e ainda o menor impacto possível na disponibilização do serviço.

A manutenção proativa, como visionária da melhoria contínua, pode ser dividida ainda em subtipos de manutenção sendo de realçar a manutenção preventiva sistemática e a manutenção preventiva condicionada.

### 2.5.1.1- Manutenção Preventiva Sistemática

A manutenção preventiva sistemática é efetuada segundo um plano estabelecido com base no tempo, sendo assumido que as falhas ocorrem de um modo mais ou menos previsível. Os trabalhos são planeados com uma periodicidade que permita que sejam realizadas as intervenções antes da ocorrência da falha, não existindo contudo um controlo prévio do estado do equipamento. A manutenção é realizada entre intervalos de tempo pré-estabelecidos, com base em estatísticas, que por sua vez deriva de um modelo de degradação dos equipamentos ao longo da sua vida útil, denominado de “curva da banheira”, que se encontra representado como sendo a curva A na Figura 2.6.

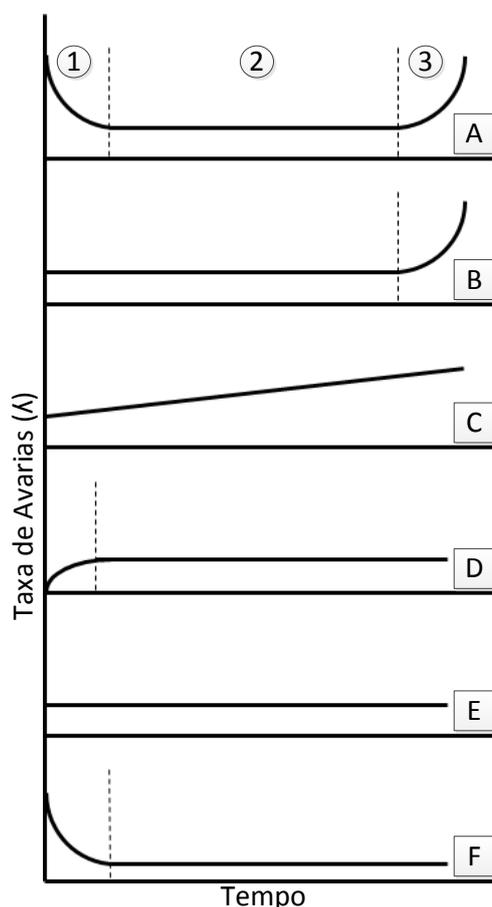


Figura 2.6 - Possibilidade de padrões de avaria de um equipamento [9], [1].

A curva do tipo A é constituída por três períodos distintos, representativos do ciclo de vida dos equipamentos, o período ① é o início de vida do equipamento designado de mortalidade infantil, ou seja, há um decrescimento muito acentuado da taxa de avarias com o tempo. O período ③ é o período de velhice do equipamento, após o término do período de

vida útil do equipamento, havendo aqui um aumento muito grande da taxa de avarias com o tempo. O período ② é o período de maturidade do equipamento, ou seja, é o período da vida útil do equipamento, onde é efetuada a manutenção. Decompondo esta curva podem surgir as curvas B, D, E e F, ou seja, disto pode-se dizer que esta curva é a junção de outras curvas [1].

Admitindo que o padrão de avarias de um dado equipamento é a curva A são efetuadas manutenções sistemáticas em intervalos de tempo do tamanho do período ②, isto para que o equipamento volte ao início deste período e se mantenha no seu período de vida útil, com a menor taxa de avarias. O tamanho do período de estabilidade da taxa de avarias é determinado com base na análise dos registos históricos da ocorrência de avarias. Esta manutenção é efetuada independentemente do bom estado do equipamento. Algumas intervenções realizadas são as inspeções visuais do estado do equipamento, revisões sistemáticas ou a substituição de componentes.

A manutenção preventiva sistemática deve ser aplicada quando ao fim de um determinado tempo aparece um crescimento rápido da taxa de avarias, o que demonstra a velhice de um determinado equipamento. Este tipo de manutenção é apenas eficiente quando é possível prever um período em que o equipamento funcione sem ocorrência de falhas. Deste modo, os padrões de avarias das curvas C, D, E e F não são objetivo de aplicação desta manutenção.

Com a aplicação desta forma de manutenção consegue vantagens como prever os custos de manutenção e diminuir os impactos na disponibilidade do equipamento, uma vez que existe um planeamento. Por outro lado também são encontrados alguns inconvenientes, como é o caso de ser feita manutenção sem saber o estado real do equipamento, podendo existir desperdício de recursos e custos desnecessários, assim como o equipamento poder avariar antes da ocorrência deste tipo de manutenção, e ainda os tempos entre manutenções são fixos, o que não acompanha a evolução do tempo de operação do equipamento.

#### **2.5.1.2- Manutenção Preventiva Condicionada**

A necessidade de conhecer qual o estado de conservação dos diversos equipamentos levou ao desenvolvimento da chamada manutenção preventiva condicionada ou também designada por manutenção preventiva preditiva. Este tipo de manutenção proativa baseia-se no conhecimento do estado real de conservação dos equipamentos presentes numa subestação (SE) e posterior intervenção aquando da eminência de uma falha.

Esta metodologia de manutenção é adequada a equipamentos cuja falha possa ser prevista por uma degradação de características que podem ser detetadas por medição, observação ou análise. Na atualidade esta informação pode ser dada pelo sistema de autodiagnóstico dos equipamentos, que supervisiona o seu estado de funcionamento indicando quando alguma coisa está mal através de sinalizações e alarmes. Sendo assim, as intervenções nos componentes só são efetuadas quando realmente se mostram necessárias, conseguindo-se atenuar alguns inconvenientes da manutenção preventiva sistemática: não se tem custos desnecessários com manutenções que não são necessárias e ainda se conseguem

controlar de forma mais eficaz as avarias que acontecem antes do período entre manutenções terminar.

É de salientar que os pré-avisos de que está para ocorrer um estado de falha podem ser de segundos, minutos, horas, dias ou até mesmo meses. Contudo, uma forma simples de diagnosticar e detetar potenciais falhas é a inspeção visual periódica. Apesar de ter bastantes pontos positivos não é suscetível de aplicar a todos os equipamentos e sistemas, uma vez que por vezes os equipamentos que dão apoio a este tipo de manutenção são caros e requerem técnicos qualificados para o seu manuseamento e interpretação dos dados obtidos.

Na Figura 2.7 está representada a curva P-F, que visa mostrar o processo desde que a falha começa a ocorrer, passando pelo momento em que é detetada (P) até ao ponto onde realmente ocorre (F).

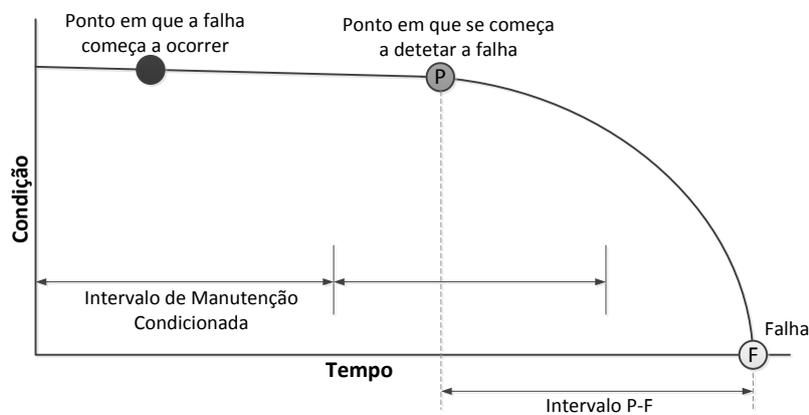


Figura 2.7 - A curva P-F [1].

Quando uma falha começa a ocorrer até ao momento que é detetada nota-se uma ligeira deterioração da condição de operação. E aqui pode acontecer duas hipóteses: ou a falha é detetada e consegue-se efetuar uma manutenção condicionada ou a condição começa a deteriorar-se cada vez mais rápido ao longo do tempo, ocorrendo por fim o estado de falha funcional, sendo o equipamento ou sistema incapaz de realizar as suas funções com um nível de desempenho aceitável para o utilizador. Assim, pode dizer-se que as intervenções de manutenção preventiva condicionada consistem em procurar a existência de potenciais falhas, para que se possa atuar e evitar as consequências das falhas funcionais.

O intervalo P-F ou também dito intervalo de aviso é então o intervalo de tempo entre o momento em que se deteta uma potencial falha e o momento em que esta ocorre, ou seja o período de tempo entre o ponto P e o ponto F. É este o intervalo responsável por indicar com que frequência se deve realizar operações de manutenção preventiva condicionada, devendo saber que para que se consiga detetar uma potencial falha antes que ela aconteça é necessário que o intervalo entre operações de manutenção preventiva condicionada deve ser inferior ao intervalo P-F. De notar ainda que para que este processo seja eficiente o intervalo

P-F seja suficientemente longo para que uma ação seja desencadeada a tempo de reduzir as consequências das avarias.

### 2.5.2- Manutenção Reativa

A manutenção reativa consiste numa forma de manutenção que lida diretamente com o estado de falha, visando resolver esta, ou seja, as operações de manutenção são efetuadas após a ocorrência da falha funcional. Esta manutenção pode ser dividida em manutenção corretiva, técnicas de redesenho e ainda técnicas de deteção de falha.

### 2.5.3- Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é realizada quando ocorre uma avaria súbita que não foi prevista nem pode ser diagnosticada, sendo objetivo desta manutenção o restauro e reposição das funções do equipamento. É um tipo de manutenção que não pode ser aplicado a todos os equipamentos, sendo aplicado normalmente a equipamentos de baixo custo, cujo impacto no sistema é reduzido e ainda os custos tidos na manutenção preventiva são superiores à sua substituição ou reparo após falha.

Uma manutenção puramente corretiva pode trazer desvantagens como é o caso altos custos com a mão-de-obra, peças e custos de manutenção, a indisponibilidade provocada e consequente falha no serviço aos clientes. Caso esta manutenção seja integrada com outros tipos de manutenção torna-se vantajoso havendo redução de custos.

### 2.5.4- Técnica de Deteção de Falhas

As técnicas de deteção de falhas visam verificar se um determinado equipamento ainda funciona e aplicam-se somente a falhas “escondidas”, ou seja, estas técnicas consistem em verificar periodicamente as funções “escondidas” com objetivo de ver se o equipamento ainda funciona. Deste modo, o objetivo desta técnica é dar-nos a segurança de que uma função de proteção atua caso seja necessário, ou seja, apenas é aplicada em equipamentos de proteção cujas falhas das funções não se tornem evidentes para as equipas de manutenção, em circunstâncias normais de operação.

Com esta técnica consegue-se que haja um aumento da disponibilidade de um determinado equipamento e, conseqüentemente, do sistema, sendo ainda de referir que permitem evitar a ocorrência de falhas múltiplas e por sua vez diminuir a probabilidade de ocorrência destas. De acordo com [1], a probabilidade de falhas múltiplas é dada pela expressão da Equação 2.8.

$$P_{FM} = P_{FEP} \times U_{EP} \quad (\%) \quad (2.8)$$

Em que:

- $P_{FM}$  é a probabilidade de ocorrência de uma falha múltipla (%);

- $P_{FEP}$  é a probabilidade de ocorrência de falha nas funções do equipamento protegido (%);
- $U_{EP}$  é a indisponibilidade do equipamento de proteção (%).

Segundo [1], a frequência ou periodicidade das ações de detecção de falhas, ou seja, *Failure Finding Interval* (FFI) pode ser determinada por dois métodos distintos. O primeiro método é dado pela expressão da Equação 2.9.

$$FFI = 2 \times \frac{U_{EP}}{(100\% - A_{EP})} \times MTBF_{EP} \text{ (anos)} \quad (2.9)$$

Em que:

- $A_{EP}$  é a disponibilidade do equipamento de proteção (%);
- $MTBF_{EP}$  é o tempo médio entre falhas do equipamento de proteção (*Mean Time Between Failures*).

Para a determinação do FFI através do segundo método é necessário conhecer o tempo médio entre falhas múltiplas ( $MTBF_{FM}$ ) e o tempo médio entre falhas do equipamento protegido ( $MTBF_{FEP}$ ). Usando a expressão da Equação 2.2 é possível determinar o valor da probabilidade de ocorrência de uma falha múltipla ( $P_{FM}$ ) (Equação 2.10) e a probabilidade de ocorrência de uma falha do equipamento protegido ( $P_{FEP}$ ) (Equação 2.11).

$$P_{FM} = \frac{1}{MTBF_{FM}} \text{ (%) } \quad (2.10)$$

$$P_{FEP} = \frac{1}{MTBF_{FEP}} \text{ (%) } \quad (2.11)$$

Deste modo, a expressão da Equação 2.8 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{1}{MTBF_{FM}} = \frac{1}{MTBF_{FEP}} \times U_{EP} \text{ (%) } \quad (2.12)$$

Trabalhando a expressão da Equação 2.12 obtém-se a indisponibilidade do equipamento de proteção, dada pela expressão da Equação 2.1.

$$U_{EP} = \frac{MTBF_{FEP}}{MTBF_{FM}} \text{ (%) } \quad (2.13)$$

Assim, a periodicidade das técnicas de detecção de falhas é dada pela expressão da Equação 2.14.

$$FFI = 2 \times \frac{MTBF_{FEP}}{MTBF_{FM}} \times MTBF_{EP} \text{ (anos)} \quad (2.14)$$

Verifica-se que os dois métodos apresentados divergem no modo em como é obtida a indisponibilidade do equipamento de proteção.

### **2.5.5- Técnica de Redesenho [1]**

As técnicas de redesenho correspondem a ações de alteração da configuração de qualquer componente de um determinado equipamento ou até mesmo do equipamento, podendo ser a nível da planta como a nível do componente/equipamento em si, trocando-o por outro igual ou por outro de outra marca ou tipo diferente; pode ainda verificar-se a mudança do contexto de operação do equipamento ou o método usado pelos operadores para realizarem as tarefas de manutenção. A aplicação destas técnicas implica a mudança de forma imediata das capacidades iniciais de um sistema.

## **2.6- Outras Metodologias de Manutenção**

As técnicas de manutenção expostas anteriormente podem ser aplicadas de forma combinada ou individualmente. Quando aplicadas de forma combinada são identificadas metodologias como a Manutenção Produtiva total, habitualmente conhecida como *Total Productive Maintenance* (TPM), a Manutenção Centrada na Fiabilidade que é o foco de estudo deste trabalho, habitualmente designada por *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) e a Manutenção Baseada no Risco, habitualmente designada por *Risk Based Maintenance* (RBM).

### **2.6.1- Manutenção Produtiva Total (TPM)**

A metodologia de manutenção produtiva total surgiu no Japão na década de 70 e é um processo que maximiza produtividade dos equipamentos, criando um ambiente no qual os esforços de melhoria da fiabilidade, de qualidade, de economia de custos e de criatividade são incentivados através da participação de todo o pessoal [10]. A TPM considera que a deterioração dos equipamentos é acelerada uma vez que há uma operação abusiva e falta de cuidado nos cuidados primários como é o caso de lubrificações, reapertes e limpezas. Estas ações podem ser efetuadas pelos próprios operadores. Os esforços dos operadores podem retardar a necessidade de manutenção preventiva e certamente a ocorrência de falhas [11].

A TPM teve três principais fases na sua evolução: a primeira fase, iniciada no Japão, tinha como foco a produção e era caracterizada pelo ideal de zero avarias, sustentada por cinco pilares (eficiência, autorreparação, planeamento, treino e ciclo de vida). A segunda fase, em 1989, foi marcada por um aprimoramento da anterior, traduzindo uma visão aplicada a toda a empresa sustentada em oito pilares, com o compromisso de chegar a perda zero. A terceira fase em 1997, que ainda hoje se mantém, propõe uma satisfação global onde se verifica um alto rendimento com a máxima redução de custos, tendo esta também oito pilares, sendo eles:

1. Manutenção autónoma;
2. Manutenção planeada;
3. Melhorias específicas;
4. Educação e treino;
5. Manutenção da qualidade;
6. Controlo das equipas em fase inicial ou de projeto;
7. Aplicação do processo à administração;
8. Segurança, Saúde e Meio-ambiente.

## 2.6.2- Manutenção Baseada no Risco (RBM) [11]

A manutenção baseada em riscos pode ser definida como um modelo de gestão da manutenção que objetiva minimizar os perigos causados por falhas não previstas dos equipamentos, de um modo economicamente viável. A análise do risco está associada à identificação dos perigos, da sua probabilidade de ocorrência e suas consequências. O perigo refere-se a um evento ou situação, real ou hipotético, que pode levar a uma perda, quer seja do equipamento, do sistema, da segurança, do ambiente ou outros. As consequências correspondem aos efeitos que poderiam ser originados caso os eventos de risco ocorressem, tendo uma probabilidade de ocorrência associada.

O processo de avaliação de risco considera a interação entre a probabilidade e as consequências da falha, existindo modelos qualitativos e quantitativos para uma avaliação consistente das consequências e da probabilidade. Um exemplo destes modelos encontra-se representado na Figura 2.8.

		Nível de Risco				
Consequência	Muito Alta			Muito Alto		
	Alta			Alto		
	Média	Médio				
	Baixa	Baixo				
	Muito Baixa	Muito Baixo				
		Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
		Probabilidade				

Figura 2.8 - Matriz qualitativa de riscos [11].

Uma análise de risco deve conter as seguintes etapas, segundo [12]:

- Identificação dos cenários de acidente envolvendo a falha do equipamento;
- Identificação dos mecanismos e modos de falha de uma potencial degradação;
- Determinar a probabilidade de cada mecanismo ou modo de falha;

- Avaliar as consequências resultantes de falhas do equipamento;
- Determinação do risco da falha do equipamento;
- Categorização e escalonamento do risco.

Implementado este tipo de manutenção verifica-se uma elevada carga de trabalho, no entanto, pode ser favorável do ponto de vista de em que conhecendo o risco associado a um determinado equipamento e todos os seus componentes é possível concentrar a manutenção nos componentes que visão um maior risco, uma vez que a manutenção é centrada nos componentes que são críticos, otimizando-se os custos e garantindo-se fiabilidade e disponibilidade do sistema.

### **2.6.3- Root Cause Analysis (RCA)**

A metodologia *Root Cause Analysis* tem como objetivo identificar as causas de uma determinada falha, após esta ter ocorrido, tentando ir à raiz do que provocou a falha. Esta prática baseia-se na crença de que os problemas que vão surgindo na SE são melhor resolvidos pela tentativa de corrigir ou eliminar as causas, por oposição ao mero tratamento dos sintomas evidentes. Espera-se com isto que a probabilidade de reincidência de um determinado evento seja minimizada. Esta ferramenta é normalmente um processo de melhoria continua.

Na tentativa de resolver ou corrigir o problema são analisados detalhadamente todos os acontecimentos que são suscetíveis de uma alta probabilidade de terem causado a falha. Através desta análise é possível definir as ações que devem ser tomadas para resolver o problema, de modo a que não suceda futuramente. Esta metodologia implica que sejam analisadas as seguintes questões:

1. Qual foi a falha?
2. Quais foram as causas da falha?
3. Que ações devem ser tomadas para que a falha não ocorra novamente?

## **2.7- Descrição do Processo de RCM II**

Segundo John Moubray em [1], o RCM (do inglês *Reliability Centered Maintenance*) é definido formalmente como “um processo utilizado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que o usuário quer que este faça no seu contexto operacional atual”, por outras palavras, é um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer ativo físico no seu contexto de operação.

O processo do RCM responde sequencialmente a sete questões acerca do ativo ou do sistema:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho desejados para o sistema ou equipamento no seu contexto operacional atual?
2. De que forma podem eles não cumprir as suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando a falha ocorre?
5. Qual é a importância de cada falha?
6. O que deve ser feito para prever ou prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se não existir nenhuma tarefa proactiva apropriada?

Segue-se a explicação de cada uma das perguntas.

### **2.7.1- Funções**

Antes da aplicação do processo para determinar o que deve ser feito para garantir que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem no seu contexto operacional, deve ser determinado o que o seu utilizador quer que o ativo faça e garantir que o ativo é capaz de fazer o que o seu utilizador quer que este faça. Deste modo, o primeiro passo a ser feito na metodologia RCM II é definir quais as funções que cada equipamento vai realizar no seu contexto de operação, de acordo com um nível de desempenho pretendido para este.

As funções que os usuários esperam do ativo podem ser integradas em duas categorias:

- Funções Primárias - são as razões principais pelo qual o equipamento é adquirido. Estas funções devem ser definidas de forma mais precisa possível.
- Funções Secundárias - a maioria dos ativos deverão cumprir uma ou mais funções, para além das suas funções primárias. Estas funções podem ser divididas em sete subcategorias:
  - Integridade ambiental;
  - Segurança / integridade estrutural;
  - Controlo / contenção / conforto;
  - Aparência;
  - Proteção;
  - Economia / eficiência;
  - Funções supérfluas.

### **2.7.2- Falhas Funcionais**

Se por alguma razão o ativo é incapaz de fazer o que o utilizador espera que ele faça, então considera-se que o ativo falhou, deste modo, falha é definida como a incapacidade de qualquer ativo fazer o que o seu utilizador espera que este faça. Como este conceito é vago distingue-se Falhas Funcionais e Modos de Falha.

Uma falha funcional é então definida como a incapacidade de qualquer ativo cumprir uma determinada função num determinado nível de desempenho de modo aceitável para o utilizador. Além de uma incapacidade total de realizar uma função ainda se pode definir as falhas parciais, que ocorrem quando um ativo ainda funciona mas com níveis de desempenho inaceitáveis, isto inclui situações em que o ativo não assegura níveis aceitáveis de qualidade e precisão.

### **2.7.3- Modos de Falha**

Após serem determinadas as funções e as falhas funcionais do ativo o próximo passo é identificar todos os eventos que podem levar a um estado de falha, ou seja, a cada falha funcional já identificada. Deste modo, um modo de falha é qualquer evento que cause uma falha funcional.

Os modos de falha podem ser classificados em três categorias:

- Quando a capacidade de desempenho fica aquém do desejado;
- Quando o desempenho desejado sobe além da capacidade inicial;
- Quando o ativo não é capaz de realizar as funções pretendidas desde o princípio;

Alguns exemplos de modos de falha são o desgaste, deterioração, rotura de componentes, erros humanos e falhas do projeto.

Os modos de falha dominantes são aqueles que são responsáveis por uma parte significativa de todas as falhas de um determinado equipamento.

A descrição de um modo de falha deve ser suficientemente detalhado para que seja possível selecionar uma técnica de manutenção apropriada a este, ou seja, são os modos de falha mais comuns. É de notar que nem todos os modos de falha devem ser considerados, assim, os modos de falha que devem ser considerados são:

- Falhas que já ocorreram anteriormente no equipamento ou em equipamentos semelhantes, no mesmo contexto de operação;
- Os modos de falha que já são sujeitos a rotinas de manutenção proactiva;
- Qualquer outro modo de falha que ainda não tenha ocorrido mas é provável que venha a acontecer, no contexto atual de operação.

### **2.7.4- Efeitos de Falha**

O quarto passo do processo do RCM implica que seja listado o que acontece quando cada modo de falhas ocorre, a isto são chamados os efeitos da falha.

A descrição dos efeitos da falha deve incluir toda a informação necessária para suportar a avaliação das consequências das falhas, deste modo a informação a incluir será:

- Qual foi a evidência (caso exista) de que o modo de falha aconteceu (como por exemplo alarmes e ruídos anormais);
- De que forma é que o modo de falha representa ameaças (caso existam) para a segurança e/ou para o ambiente (por exemplo, aumento dos níveis de ruído, risco de fogo ou explosão e queda de objetos);
- De que forma o modo de falha afeta a operação do sistema (como por exemplo: tempo necessário para reparação do modo de falha e posterior reposição de serviço, custos totais resultantes do modo de falha);
- Quais os danos físicos (caso existam) causados pela falha (como por exemplo, rotura de componente de um equipamento);
- O que é necessário para proceder à reparação da falha.

### **2.7.5- Consequências das Falhas**

Uma análise detalhada de um sistema elétrico de distribuição pode ter inúmeros modos de falha, que têm efeitos no próprio sistema podendo afetar a qualidade de serviço, prejudicando inúmeros clientes, ter sérios efeitos no ambiente ou na segurança de pessoas, bens ou infraestruturas.

Deste modo, o passo seguinte, no processo de RCM II, é perceber qual a importância da ocorrência cada modo de falha. Cada modo de falha pode ter diversas consequências e estas podem por em causa o bom funcionamento do sistema sendo necessário implementar técnicas de manutenção proactivas nestes casos, caso estas consequências não ponham em causa o bom funcionamento do sistema, ou seja, quando as consequências são pouco relevantes, então são aplicadas técnicas de manutenção reativa.

Na metodologia RCM II uma tarefa proactiva vale a pena ser feita se as consequências do modo de falha forem reduzidas e ainda se os custos associados o justificarem, não tendo como objetivo evitar modos de falha. No processo de avaliação das consequências dos modos de falha efetua-se uma distinção entre funções: funções evidentes e funções não evidentes, ou “escondidas”. As funções evidentes são aquelas que são visíveis pelas equipas de manutenção em condições normais de operação, manifestam-se através de sinalizações de alarmes, ruídos anormais e interrupções do processo, por exemplo. As funções não evidentes são aquelas que quando ocorre uma avaria num dado equipamento este permanece avariado até que uma outra falha ocorra, não sendo perceptível para as equipas de manutenção em condições normais de operação. Deste modo, são correspondidos às funções modos de falha evidentes e não evidentes ou “escondidos”, sendo os modos de falhas evidentes classificados em quatro categorias de consequências: segurança, ambientais, operacionais e não operacionais.

As consequências dos modos de falha são então divididos em:

- **Consequências das falhas não evidentes ou “escondidas”:** Este tipo de consequências não têm um impacto direto no sistema, no entanto podem levar à ocorrência de falhas múltiplas com consequências muito graves, até mesmo catastróficas. Um exemplo disto é quando uma função de proteção de um equipamento está num estado de falha e não é possível identificar; ocorrendo um defeito esta função de proteção não atua, havendo assim falhas múltiplas. A primeira falha só foi descoberta porque ocorreu o segundo estado de falha.
- **Consequências de segurança:** Um modo de falha tem este tipo de consequência se diretamente ou por meio de uma outra avaria causada por este modo de falha colocar em risco vidas humanas.
- **Consequências ambientais:** Este tipo de consequência existe caso haja danos ambientais ou sejam violadas normas ambientais.
- **Consequências operacionais:** Um modo de falha tem consequências operacionais se afetar diretamente a produção ou processo, como é o caso de interrupção no fornecimento de energia, afetação dos índices de fiabilidade que avaliam a continuidade de serviço. De algum modo estão ligadas a modos de falha nas funções primárias de um equipamento ou sistema.
- **Consequências não operacionais:** Um modo de falha tem consequências não operacionais se não tem efeitos adversos na segurança, no ambiente ou na produção/processo. Estas consequências apenas envolvem custos diretos das reparações dos modos de falha.

#### **2.7.6- Aplicação da Manutenção Proativa**

De modo a existir prevenção e previsão das falhas são aplicadas ações de manutenção proactiva: manutenção preventiva sistemática ou manutenção preventiva condicionada, sendo este o sexto passo da aplicação da metodologia de RCM II.

A manutenção preventiva sistemática é um tipo de manutenção efetuada periodicamente. A manutenção preventiva sistemática é agendada com base em sinalizações dos sistemas de autodiagnóstico dos equipamentos do sistema.

#### **2.7.7- Aplicação de Técnicas de Manutenção Reativa**

Quando não é possível aplicar nenhuma das técnicas de manutenção proactiva então torna-se necessário recorrer a técnicas de manutenção reativas, especificamente adotadas na metodologia do RCM II: técnicas corretivas, técnicas de redesenho dos componentes/equipamentos e técnicas de deteção de falhas. Este é o sétimo e último passo da aplicação da metodologia RCM II.

### 2.7.8- Processo de Seleção de Técnicas de Manutenção

O processo de seleção das técnicas de manutenção a aplicar ao sistema e/ou aos equipamentos (junção do passo 6 e 7 da metodologia RCM II) é efetuado através de um diagrama de decisão denominado diagrama de decisão *Reliability Centered Maintenance II*, que se encontra representado na Figura 2.9. Este diagrama é aplicado a cada modo de falha, tendo como objetivo a obtenção da técnica de manutenção a aplicar a um determinado modo de falha. As técnicas devem ter condições que “valham a pena fazer-se” e que permitam ser “tecnicamente praticáveis”, estando estas representadas na Tabela 2.1, mostrando-se essenciais para o processo de decisão.

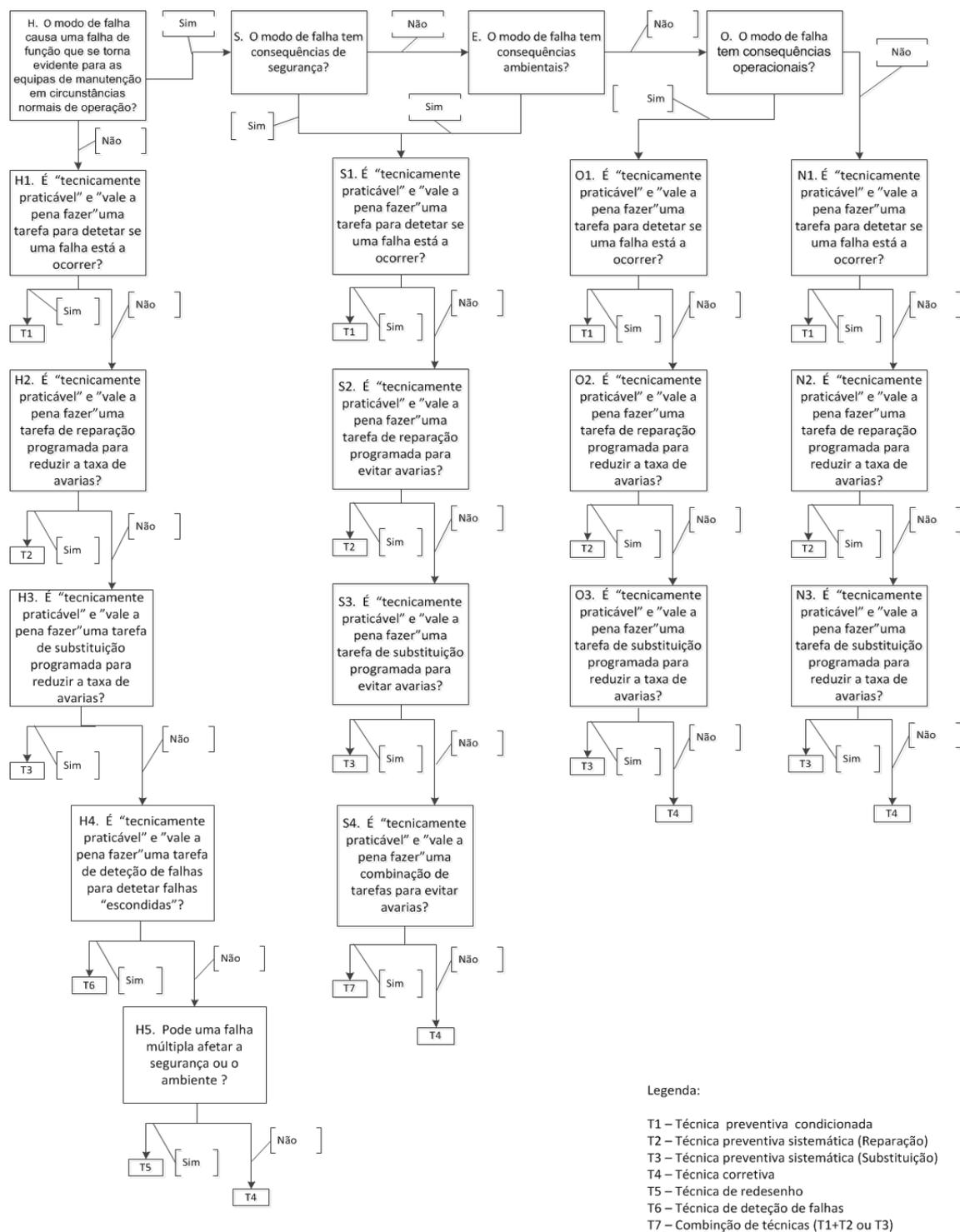


Figura 2.9 - Diagrama de decisão *Reliability Centered Maintenance II* [1], [12].

Tabela 2.1 - Condições que as técnicas de manutenção devem possuir para "valerem a pena fazer-se" e serem "tecnicamente praticáveis" no processo de seleção do diagrama de decisão RCM II [12].

Técnica	"vale a pena fazer"	"é tecnicamente praticável"
<p><b>Preventiva Condicionada (T1)</b></p>	<p>Se reduz a probabilidade de falhas para o valor mais baixo possível, considerado aceitável, no caso dos modos de falha "escondidos". Nos equipamentos de proteção estas técnicas devem possibilitar diminuir a sua indisponibilidade. Nos equipamentos protegidos devem diminuir a sua taxa de avarias.</p> <p>ou</p> <p>Se reduz a probabilidade de falha para o valor mais baixo possível, considerado aceitável, no caso de modos de falha evidentes com consequências de segurança e ambiente.</p> <p>ou</p> <p>Se durante um período de tempo apresenta um custo inferior ao custo resultante das consequências operacionais e de reparação de falha, no caso de modos de falha evidentes com consequências operacionais.</p>	<p>Se é possível identificar claramente uma potencial falha;</p> <p>Se o intervalo P-F é consistente, ou seja, não apresenta variações constantemente, não se correndo o risco de detetar a falha potencial depois de esta se tornar numa falha funcional;</p> <p>Se é praticável monitorizar o componente em intervalos menores que o intervalo P-F;</p> <p>Se o intervalo entre a descoberta da potencial falha e a ocorrência da falha funcional for suficientemente longo para que uma ação seja tomada para reduzir ou eliminar as consequências do modo de falha.</p>
<p><b>Preventiva Sistemática (Reparação de componentes) (T2)</b></p>	<p>Se durante um período de tempo, apresenta um custo inferior ao custo de reparação da falha, no caso de modos de falha evidentes com consequências operacionais.</p>	<p>Se é possível identificar uma idade em que o componente verifica um rápido aumento da probabilidade de falha;</p> <p>Se permite o restabelecimento das capacidades iniciais do componente.</p>
<p><b>Preventiva Sistemática (Substituição de componentes) (T3)</b></p>	<p>Se durante um período de tempo, apresenta um custo inferior ao custo de reparação da falha, no caso de modos de falha evidentes com consequências operacionais.</p>	<p>Se é possível identificar uma idade em que o componente verifica um rápido aumento da probabilidade de falha.</p>

<p><b>De deteção de falhas (T6)</b></p>	<p>Se reduz a probabilidade de falhas múltiplas para o valor mais baixo possível, considerado aceitável, no caso de modos de falha “escondidos”.</p>	<p>Se é possível aceder ao equipamento de proteção e não haver necessidade de o desmontar para realizar as inspeções;</p> <p>Se não aumenta o risco de falhas múltiplas aquando da sua realização;</p> <p>Se é exequível no intervalo requerido. Caso os intervalos sejam muito curtos, a execução das técnicas de deteção de falhas pode assumir custos elevados de mão-de-obra e de interrupções de serviço.</p> <p>Se os intervalos forem muito longos, na ordem das centenas de anos, por exemplo, as técnicas de deteção de falhas são desnecessárias.</p>
---	--	---

## 2.8- Sumário

Neste capítulo foram referidos conceitos de fiabilidade, de custos de manutenção e diferentes metodologias de manutenção. É de realçar que as metodologias de manutenção quando aplicadas de forma conjunta podem produzir resultados benéficos, quer em termos de custos quer em termos de fiabilidade do sistema, apesar que quando cada técnica é aplicada de forma individual acarreta mais ou menos benefícios. Na Figura 2.10 pode ver-se para cada metodologia de manutenção básica e individual qual o seu nível expectável de benefícios, sendo de verificar que a manutenção proativa é a que devolve mais benefícios.

Na metodologia RCM II são seguidos sete passos para sua aplicação sendo que nos dois últimos passos é feita a seleção dentro de um conjunto de técnicas de manutenção passíveis de aplicar ao equipamento, sendo avaliadas por “valerem a pena fazer-se” e serem “tecnicamente praticáveis”, de acordo com os efeitos e as consequências dos modos de falha. Esta metodologia engloba um conjunto de técnicas de manutenção que serão seleccionadas para que sejam asseguradas a máxima fiabilidade e segurança, ao menor custo possível. Cada utilizador do RCM II deve conhecer os limites do sistema, as funções de cada sistema/equipamento, falhas funcionais e modos de falha, uma vez que todas estas

componentes são críticas na elaboração deste processo. É de referir, ainda, que as técnicas de manutenção proactiva nesta metodologia têm prioridade sobre as técnicas de manutenção reativas.

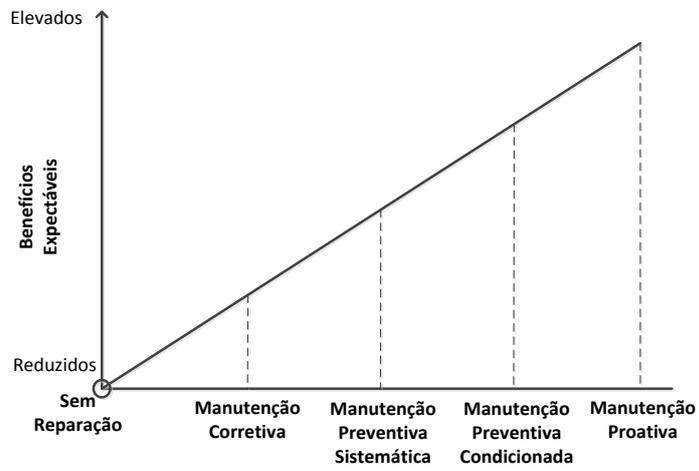


Figura 2.10 - Benefícios expectáveis das técnicas de manutenção.

## Capítulo 3

# Sistema de Proteção, Comando e Controlo: Uma Descrição

O objetivo deste capítulo é descrever o Sistema de Proteção, Comando e Controlo de subestações Numéricas de AT/MT da Operadora da Rede Nacional de Distribuição (RND). De modo a proceder a uma implementação do RCM II vai ser aqui descrita a forma como está organizado e como funciona o SPCC de uma subestação AT/MT numérica.

Neste capítulo será descrita a evolução dos Sistemas de Proteção, Comando e Controlo (SPCC) na secção 3.1, será identificada a localização dos diferentes componentes na secção 3.3 e estes serão descritos na secção 3.5 e indicados os tipos de manutenção a que são sujeitos na secção 3.6. Para efetuar este processo será tido em conta o modelo mais atual de SPCC e a sua arquitetura, organização funcional e funções de proteção e automatismo.

### 3.1- Evolução dos Sistemas de Proteção, Comando e Controlo [13]

Inicialmente as subestações (SE's) da Rede Nacional de Distribuição (RND) necessitavam permanentemente de colaboradores a operar 24 horas por dia e 365 dias por ano, com objetivo de garantir a operação e intervenção nas instalações. Com a evolução do sistema de proteção, comando e controlo as subestações foram ganhando autonomia, deixando de ser necessária a presença permanente de colaboradores na subestação. No processo de evolução a gestão da rede (comando e controlo) passou a ser efetuada de forma centralizada. A evolução dos sistemas de telecomunicação e de automação e sua integração nas subestações permitiu instalar nas subestações um sistema de proteção e um sistema de comando e controlo.

Na filosofia tradicional dos Sistemas de Comando e Controlo (SCC) Clássicos, o Sistema de Comando e Controlo é assegurado por um autómato: a Unidade Remota de Teleação e Telecontrolo (URTA), sendo esta responsável pelos automatismos e telecontrolo, integrando

uma base de dados onde está centrada toda a informação da subestação e onde é efetuado o registo cronológico de todos os acontecimentos da SE.

O sistema de proteção do SCC clássico é implementado de forma autónoma e descentralizado, estando as proteções instaladas em cada painel. O Sistema de Proteção recebe informação de defeitos das unidades comunicando à URTA e posteriormente, caso necessário, esta dará ordem para realizar o automatismo solicitado ao painel com defeito. A interação com a aparelhagem da SE é feita através de relés.

Com o aparecimento das proteções numéricas e implementação das redes locais de comunicação ocorreu uma evolução muito substancial nos SPCC's, permitindo uma descentralização das suas funcionalidade, aproximando os sistemas de proteção com os sistemas de comando e controlo. Nestes novos sistemas são identificados dois dispositivos fundamentais:

- Unidade de Painel (UP) responsável por proteção, aquisição, tratamento de sinalizações, execução de comando e aquisição de grandezas analógicas, desempenhando ainda algumas funções de automatismo;
- Unidade de Processamento Central (UPC) que possui uma base de dados centralizada sendo responsável pela comunicação com o centro de comando e pelo tratamento das comunicações locais ou remotas.

Estas SE's com sistemas de comando e controlo numérico apesar de serem muito vantajosas face às SE's clássicas apresentaram várias limitações como é o caso da base de dados centralizada. Deste modo convergiu-se para a solução atual: sistemas de controlo integrado, ou seja, Sistemas Proteção, Comando e Controlo Numéricos, onde as funções de proteção e automatismo são contempladas num só dispositivo: Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED's).

Nestes sistemas são várias as vantagens face aos sistemas anteriores, uma vez que se conseguiu uma descentralização das bases de dados, maior autonomia de proteções por painel, possibilidade de implementação de condições específicas de funcionamento, uma rede local de comunicações (RLC) fiável e redundante e ainda uma interface humano-máquina amigável do ponto de vista do utilizador.

### **3.2- Sistemas de Proteção, Comando e Controlo**

Num sistema de proteção, comando e controlo numérico os equipamentos constituintes são de tecnologia digital e são integrados de forma a serem um sistema único, que tem como objetivos, segundo [14]:

- Uma estruturação modular e flexível que se possa adaptar a possíveis evoluções;

- Simplificação das interligações entre os diferentes equipamentos deste sistema;
- Maior eficiência na supervisão da instalação, conseguida através de funções de autodiagnóstico, por forma a facilitar a realização de tarefas de planificação, de controlo, de conservação e manutenção;
- Através da interligação conseguida pela tecnologia usada, otimizar o controlo das diversas funcionalidades do sistema.

Um SPCC tem, de forma generalizada, um conjunto de funções que possibilitam configurar, parametrizar, recolher dados à distância e comunicar com os diversos agentes intervenientes na rede, [14]:

- **Telecontagem**

Esta função consiste na leitura e contabilização diária de valores de energia transitados na rede elétrica. Estes valores serão pedidos e em consequência enviados para uma central de tratamento localizada “à distância”.

- **Teleengenharia**

A função de teleengenharia permite assegurar as funções de proteção e automatismos, recolher informações relativas a todo o SPCC e efetuar a alteração de parâmetros e modos de funcionamento das funções de proteção e automatismo. Este serviço será executado a partir de um Centro de Engenharia ou do Centro de Condução.

- **Supervisão de Equipamentos**

Na supervisão de equipamentos efetua-se a manutenção e/ou supervisão à distância de equipamentos existentes na subestação. Poderão existir vários equipamentos na subestação que disponibilizem funções deste tipo e que podem vir a ser sujeitos a um processo de manutenção/conservação à distância.

- **Teleproteção**

Este serviço permite assegurar a ligação entre duas ou três instalações distintas.

- **SCADA**

O SCADA é uma aplicação que possibilita a supervisão e o comando da subestação, local ou remotamente.

Existem ainda numa subestação outros serviços e aplicações que são complementares às funções referidas anteriormente, como é o caso da vídeo vigilância, o telefone, o apoio remoto por vídeo e a monitorização da qualidade de serviço técnico.

### 3.3- Arquitetura e Organização Funcional do SPCC

O SPCC é o responsável pela supervisão, comando, controlo e proteção de todos os órgãos da subestação AT/MT, tendo na sua constituição diversos módulos de processamento de informação, que devidamente interligados, lhes permite desempenhar funções inerentes à subestação, como condições específicas do sistema, funções de proteção, funções de automatismo, entrada e saída de informação, registo e tratamento de ocorrências e funções de manutenção e teleparametrização.

A arquitetura de uma subestação está dividida em três níveis hierárquicos interligados entre si:

1. **Nível 0** - Processo (constituído pelos equipamentos AT/MT da subestação com os quais o SPCC interage: equipamentos primários da SE);
2. **Nível 1** - Unidade de painel / dispositivo eletrónico inteligente (IED);
3. **Nível 2** - Unidade Central de Processamento

A descrição dos níveis segue-se:

1. No Nível 0 são encontrados os equipamentos como os Disjuntores, os Transformadores de Tensão e de Corrente. São também exercidas as funções clássicas de cada equipamento primário da SE.
2. No Nível 1, os IED's têm as seguintes funções:
  - Processamento de funções de proteção, automatismo e condições específicas de funcionamento;
  - Colocação e/ou retirada de serviço grupos de regulações predefinidos;
  - Alteração de parâmetros mediante a introdução de palavra-chave;
  - Recolha e visualização de registos de osciloperturbografia e cronológicos de acontecimentos;
  - Permitir visualizar os parâmetros das funções de proteção, automatismos e condições específicas de funcionamento da SE.

Os principais módulos funcionais que constituem uma proteção numérica como é o caso do IED são os indicados de seguida e estão representados na Figura 3.1:

1. Entrada de medidas analógicas;
2. Entrada de sinalizações digitais;
3. Microprocessador;
4. Comunicação;
5. Interface Humano-Máquina (keyboard e display);

6. Alimentação;
7. Saída de comandos digitais.

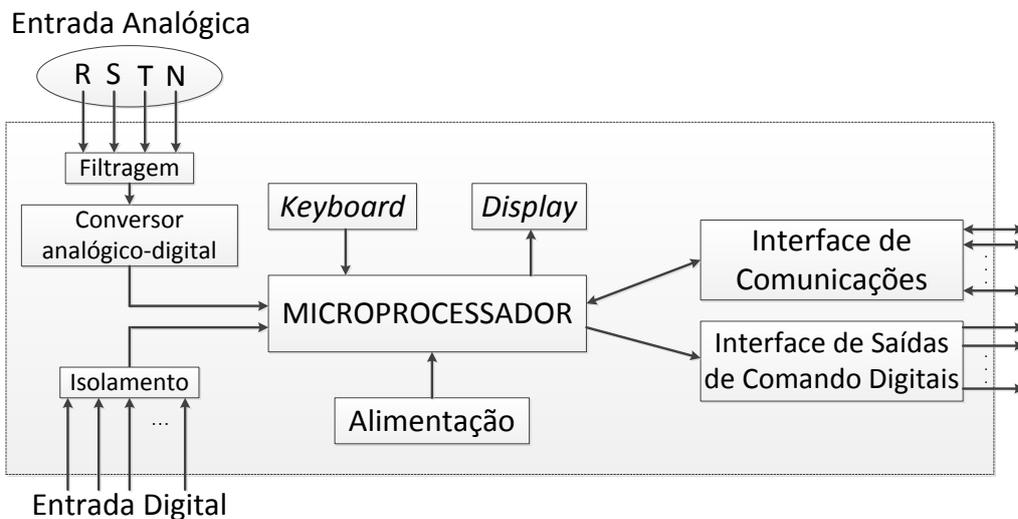


Figura 3.1 - Representação em diagrama de blocos de uma proteção numérica.

Os módulos de entrada analógica e digital permitem a aquisição de sinalizações e medidas provenientes dos equipamentos provenientes do Nível 0. Estes sinais após filtrados e convertidos em digitais, no caso de a entrada ser analógica, e isolados, no caso de a entrada ser digital, dão entrada no microprocessador onde são processados.

O microprocessador recebe uma alimentação dos circuitos DC que transportam sinais de controlo e alarme. Deste modo quando ocorrem defeitos no sistema AC, a operação dos equipamentos de manobra não é afetada [12].

O módulo correspondente ao microprocessador tem como responsabilidade o processamento da informação necessária às várias funções de proteção, automatismos, condições específicas de funcionamento e outras, disponíveis no painel [14].

A interface humano-máquina é conseguida através da presença de um *keyboard*, isto é, o conjunto de um teclado e um rato, e um *display*. Através destes meios o utilizador consegue ver a informação do microprocessador e ainda ter comando local sobre o painel.

A proteção numérica é dotada de um módulo de comunicação que permite que um IED interaja com outras unidades de painel ou a unidade central através da rede local de comunicações [14].

Após toda a informação ser processada segue para o módulo de saída de comandos digitais que é responsável por emitir ordens para o processo (Nível 0), sob solicitação das funções de telecomando, proteção, automatismo e/ou das condições específicas de funcionamento [14].

3. No Nível 2 estão integrados a unidade central (UC) e o posto de comando local (PCL). Aqui deverão ser desempenhadas as funções relacionadas com o comando e controlo de toda a instalação no local e à distância. Segundo [13]:

- Funções desempenhadas pela Unidade Central:
  - Responsável pela comunicação local com os IED's, com o centro de condução e telemanutenção (centro de engenharia remoto);
  - Possibilita a supervisão, o comando local, a recolha e o tratamento da informação gerada na SE;
  - Permite a gestão do arquivo registo cronológico de eventos no disco do PCL e oscilografia;
  - Contém implementações das funções de automatismos;
  - Assegura o envio de informação, via rede Ethernet, para o PCL.
- Funções desempenhadas pelo Posto Comando Local:
  - Permite efetuar a supervisão, comando e controlo local;
  - Possibilita a comunicação com a unidade central.

### 3.4- Funções de Proteção, Automatismo e Complementares das Proteções Numéricas

A vigilância do funcionamento da rede é assegurada por um conjunto de funções que cada um dos painéis integra de modo a serem detetados os defeitos da rede. Por interação ou não com as funções de automatismo procura-se que os defeitos sejam eliminados o mais depressa possível, no sentido de garantir uma exploração da rede segura e com elevada continuidade e qualidade de serviço. Além das funções de proteção e de automatismo existem funções complementares, que como o próprio nome indica complementam as outras funções.

Na Tabela 3.1 encontram-se identificadas as funções de proteção, automatismo e complementares de cada um dos painéis da SE AT/MT.

**Tabela 3.1** - Funções de proteção e funções de automatismo nos diferentes painéis da SE.

Painel Função		Linha AT	Barras AT	Linha AT/TP	TP	Chegada MT	Linha MT	BC	TSA & RN
Proteção [15]	MIF	•		•		•	•		•
	MIH								•
	MIHD	•					•		
	PTR	•					•		•
	mU		•			•			
	MU					•			

	mF	•				•	•		
	MF	•					•		
	PDIF	•	•	•					
	Distância	•							
	<i>Weak end Infeed</i>	•							
	Condutor Partido	•					•		
	Presença de Tensão						•		
	<i>Cold Load Pickup</i>						•		
	<i>Inrush restraint</i>						•		
	Verificação de Sincronismo	•	•						
	Desequilíbrio de Neutro								
	Máximo de tensão homopolar de terras resistentes								•
	Teleproteção	•							
	Power Swing Detection	•							
Automatismo	Religação Rápida e/ou lenta de disjuntores [16]						•		
	Pesquisa de terras resistentes [17]					•	•		
	Deslastre e Reposição por tensão [18]		•			•			
	Deslastre e reposição por frequência [19]					•			
	Regulação automática de tensão [20]					•			
	Comando horário de BC [21]								
	Comutação Automática de disjuntores de BT [22]								•
	Complementares	Registo Cronológico de acontecimentos	•	•	•		•	•	
Osciloperturbografia		•	•	•		•	•		•

Monitorização do disjuntor	.		.		.	.		.
Localizador de defeitos	.							

### 3.5- Descrição dos Equipamentos do SPCC de uma SE Numérica

O sistema de proteção, comando e controlo é constituído por um conjunto de equipamentos interligados que vão do nível 0 ao nível 2. Nesta secção irão apenas ser descritos equipamentos do nível 1, nível 2 e equipamentos que interligam o nível 1 com o nível 2. Estes equipamentos mostram-se indispensáveis ao funcionamento do SPCC numérico e encontram-se no interior da SE AT/MT.

Os equipamentos a ser descritos e posteriormente analisados são:

1. Unidade Central (UC);
2. Posto de Comando Local (PCL);
3. Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED's);
4. Rede Local de Comunicações (RLC) do SPCC;
5. Sistema de Posicionamento Global (GPS).

#### 3.5.1- Unidade Central (UC)

A UC é responsável pela execução de funções de comando e controlo de toda a instalação, quer no local quer à distância. De acordo com [23] executa as seguintes funções:

- Supervisão e comando local da subestação;
- Recolha e tratamento da informação gerada na subestação;
- Gestão dos registos cronológicos de acontecimentos na subestação, garantindo que estes registos e os registos de oscilografia são armazenados no PCL;
- Implementação das seguintes funções de automatismo:
  - Relastre por regresso de tensão;
  - Relastre por normalização de frequência;
  - Comando horário de baterias de condensadores;
- Configuração, parametrização e manutenção de todos módulos funcionais do sistema, através do PCL;
- Animação em tempo real dos diversos quadros gráficos da Interface Humano-Máquina (IHM) disponíveis no PLC;
- Interligação com o Centro de Condução (e de manutenção) (CC).

Além da comunicação com o Centro de Condução a UC deve ser vista como um nó da rede que permite comunicar com todos os IED's através da RLC, deste modo a base de dados da UC deve ser atualizada com informação enviada dos IED's e ainda dos comandos provenientes do PLC e Centro de Condução. A comunicação entre a UC e o PCL é assegurada via rede *Ethernet*.

A UC deve assegurar alguns critérios que são fundamentais para o bom funcionamento do sistema:

- Minimização do tempo de resposta do sistema;
- Maximização da disponibilidade do sistema;
- Facilidade de manutenção do sistema;
- Flexibilidade de exploração e evolução.

Fisicamente este constituinte do SPCC deverá ser tido num computador industrial, sem partes móveis como discos rígidos e ventoinhas de arrefecimento, devendo utilizar um sistema operativo adequado a este tipo de aplicação, em Português, multitarefa, tendo de respeitar determinados requisitos mínimos que podem ser vistos em [23].

De modo a “aliviar” a base de dados (BD) deve haver a possibilidade de efetuar uma cópia integral do conteúdo desta para um dispositivo de armazenamento de dados externo.

### **3.5.2- Posto de Comando Local (PCL)**

O PCL tem como funcionalidade o arquivo dos registos do SPCC e de todas as funções de visualização e interface operacional com o utilizador associadas ao Nível 1 do SPCC. Através do PCL deve ser possível de efetuar a parametrização e configuração dos IED's e ainda a análise do registo de eventos.

Através de um tratamento estruturado da informação, no PCL, é pretendido que seja feita a supervisão e o comando global da instalação de AT e MT. Para que tal seja possível deve ser permitido, segundo [24]:

- Visualizar os esquemas sinóticos globais e parciais da instalação, incluindo o estado atual de todos os órgãos e aparelhagem que consta na BD do sistema;
- Visualizar o valor de todas as medidas presentes na BD;
- Efetuar comandos sobre toda a aparelhagem que o permitam e que estejam indicados na BD;
- Através de um registo cronológico, visualizar todas as ocorrências na instalação;
- Proceder ao tratamento de parâmetros de automatismos, de proteções, de comunicações e de registo de perturbações;
- Visualizar o estado do autodiagnóstico do SPCC;
- Simular manobras sobre os equipamentos da subestação, permitindo deste modo o ensaio da resposta do sistema.

De notar que o PCL deve obedecer aos mesmos critérios que a UC para o bom funcionamento do SPCC.

O PLC deverá ser baseado num PC industrial, com sistema operativo Windows XP (ou superior), multitarefa, em Português tendo de respeitar, tal como a UC, requisitos mínimos de *hardware*, montagem, portas de comunicação e sincronização, que podem ser consultados em [23].

Além dos programas necessários para o bom funcionamento do PCL, devem ainda ser instalados os seguintes programas/funcionalidades, segundo [24]:

- Implementação que não permita utilizadores com determinado perfil aceder ao Sistema Operativo;
- Programa antivírus;
- Programa que execute totalmente e completamente a imagem dos Discos do PCL.

### 3.5.3- Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED's)

Os IED's são responsáveis pela execução das funções de proteção, automatismo e controlo da aquisição de dados e comando da aparelhagem de AT e MT, sendo que através de *hardware* específico podem realizar, segundo [23]:

- Aquisição de sinalizações da aparelhagem da subestação e medição de grandezas elétricas;
- Emissão de ordens por solicitação das funções de telecomando, proteção ou automatismo;
- Implementação das funções de automatismo e de proteção;
- Interação com outros IED's e com a UC, através da rede local de comunicações;
- Comando local dos órgãos de manobra de cada painel.

Cada IED deverá ter um sistema de autodiagnóstico que verifique continuamente o estado do *hardware* e *software* de cada um dos seus módulos funcionais.

Ao nível dos IED's pretende-se ainda, segundo [24]:

- Visualizar os parâmetros das funções de proteção, automatismos e condições específicas de funcionamento da subestação;
- Colocar/retirar de serviço grupos de regulações pré-definidos (definidos pelo fabricante);
- Colocar/retirar de serviço funções;
- Alterar parâmetros mediante introdução de “palavra-chave”;
- Recolher e visualizar registo de osciloperturbografia e cronológicos de acontecimentos;
- Atuar sobre a aparelhagem primária, ou seja, órgãos do nível 0.

### 3.5.4- Rede Local de Comunicações do SPCC

A Rede Local de Comunicações (RLC) é o meio físico pelo qual é assegurada a interconexão entre os equipamentos processadores: a UC, os IED's e o PCL. Esta rede local é designada de rede de área local (LAN - *Local Area Network*).

A infraestrutura física da RLC deve ser *fast ethernet*, suportada em fibra ótica, devendo garantir uma velocidade de transmissão de dados adequada entre os equipamentos interligados.

A comunicação entre a UC e o Centro de Condução é feita por uma rede de comunicação WAN (*Wide Area Network*), isto é, uma rede que abrange uma grande área geográfica.

De acordo com [25], a RLC tem de cumprir os seguintes requisitos:

- **Performance**

Este requisito poderá variar de acordo com a distribuição das funções pelos vários níveis do SPCC, no entanto terá sempre que ser adequada à natureza crítica dos dados a transmitir e aos tempos de resposta a atingir, devendo ser garantida uma elevada consistência temporal.

- **Tempos máximos admitidos para as funções críticas**

Atendendo à importância e rapidez de resposta que a rede elétrica exige, o dimensionamento da rede local de dados do SPCC, deve garantir o cumprimento de todos os tempos máximos de atuação para as funções críticas do sistema, sendo elas:

- Deslastre de Frequência;
- Regime Especial de Exploração;
- Arco Interno;
- Lógica de Encravamentos;
- Deslastre de tensão AT e MT.

- **Segurança**

É fundamental garantir a segurança de qualquer rede local de dados, tanto a nível de possíveis erros, bem como através da restrição de acesso apenas a entidades devidamente autorizadas.

A rede para ser segura deve ter redundância, elevada fiabilidade, sendo tolerante a falhas, possibilidade de deteção de sinais de erro da camada física, mecanismos de segurança para verificação da integridade da informação e possibilidade de observação continua dos erros e dos níveis de performance.

- **Flexibilidade e disponibilidade**

A rede deve estar preparada para eventuais alterações na sua configuração. Além disto, deve ser garantido que a avaria de um componente não põe em risco o funcionamento do restante sistema.

- **Expansão**

A estrutura da rede deve permitir, a qualquer altura, a introdução de novos componentes, sem que seja posta em causa a sua performance, nem seja necessária a substituição de software.

- **Interoperabilidade**

A possibilidade de interligar vários equipamentos de diferentes fabricantes deverá ser garantida, sem que seja posta em causa a performance global do SPCC.

- **Vida Útil**

A coexistência de diferentes tipos e gerações de equipamentos, com diferentes funções e capacidade deve ser permitida na RLC.

Os equipamentos que permitem a comunicação da RLC descritos e apresentados de seguida.

#### 3.5.4.1- *Hub* [26], [27]

É um dispositivo que concentra a ligação entre os diversos equipamentos de uma rede de área local (LAN). Este equipamento envia uma mensagem e todos os outros equipamentos que estão ligados na mesma rede irão recebê-la. No caso de dois equipamentos transmitirem uma ao mesmo tempo, ocorrerá uma colisão na rede. Não tem capacidade para identificar os equipamentos que estão ligados em rede, ou seja, não tem capacidade para encaminhar a mensagem transmitida do equipamento apenas para o equipamento de destino. Ao utilizar este dispositivo toda a capacidade do meio é partilhada por todos os equipamentos, assim, quanto maior o numero de equipamentos instalados na rede menor será a largura de banda disponível para cada um, isto é, há partilha de banda entre as portas do dispositivo.

#### 3.5.4.2- *Switch* [26], [27]

Um *switch* (ou comutador) tem como função a troca de dados entre diferentes IED's, isto é, permite que os dados enviados por um IED sejam comutadas para o IED de destino. Os *switches* permitem a comutação simultânea de várias portas, sendo necessário para tal que haja um mecanismo de comutação suficientemente rápido. Estes *switches* designam-se de *switches* sem bloqueio (*Non-Blocking switches*).

É de referir que ao contrário dos *hubs* a largura de banda de uma porta não é partilhada com as restantes portas.

No SPCC numérico são colocados vários *switches* que fazem o anel, sendo de salientar que na abertura e fecho é colocado um *switch* designado de *switch* primário, que no caso de ocorrer uma falha neste o impacto será consideravelmente maior no funcionamento do SPCC do que se for num dos *switches* que constituem o resto do anel.

#### 3.5.4.3- *Routers* [27]

O *router* é um dispositivo que pode desempenhar as mesmas funções do *switch*, no entanto tem a capacidade de escolher a melhor rota que determinada trama de dados deve seguir para o seu destino, isto é, tem a capacidade de escolher o caminho onde haja menor tráfego de dados e o “caminho” que seja mais rápido.

Os *routers* são capazes de interligar várias redes e nas subestações trabalham em conjunto com os *switches*. O *router* permite a interligação da rede LAN com a rede WAN, sendo também, muitas vezes, o interface entre o SPCC e o Sistema de Telecomunicações. Estes equipamentos permitem ainda o acesso através da rede de teleengenharia de forma fiável e eficiente.

Existem dois tipos de *routers*, os dinâmicos e os estáticos. Os *routers* estáticos escolhem sempre o menor percurso para a passagem dos dados, sem ter em consideração o congestionamento; os *routers* dinâmicos selecionam a sua rota com base no nível de congestionamento, sendo muitos destes capazes de efetuar a compressão de dados para aumentar a taxa de transmissão.

#### 3.5.4.4- *Modems*

Um *modem* é um equipamento que faz a modulação de um sinal digital para um sinal analógico e faz a demodulação do sinal analógico reconvertendo-o num sinal digital.

Este equipamento é geralmente utilizado para garantir o acesso remoto às instalações.

#### 3.5.4.5- *Conversores de Meio Físico*

Os conversores de meio físico são dispositivos que efetuam a permutação de um cabo de fibra ótica para um cabo elétrico e vice-versa, entre os *switches* e os IED's.

Estes dispositivos são utilizados apenas em alguns IED's de marca ABB, especificamente nos modelos REF 541/543/545 e RET 541/543/545, e são denominados de SPA ZC400.

### 3.5.5- Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O Sistema de Posicionamento Global, GPS, é um sistema de posicionamento por satélite, usado para determinar a posição de um recetor na superfície terrestre ou de um recetor que se encontre em órbita [27]. Este sistema consiste em mais de 20 satélites que giram em órbita sobre a terra, como estes satélites não estão em órbita geo-estacionária as constelações vistas vão mudando constantemente [28].

Quando os recetores de sincronização temporal do GPS estão energizados são necessários 4 satélites à vista para que possa inicializar os seus algoritmos de tempo. De modo a que sejam recebidos sinais dos satélites é necessário o uso de uma antena, que é montada no exterior da SE [28].

Num SPCC de uma SE numérica, os equipamentos devem operar de forma conjunta e integrada, tendo como requisito base a sua sincronização temporal. Para que haja registos de

perturbações e outros registos deve haver uma hora e data igual entre os equipamentos que estão a interagir, deste modo o GPS deverá efetuar uma sincronização em todos os relógios internos dos equipamentos da subestação.

Esta rotina de sincronização deverá ter em conta todos os equipamentos, sabendo que existem equipamentos que precisam de uma sincronização dos dados mais rápida que os outros, sendo assim é necessário um tempo entre sincronizações de 1 segundo [28].

Na Figura 3.2 estão representados os equipamentos que são relevantes para o funcionamento do Sistema de Proteção, Comando e Controlo de uma subestação.

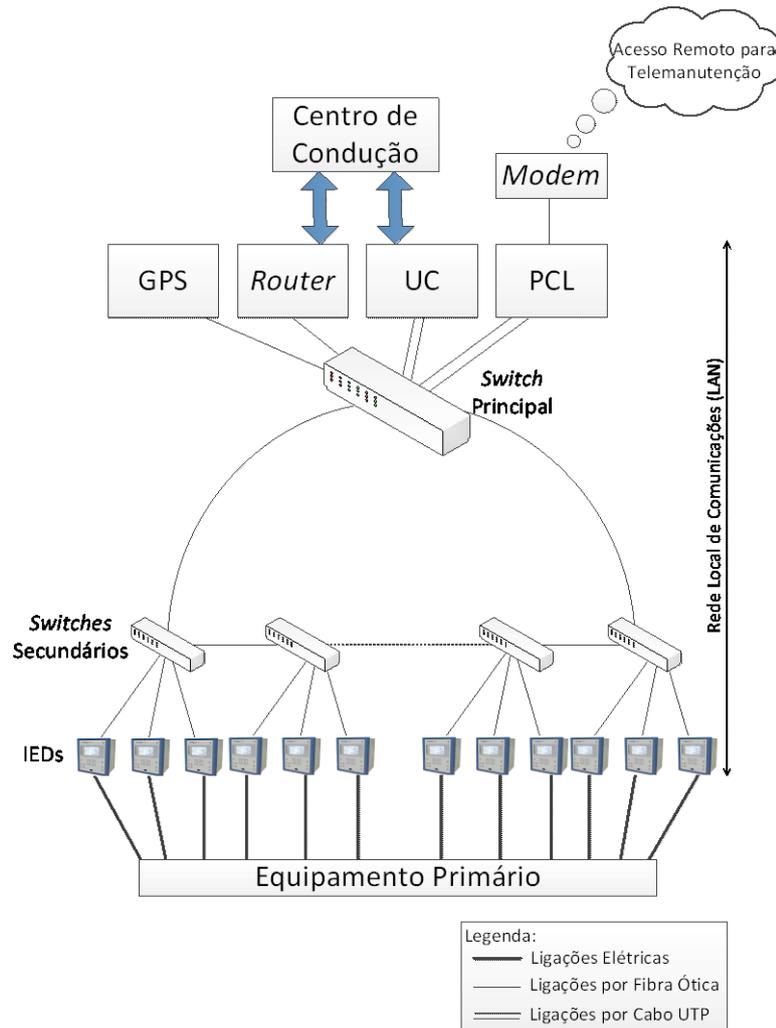


Figura 3.2 - Interligação dos componentes do SPCC.

Numa subestação numérica podem variar os equipamentos que são usados, ou seja, componentes do sistema como *routers* ou modems podem nem sempre existir. Na ausência dos *routers*, as comunicações com o Centro de Comando são asseguradas pela mesma rede de Telecomunicações utilizando contudo “canais” de comunicações com banda de larga mais limitada. Sempre que existem *routers*, os modems apenas são utilizados como backup ao acesso remoto.

A comunicação entre o SPCC e o centro de condução pode ser feita de modos diferentes:

- Quando existe um *router*, a UC envia os dados através do *switch* para o *router* e este efetua a mudança de protocolo e envia os dados para o centro de condução através da rede *WAN*.
- Caso o *router* não exista então os dados são enviados diretamente da UC para o centro de condução, uma vez que a UC tem uma porta *WAN* e uma *LAN*, podendo executar esta troca de informação.

Na Figura 3.2 não estão representados os conversores de meio físico uma vez que apenas são usados nos casos específicos referidos anteriormente, e também não se encontram representados os *hubs* uma vez que são equipamentos que se encontram em desuso, sendo apenas usados para permitir a ligação de computadores portáteis à rede de comunicações do SPCC.

Os equipamentos do SPCC devem integrar um sistema de autodiagnóstico de modo a que sejam identificadas possíveis falhas nas funções de um determinado equipamento.

### 3.6- Manutenção do SPCC

Os equipamentos que constituem o SPCC numérico são sujeitos a uma manutenção produtiva total, ou seja, Manutenção preventiva sistemática e preventiva condicionada. Os intervalos entre manutenções preventivas sistemáticas dos diversos equipamentos são definidos a partir de recomendações dos fabricantes e encontram-se representados na Tabela 3.2. Existem ainda alguns equipamentos que não necessitam de manutenção sendo substituídos por outros quando avariados, por recomendação do fabricante.

Tabela 3.2 - Manutenção do Sistema de Proteção, Comando e Controlo Numérico [29].

Equipamento		Tempo entre Manutenções (anos)
Sistema de Proteção (SP)	IED	5
Sistema de Comando e Controlo (SCC)	PCL	2
	UC	2
	RLC	
	<i>Switch</i>	Não Necessita
	<i>Router</i>	Não Necessita
	<i>Modem</i>	Não Necessita
	<i>Hub</i>	Não Necessita
	GPS	2

Na execução da manutenção preventiva sistemática são necessários um conjunto de procedimentos a seguir. Estes procedimentos são baseados em ensaios, tendo estes como objetivo a verificação do correto funcionamento das funções de cada equipamentos.

Antes da realização dos ensaios é necessário efetuar uma verificação preliminar dos componentes, que pode ser visto em [30].

Além da manutenção preventiva sistemática são também realizadas ações de manutenção preventiva condicionada e manutenção corretiva. As ações de manutenção preventiva condicionada são desencadeadas através dos mecanismos de autodiagnóstico dos equipamentos.

### **3.7- Sumário**

Os Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numéricos são responsáveis pela proteção, supervisão e comando global das subestações AT/MT, distinguindo-se pela sua arquitetura e organização funcional, destacando-se o posicionamento de cada um dos componentes ao longo dos diferentes níveis.

Todos os equipamentos descritos neste capítulo são de enorme relevância para o bom funcionamento do sistema de proteção, comando e controlo das subestações, estando interligados através da rede local de comunicações e sincronizados através do sistema de GPS. Este tipo de sistema permite que as operações de supervisão e comando sejam feitas localmente ou à distância. A supervisão pode ser feita pela disponibilização dos dados sobre o estado do funcionamento dos diversos órgãos e aparelhagem da subestação, medidas de grandezas elétricas e ainda outras ocorrências que vão sendo registadas nas bases de dados.

Para que haja um bom funcionamento destes sistemas a manutenção verifica-se ser fundamental, podendo ser aplicada de formas diferentes como é o caso da manutenção preventiva que pode ser sistemática ou condicionada ou então a manutenção corretiva noutros casos. Cada equipamento tem um tempo específico entre manutenções preventivas sistemáticas, e ainda, as manutenções preventivas condicionadas são efetuadas com base na sinalização de autodiagnóstico dos equipamentos.

## Capítulo 4

# Equipamentos do Sistema de Proteção, Comando e Controlo: Aplicação do RCM II

Este capítulo tem como o objetivo a aplicação da análise de RCM II aos equipamentos do Sistema de Proteção, Comando e Controlo (SPCC). Os equipamentos a ser alvo desta análise são o Sistema de Posicionamento Global (GPS) na secção 4.1, o Posto de Comando Local (PCL) na secção 4.2 e a Unidade Central (UC) na secção 4.3. Esta análise será efetuada ao SPCC com o conjunto de equipamentos do fabricante EFACEC<sup>1</sup>.

A análise de RCM II será dividida em duas partes na sua aplicação: uma parte inicial em que são respondidas as seguintes perguntas:

- I.1. Quais são as funções e padrões de desempenho desejados para o sistema ou equipamento no seu contexto operacional atual? (Funções)
- I.2. De que forma podem eles não cumprir as suas funções? (Falhas Funcionais)
- I.3. O que causa cada falha funcional? (Modos de Falha)
- I.4. O que acontece quando a falha ocorre? (Efeitos de Falha)

E uma parte responsável por finalizar o processo respondendo às seguintes perguntas:

- II.1. Qual é a importância de cada falha? (Consequências da Falha)
- II.2. O que deve ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- II.3. O que deve ser feito se não existir nenhuma tarefa proactiva apropriada?

Cada uma destas perguntas tem como objetivo ser respondida para os equipamentos: GPS, PCL e UC. O objetivo das respostas será a determinação dos intervalos entre manutenções de acordo com as tarefas de manutenção dadas pela análise de RCM II, procedendo-se à

---

<sup>1</sup> [www.efacec.com](http://www.efacec.com)

descrição destas tarefas, ou seja, discriminação do que vai ser realizado no terreno. Em cada equipamento é ainda feito um comentário aos resultados obtidos pela análise de RCM II.

Na primeira parte da aplicação do RCM II (perguntas I.1, I.2, I.3 e I.4) as respostas serão dadas numa Folha de Informação, a segunda parte da aplicação (II.1, II.2, e II.3) será respondida na Folha de Decisão. No primeiro conjunto de perguntas pretende-se saber toda a informação acerca do equipamento e o seu estado de funcionamento, no segundo grupo de perguntas pretende-se tomar uma decisão quanto às tarefas de manutenção a executar tendo por base as respostas dadas na Folha de Informação.

## 4.1- Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O objetivo é discriminar o processo de RCM II para o GPS da marca *hopf* modelo 6842, usado atualmente pela operadora da rede nacional de distribuição. É feita uma descrição da constituição do equipamento de forma a compreender o seu funcionamento. Com esta descrição pretende-se efetuar todo o procedimento da metodologia RCM II e posteriormente uma análise dos resultados obtidos.

### 4.1.1- Descrição do GPS

O GPS *hopf* modelo 6842 é constituído por um display, um *keypad*, portas RS 232 ou RS 422, tendo uma porta para ligação da antena deste e uma porta para comunicação através de fibra ótica. Este equipamento pode ainda ser monitorizado através de *Led's* de controlo. Para as comunicações com a rede local de comunicações foi aplicada uma carta 7271, que tem uma porta "*fast ethernet*". Para que possa funcionar tem uma entrada para ligação do cabo de alimentação. Na Figura 4.1 encontra-se representado os componentes do GPS.

Cada componente do equipamento tem uma dada função:

(i) **Display**

Este componente permite visualizar a data, hora e/ou coordenadas atuais, sendo também essencial para se alterar as configurações do equipamento, tais como dar entrada da data, da hora e/ou das coordenadas.

(ii) **Keypad**

A entrada manual da hora, data e/ou coordenadas é feita através do *Keypad*.

(iii) **Porta da antena**

Para que o GPS seja atualizado continuamente tem conectado, através de uma porta, uma antena que permite a ligação aos satélites, sendo fundamental que a porta da antena esteja operacional.

(iv) **Porta RS232 e carta 7271**

Para que seja efetuada a sincronização dos relógios internos dos equipamentos da subestação é necessário que o GPS esteja em constante comunicação com a rede local de comunicações. Esta comunicação poderia ser feita através da porta RS 232 ou através da porta de “*fast ethernet*”, no entanto, tendo por base que a rede comunica por “*fast ethernet*” torna-se lógico que a porta a ser usada é a “*fast ethernet*”.

(v) **Entrada de alimentação**

Para que o equipamento funcione tem que estar alimentado com corrente e tensão, havendo uma entrada no aparelho para este efeito.

O GPS, depois de alimentado, consegue, através da conexão com a antena, atualizar a data, a hora e/ou as coordenadas. Estes dados podem ainda ser submetidos manualmente através do *Keypad* e visualizados através do *Display*. A hora e data são comunicadas aos equipamentos pela rede local de comunicações através da porta “*fast ethernet*”.

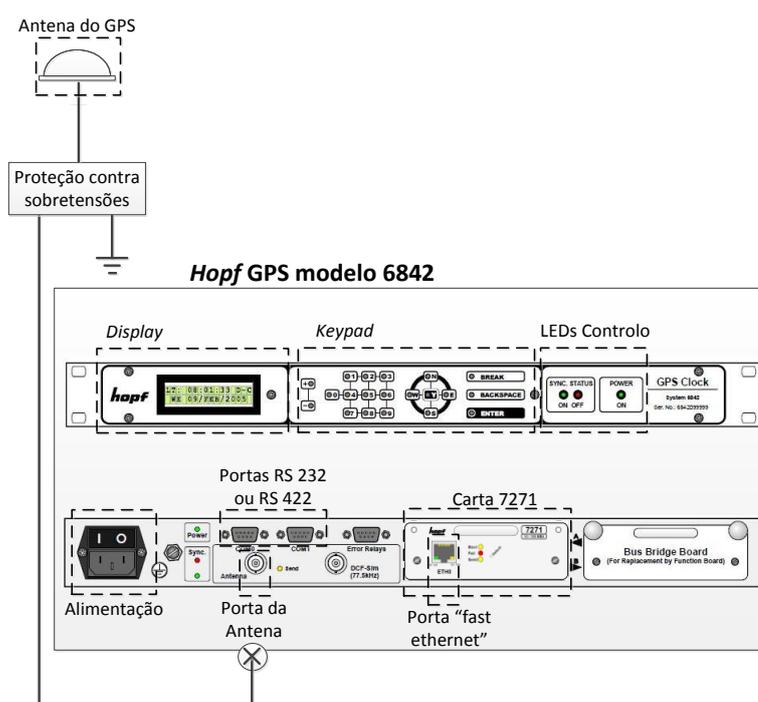


Figura 4.1 - Representação esquemática dos principais componentes do GPS da marca Hopf, modelo 6842 [31-33].

#### 4.1.2- Análise de RCM II [1]

A aplicação da metodologia RCM II ao Sistema de Posicionamento Global (GPS) implicou uma análise a 5 funções, 7 falhas funcionais, sendo identificados 9 modos de falha diferentes, num total de 33 modos de falha. Na presente secção apenas são apresentados alguns dos resultados obtidos, sendo os restantes resultados apresentados no Anexo B. Na Tabela 4.1 é indicada uma função exemplo, identificando uma das suas falhas funcionais, os modos de

falha associados a esta e os efeitos provocados pelos modos de falha do GPS. Isto corresponde à primeira parte de aplicação da metodologia.

**Tabela 4.1** - Descrição de uma função exemplo, identificando as suas falhas funcionais, os seus modos de falha e os efeitos de falha para o GPS (Folha de Informação - passos 1 a 4).

RCM II - FOLHA DE INFORMAÇÃO		SISTEMA	Sistema de Proteção, Comando e Controlo						
		SUBSISTEMA	Global Position System (GPS) - hopf 6842						
Função (F)		Falha Funcional (FF)		Modo de Falha (MF)	Efeito de Falha				
3	Mudança da hora de acordo com a zona	A	A mudança horária não é efetuada	I	Falha na fonte alimentação	Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional			
						A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional			
						ALARME na UC: Não Síncrona			
						Verificar a alimentação e reparar se necessário			
									Localização da SE comprometida
				II	Falha interna de <i>software</i> do GPS	A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos			
						Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo			
						Localização da SE pode estar operacional			
Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional									

				III	Falha interna de <i>hardware</i> do GPS	A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos
						Necessário verificar o problema de <i>hardware</i> e repará-lo
						Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
						Localização da SE pode estar operacional

Após serem determinados os primeiros quatro passos da metodologia de RCM II é necessário determinar as consequências de cada modo de falha e entrar no diagrama de decisão da Figura 2.9, determinando-se o tipo de tarefa a executar.

A Tabela 4.2 apresenta uma folha de decisão RCM II, onde são registadas as respostas às perguntas do diagrama de decisão RCM II. As colunas H, S, E, O são usadas para registar a categoria de consequências associada a cada modo de falha. Cada modo de falha é associado a apenas uma categoria de consequências. As colunas H1/S1/O1/N1 são usadas para registar se uma técnica preventiva condicionada pode ser definida para antecipar um modo de falha a tempo de evitar as suas consequências. As colunas H2/S2/O2/N2 são usadas para registar se uma técnica preventiva sistemática (Reparação de componentes) adequada pode ser determinada para prevenir modos de falha. As colunas H3/S3/O3/N3 são usadas para registar se uma técnica preventiva sistemática (Substituição de componentes) pode ser desencadeada para prevenir modos de falha. Nas colunas H4 e H5 e S4 são registadas as respostas às questões relacionadas com a necessidade de técnicas de manutenção reativa. Na coluna "Tarefa proposta" é indicada a técnica de manutenção a realizar ao modo de falha. Por último na coluna "Intervalo inicial" é registada a frequência da técnica de manutenção. As respostas ao diagrama são sim (S) ou não (N).

Tabela 4.2 - Folha de decisão do RCM II para o GPS (passos 5 a 7).

RCM II - FOLHA DE DECISÃO			SISTEMA				Sistema de Proteção, Comando e Controlo									
			SUBSISTEMA				<i>Global Position System (GPS)</i>									
Informação			Avaliação da Consequência				H1	H2	H3	Técnica Reativa			Tarefa Proposta			Intervalo Inicial
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6				
3	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-		
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-		
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-		

#### 4.1.3- Resultados: Comentários

Realizada a análise de RCM II ao GPS verifica-se que todas as tarefas de manutenção propostas são T4, isto é, manutenção corretiva (cf. Figura 2.9). No seguimento do estudo de RCM II a manutenção que é efetuada de 2 em 2 anos de acordo com a Tabela 3.2, poderá passar a ser realizada após a ocorrência da falha, através da reparação da falha, restabelecendo-se a função do equipamento. Estas falhas que têm impacto com este equipamento são reportadas através do sistema SCADA.

## 4.2- Posto de Comando Local (PCL)

Esta secção tem como objetivo discriminar o processo de RCM II para o posto de comando local, usado atualmente pela Operadora da Rede Elétrica de Distribuição. É feita uma descrição da constituição do equipamento de forma a compreender o seu funcionamento. Com esta descrição pretende-se efetuar todo o procedimento da metodologia RCM II e posteriormente uma análise dos resultados obtidos.

### 4.2.1- Descrição do PCL [23]

O posto de comando local é computador industrial constituído por um conjunto de *hardware* responsável pelo processamento, como é o caso dos discos rígidos, da memória RAM e do processador. É necessário cumprir requisitos mínimos na aquisição deste equipamento:

- O(s) disco(s) rígido(s) tem de ter uma capacidade mínima de 80 GB;
- A memória RAM tem de ter uma capacidade mínima de 1 GB;
- Existência de um gravador de DVD, RW;
- LCD e um teclado com *trackball*;
- Duas portas *Ethernet* (mínimo);
- Uma porta RS232.

Todos os componentes do posto de comando local estão interligados entre si, tal como se pode ver na Figura 4.2. Cada componente tem a sua função para que haja uma boa execução por parte do PCL:

**(i) Gravador de DVD, RW, LCD e teclado com *trackball***

Para que haja interface com o utilizador é necessário que haja um *software* para facilitar a visualização das funções do equipamento, este *software* é instalado através de um gravador de DVD, RW; além disto o gravador é útil para efetuar cópias de dados que constem no PCL. A interface humano-máquina é conseguida através do LCD e do Teclado com *trackball*.

**(ii) Discos Rígidos e RAID**

Normalmente existem dois discos rígidos inseridos no RAID (do ingles: *Redundant Array of Independent Drives*). A função do RAID é garantir redundância, ou seja, assegurar que os dois discos guardam os mesmos dados, avariando um o outro assegura a continuidade de funções.

**(iii) Ventoinhas**

O sistema tem tendência para sobreaquecer, de modo que para atenuar este efeito tem um conjunto de ventoinhas para ventilar e arrefecer o sistema.

**(iv) Filtros de Ar**

O PCL tem ainda filtros de ar para evitar a entrada de lixos para o interior do equipamento.

**(v) Monitorização e LED's de Controlo**

Por forma a manter a segurança do equipamento há uma monitorização da tensão, corrente e temperatura. O equipamento desligasse se exceder determinados limites de tensão, corrente ou temperatura para que o equipamento não se danifique. Os LED's de controlo permitem a identificação do estado do equipamento.

**(vi) Porta RS232 e Portas Ethernet**

Estas portas permitem que seja exercida a comunicação com o resto do Sistema de Proteção, Comando e Controlo, através da rede local de comunicações. A porta que está em vigor na atualidade é a porta Ethernet, no entanto, a porta RS232 também pode ser usada.

**(vii) Alimentação**

Para que tudo funcione corretamente é necessária uma alimentação do PCL e do LCD em corrente continua.

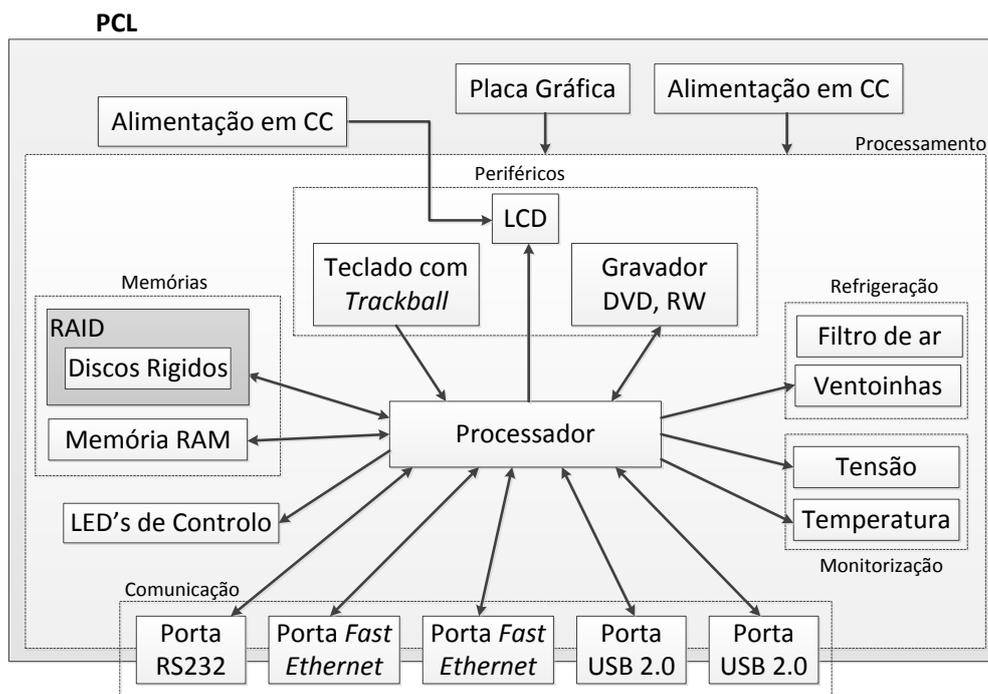


Figura 4.2 - Representação esquemática dos principais componentes do posto de comando local (PCL).

#### 4.2.2- Análise de RCM II

A aplicação da metodologia RCM II ao Posto de Comando Local (PCL) implicou uma análise a 9 funções, 14 falhas funcionais, sendo identificados 9 modos de falha diferentes, num total de 58 modos de falha. Na presente secção apenas são apresentados alguns dos resultados obtidos, sendo os restantes resultados apresentados no Anexo C. Na Tabela 4.3 é indicada uma função exemplo, identificando uma das suas falhas funcionais, os modos de falha associados a esta e os efeitos provocados pelos modos de falha do PCL. Isto corresponde à primeira parte de aplicação da metodologia.

Tabela 4.3 - Descrição de uma função exemplo, identificando as suas falhas funcionais, os seus modos de falha e os efeitos de falha para o PCL (Folha de Informação - passos 1 a 4).

RCM II - FOLHA DE INFORMAÇÃO		SISTEMA		Sistema de Proteção, Comando e Controlo	
		SUBSISTEMA		Posto de Comando Local (PCL)	
Função (F)		Falha Funcional (FF)		Modo de Falha (MF)	Efeito de Falha
3	Visualização de esquemas sinópticos globais e parciais das instalações, incluindo o estado	A	Os sinópticos da instalação não são visíveis	I Problemas de <i>Software</i>	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de

atual de todos os órgãos e aparelhagem que constam na BD do sistema			condução
			Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo
	II	LCD danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
			Reparar o LCD
	III	Falta de Alimentação do PCL	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
			Verificar e reparar a alimentação do PCL
	IV	Processador danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
			Verificar e reparar/substituir o processador
	V	Placa gráfica avariada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser



descrição pretende-se efetuar todo o procedimento da metodologia RCM II e posteriormente uma análise dos resultados obtidos.

#### 4.3.1- Descrição do Equipamento [23]

A unidade central tem três polos de funcionamento essenciais: (i) a memória, (ii) a comunicação e (iii) o processamento.

##### (i) Memória

A unidade central é constituída, a nível de memória, por uma memória RAM com uma capacidade mínima de 1GB, e um disco *flash* de capacidade mínima de 2 GB.

##### (ii) Comunicações

Para as comunicações tem portas RS 232, portas Ethernet e portas USB. A comunicação com a rede local de comunicações é feita através da porta Ethernet. A porta RS 232 é usada aquando da existência de *router* no SPCC. Na UC tem de existir sempre pelo menos duas portas RS 232, duas portas Ethernet e duas portas USB. As portas USB são apenas usadas para ligação de interfaces, a sua avaria não tem praticamente impacto nenhum.

##### (iii) Processamento

A memória RAM, o microprocessador e o disco *flash* têm o seu funcionamento dependente uns dos outros, por forma a realizarem o processamento da informação que recebem da rede local de comunicações e que transmitem.

Na Figura 4.3 está representado um esquema com as ligações entre os diferentes componentes da UC. Nesta pode ver-se que a alimentação deste equipamento é feita através de corrente contínua.

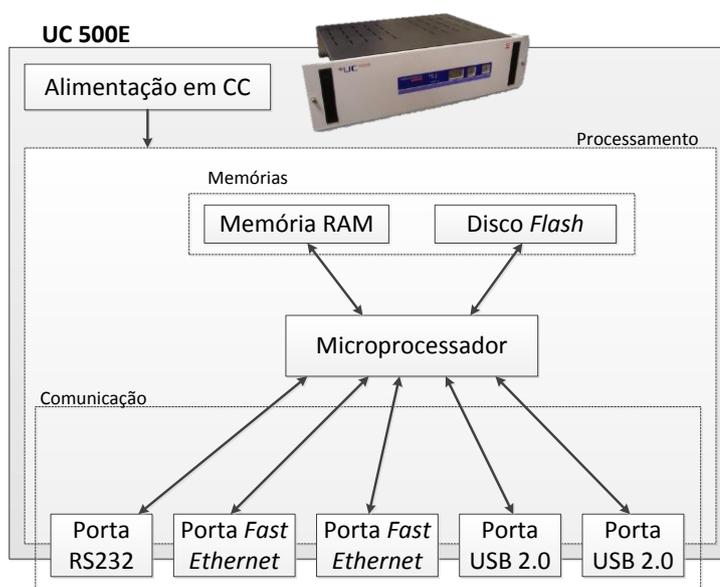


Figura 4.3 - Representação esquemática dos principais componentes da Unidade Central.

### 4.3.2-Análise de RCM II [1]

A aplicação da metodologia RCM II à Unidade Central (UC) implicou uma análise a 9 funções, 10 falhas funcionais, sendo identificados 13 modos de falha diferentes, num total de 34 modos de falha. Na presente secção apenas são apresentados alguns dos resultados obtidos, sendo os restantes resultados apresentados no Anexo D. Na Tabela 4.5 é indicada uma função exemplo, identificando uma das suas falhas funcionais, os modos de falha associados a esta e os efeitos provocados pelos modos de falha da UC. Isto corresponde à primeira parte de aplicação da metodologia.

**Tabela 4.5** - Descrição de uma função exemplo, identificando as suas falhas funcionais, os seus modos de falha e os efeitos de falha para a UC (Folha de Informação - passos 1 a 4).

RCM II - FOLHA DE INFORMAÇÃO		SISTEMA		Sistema de Proteção, Comando e Controlo		
		SUBSISTEMA		UC 500E		
Função (F)		Falha Funcional (FF)		Modo de Falha (MF)	Efeito de Falha	
4	Recolha da informação gerada na SE (armazenamento na base de dados)	A	Não se consegue armazenar informação na base de dados	I	Disco <i>flash</i> principal danificado/flash desprotegida	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
						Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar o disco <i>flash</i>	
					Há riscos para os operadores	
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias	
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC	
				II	Base de dados "crashada"	Base de dados deve ser reparada

		Falha de Comunicações com o Centro de Comando
III	Microprocessador danificado	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
		Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
		Verificar e reparar o microprocessador
		Há riscos para os operadores
		Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
		Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
IV	Memória RAM danificada	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
		Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
		Verificar e reparar a memória RAM
		Há riscos para os operadores

				Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
				Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
	V	Portas " <i>fast ethernet</i> " danificadas	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL	
			Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação	
			Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas	
			Há riscos para os operadores	
			Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC	
			Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias	
	VI	Problemas de <i>software</i>	A UC continua em funcionamento	
			Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo	

Após serem determinados os primeiros quatro passos da metodologia de RCM II é necessário determinar as consequências de cada modo de falha e entrar no diagrama de decisão da Figura 2.9, determinando-se o tipo de tarefa a executar. Da mesma forma que foi

efetuado para o GPS e PCL encontra-se preenchida a Folha de Decisão para a UC na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Folha de decisão do RCM II para a UC (passos 5 a 7).

RCM II FOLHA DE DECISÃO			SISTEMA				Sistema de Proteção, Comando e Controlo								
			SUBSISTEMA				UC 500E								
Informação			Avaliação da Consequência				H1	H2	H3	Técnica Reativa			Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
4	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	S	S	-	-	-	-	T2	*	
		III	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VI	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	

\* Determinação do Intervalo realizada na secção 4.3.2.2.

#### 4.3.2.1- Manutenção Preventiva Sistemática (Reparação): A adaptação

Na Tabela 2.1 pode ver-se que a técnica de manutenção preventiva sistemática (Reparação) é tecnicamente praticável se for possível identificar uma idade em que o componente verifica um rápido aumento da probabilidade de falha, e ainda, se permitir o restabelecimento das capacidades iniciais do componente. No caso do modo de falha II, da falha funcional 4A, verifica-se que o subcomponente propriamente dito é a base de dados mas o modo de falha é a nível de *software*.

O *software* não tem uma idade em que se verifique um rápido aumento da probabilidade de falhas, mas ao efetuar esta manutenção vai estar a restabelecer-se as capacidades iniciais do *software* da base de dados. Deste modo, a avaliação do tempo de manutenção pode ser feito com uma média dos tempos entre falhas do componente em cada uma das subestações. Na determinação do tempo entre manutenções supõe-se que a manutenção preventiva sistemática (reparação) deve ser realizada em cerca de 50% vezes mais que a taxa de avarias.

#### 4.3.2.2- Intervalo de tempo entre manutenções

Para o modo de falha II da falha funcional 4A foi determinado que a técnica de manutenção a executar neste caso seria T2, ou seja, uma técnica preventiva sistemática (reparação). Deste modo, é necessário determinar para este modo de falha o intervalo de tempo entre as manutenções preventivas sistemáticas (reparação). Para isso foram recolhidos

deste equipamento o ficheiro que tem escrito todos os eventos da Unidade Central. Com isto fez-se uma filtragem e encontrou-se as falhas funcionais existentes devido ao modo de falha referido. Foi analisado o período de 10-04-2008 até 16-05-2013. As datas relativas às falhas funcionais devido a este modo de falha, dentro do período referido, encontram-se representadas na Tabela 4.7. A escolha das subestações foi aleatória.

**Tabela 4.7** - Datas onde ocorreu a falha funcional 4A com o modo de falha II, num conjunto de subestações.

Subestação	Falha		
	ID	Data	Hora
Monserate	Falha 1	19-06-2008	17:55:12
	Falha 2	27-06-2008	11:33:36
	Falha 3	23-10-2008	14:04:16
	Falha 4	08-06-2012	12:19:28
	Falha 5	09-07-2012	11:37:22
Mirandela	Falha 1	05-11-2009	11:21:30
Sanguedo	Falha 1	20-04-2008	05:30:28
	Falha 2	20-10-2009	03:12:14
	Falha 3	25-08-2012	22:19:01
	Falha 4	14-03-2013	11:30:36
Fornos	Falha 1	16-04-2012	09:34:52
	Falha 2	12-05-2012	15:35:08
Rebordosa	Falha 1	26-11-2012	16:58:29
	Falha 2	21-01-2013	10:33:47
Sousa	Falha 1	25-01-2011	17:15:45
Valpaços	Falha 1	23-01-2010	15:32:53
	Falha 2	01-02-2012	15:35:50
	Falha 3	02-07-2012	17:21:15
Ancora	Falha 1	25-07-2008	10:01:41
	Falha 2	13-05-2013	15:22:46
Matosinhos	Falha 1	29-01-2013	23:00:13
Lameirinho	Não tem	-	-
Braga	Não tem	-	-

Com estas falhas, para cada subestação, determinou-se o MTBF e por sua vez a taxa de avarias (o modo de obtenção destes encontra-se descrito na secção 2.3 do capítulo 2). O intervalo de tempo entre manutenções será então dado pela expressão 4.1, isto é, o número de manutenções que devem ser feitas anualmente distribuídas pelo ano.

$$t_{4AI}^{SE} = \frac{12}{1,5 \times \lambda} \text{ (meses)} \quad (4.1)$$

Na Tabela 4.8 encontram-se os resultados obtidos para o intervalo de tempo entre manutenções preventivas sistemáticas de reparação para cada subestação e um valor médio de todas as subestações, uma vez que há mais subestações com a UC 500 instalada, seria de se usar o tempo médio entre manutenções em todas as subestações, com este equipamento.

**Tabela 4.8** - Representação do MTBF, da taxa de avarias, do número de manutenções anuais e tempo entre manutenções individuais e a média de todas as subestações.

Subestação	MTBF	Taxa de Avarias (Avarias/ano)	Número de Manutenções (1/ano)	Tempo entre Manutenções (Meses)
Monserate	0,8501	1,1763	1,8	7
Mirandela	1,5739	0,6354	1,0	13
Sanguedo	1,2325	0,8113	1,2	10
Fornos	2,0461	0,4887	0,7	16
Rebordosa	2,3938	0,4178	0,6	19
Sousa	2,7965	0,3576	0,5	22
Valpaços	1,4107	0,7089	1,1	11
Matosinhos	4,8108	0,2079	0,3	38
Ancora	2,5475	0,3925	0,6	20
Braga	5,1041	0,1959	0,3	41
Lameirinho	5,1041	0,1959	0,3	41
<b>Média</b>	<b>2,1393</b>	<b>0,6005</b>	<b>0,9</b>	<b>17</b>

#### 4.3.2.3- Descrição da tarefa de manutenção

Após ser determinado o tempo entre manutenções resta apenas definir que tarefas devem ser executadas durante cada manutenção:

1. Entrar remotamente ou localmente na UC 500;
2. Aceder aos ficheiros process.log, error.log e wdog.log e fazer *backup* destes para a base de dados do RCM;
3. Efetuar a eliminação destes registos para que possam ser gerados novos registos.

#### 4.3.3- Resultados: Comentários

Em termos de acessibilidade à subestação, remotamente, este é o equipamento que mais criticidade demonstra uma vez que este falhando falham as comunicações, trazendo mais consequências a nível da segurança e económicas de modo que deveria ser efetuada uma

análise do risco, posteriormente à aplicação do RCM II, verificando-se se é viável ou não o risco corrido.

#### **4.4- Sumário**

O Sistema de Proteção, Comando e Controle (SPCC) é responsável pela proteção, supervisão e comando global de uma subestação AT/MT numérica. A interação entre os equipamentos do SPCC não deve ser interrompida para que haja a maior disponibilidade possível. Por forma a manter esta disponibilidade elevada este sistema permite que a instalação tenha um funcionamento muito autónomo existindo uma supervisão remota, ou seja, qualquer falha que ocorra é de imediato reportada para o centro de comando.

Da análise efetuada aos três equipamentos: GPS, PCL e UC, verifica-se que num total de 125 modos de falha (58 modos de falha do GPS, 58 modos de falha do PCL e 34 modos de falha da UC) foram decididas 124 tarefas de manutenção corretiva e uma tarefa de manutenção preventiva sistemática por reparação. Os equipamentos relativamente à manutenção atual poderão sofrer grandes mudanças uma vez que a manutenção efetuada na atualidade assenta numa manutenção unicamente preventiva.

Nesta análise verificou-se que dos três equipamentos em que foi efetuada a análise de RCM o GPS e o PCL apenas têm tarefas de manutenção corretiva aos modos de falhas, no caso da UC existe um modo de falha que exige uma manutenção preventiva sistemática por reparação, nos restantes modos de falha deste equipamento foram propostas tarefas de manutenção corretiva.

# Capítulo 5

## Protocolo de Manutenção

O objetivo deste capítulo é descrever todo o processo da metodologia RCM II a implementar nos equipamentos do Sistema de Proteção, Comando e Controlo (SPCC).

Este capítulo começa por descrever como é constituída toda a equipa de RCM na secção 5.1, envolvida na análise e implementação da metodologia RCM II, sendo definidas as suas funções na equipa; posteriormente será descrito na secção 5.2 o procedimento pré-RCM e qual a abordagem a ser seguida, no seguimento disto, na secção 5.4, torna-se necessário compreender quando deve ser renovada a análise de RCM II. Para que este processo seja viável são necessários um conjunto de treinos e formações específicas para cada elemento da equipa, descritos na secção 5.5. Para finalizar, na secção 5.6, será desenvolvido um caso de estudo da implementação do RCM II.

### 5.1- Equipa a Integrar a Implementação do RCM

A equipa que integra a implementação do RCM será constituída por um ou mais grupos de pessoas que são responsáveis pela análise e aplicação do RCM e por elaborarem a folha de informação e a folha de decisão, existe ainda uma pessoa responsável por realizar uma auditoria a toda a folha de informação e à folha de decisão, após ter sido realizada a análise do RCM [1].

#### 5.1.1- Grupo de Análise ao RCM

Um grupo típico de RCM é constituído por pessoas que detêm um conhecimento e uma experiência aprofundados sobre um determinado ativo. Este grupo de pessoas poderá ser constituído entre 4 a 7 elementos. Este grupo deve manter-se o mesmo durante todo o processo de RCM, independentemente do ativo a ser analisado, isto para que não haja perdas de tempo desnecessárias na instrução e integração de novos elementos [1].

O objetivo de um grupo é extrair todo o conhecimento necessário para especificar os requisitos de manutenção na forma de tarefas, para um determinado equipamento. No caso dos equipamentos de um SPCC o grupo deve aplicar o processo de RCM por inteiro a cada equipamento.

Segundo [1], um grupo típico de RCM deve incluir supervisores de operação e de engenharia, um técnico de manutenção, um operador do equipamento, um especialista e um facilitador. Quando se pretende aplicar o RCM aos equipamentos do SPCC o grupo que irá efetuar a análise será ligeiramente diferente do que é típico: haverá um facilitador, um supervisor de engenharia, um ou dois técnicos de manutenção que são técnicos de operação em simultâneo e um especialista caso seja necessário, como se pode ver na Figura 5.1.

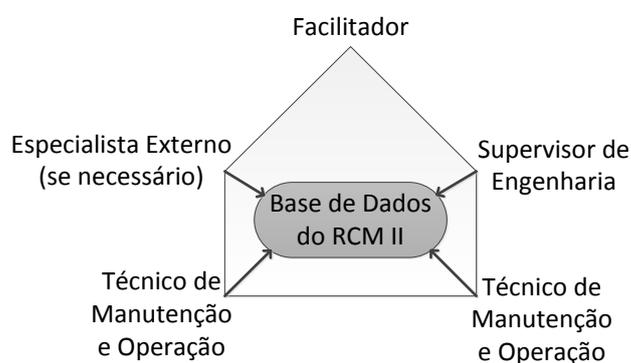


Figura 5.1 - Elementos de um grupo de aplicação do RCM nos componentes do SPCC.

Para que se possa realizar a aplicação do RCM II tem de existir um fluxo de informação que tem duas possíveis origens: a base de dados do RCM II e todas as contribuições dadas pelos elementos do grupo. Com este fluxo de informação os membros do grupo aprendem:

1. Mais sobre o equipamento em análise e o processo de RCM e mais sobre o que fazer para continuarem a trabalhar;
2. Mais sobre os objetivos e metas dos colegas, em particular, os técnicos de manutenção e operação aprendem mais sobre o que os supervisores de engenharia pretendem obter e por sua vez os supervisores de engenharia aprendem mais sobre o que os técnicos de manutenção e operação podem ou não ajudar a realizar.

Com esta possível aprendizagem mútua os membros do grupo de RCM II ganhariam um maior entendimento sobre o que cada membro do grupo deveria estar a desenvolver, o que o grupo estaria a tentar alcançar ao fazê-lo e como estaria preparado cada membro para enfrentar o desafio. O resultado que adviria daqui é que em vez de existirem 4/5 pessoas com conhecimento um pouco de cada assunto ter-se-ia 4/5 pessoas especialistas no tema. Há aqui, portanto, a transformação do grupo em equipa, em que cada membro é incentivado a dar a sua contribuição.

#### **5.1.1.1- Facilitador**

O Facilitador é um membro fundamental na aplicação do RCM II aos equipamentos. Tem como função principal ajudar na aplicação da filosofia RCM, efetuando perguntas a um grupo de pessoas selecionadas pelo seu conhecimento sobre o equipamento, assegurando que haja consenso nas respostas dadas e registando as mesmas. De todos os fatores que possam influenciar a qualidade final da análise, a habilidade do facilitador é o fator mais importante, isto aplica-se tanto à qualidade técnica da análise assim como ao ritmo em que é completada a análise e a atitude dos participantes face ao processo de RCM.

Um facilitador deverá ter conhecimento técnico sobre o equipamento, sem que seja um especialista, ser metódico e promotor natural do consenso, deve ser um perito em RCM e deve estar empregado na empresa ou organização a tempo inteiro, devendo poder acompanhar todo o processo de RCM de um dado equipamento. Este elemento do grupo deve então ser competente em 45 áreas chave que podem ser ordenadas dentro de 5 categorias como se pode ver na Figura 5.2 e Figura 5.3. É de notar que na Figura 5.3 estão salientadas duas categorias chave em que o facilitador deve ser realmente muito bom.

#### **5.1.1.2- Supervisor de Engenharia**

O supervisor de engenharia será o membro responsável pela área tecnológica onde o equipamento está inserido. Este poderá, num SPCC, pertencer a três áreas distintas: área de sistemas de proteção, área de sistemas de comando e controlo ou a área das telecomunicações.

#### **5.1.1.3- Técnico de Manutenção e Operação**

Numa aplicação de RCM típica terá que existir um técnico de manutenção e um técnico de operação. Quando se está perante a aplicação do RCM em equipamentos do SPCC, a operação que é feita nos equipamentos é a manutenção, ou seja, os técnicos operam o equipamento quando fazem manutenção ou ensaios, deste modo o técnico de operação é o mesmo que efetua a manutenção, ou seja, é técnico de manutenção e operação. Este técnico de manutenção e operação deve ser uma pessoa bastante experiente na manutenção e operação do equipamento em análise. O técnico pode ser uma pessoa interna à organização ou empresa ou então um prestador de serviços. Isto é possível uma vez que os equipamentos do SPCC têm uma grande autonomia.

Deverá haver um ou dois técnicos de manutenção e operação uma vez que técnicos diferentes operam e fazem manutenção a diferentes avarias de modo que pode haver experiências diferentes por parte dos técnicos sendo muito útil que haja uma complementaridade entre um e outro técnico.



Figura 5.2 - Categorias em que um facilitador deve ser competente.

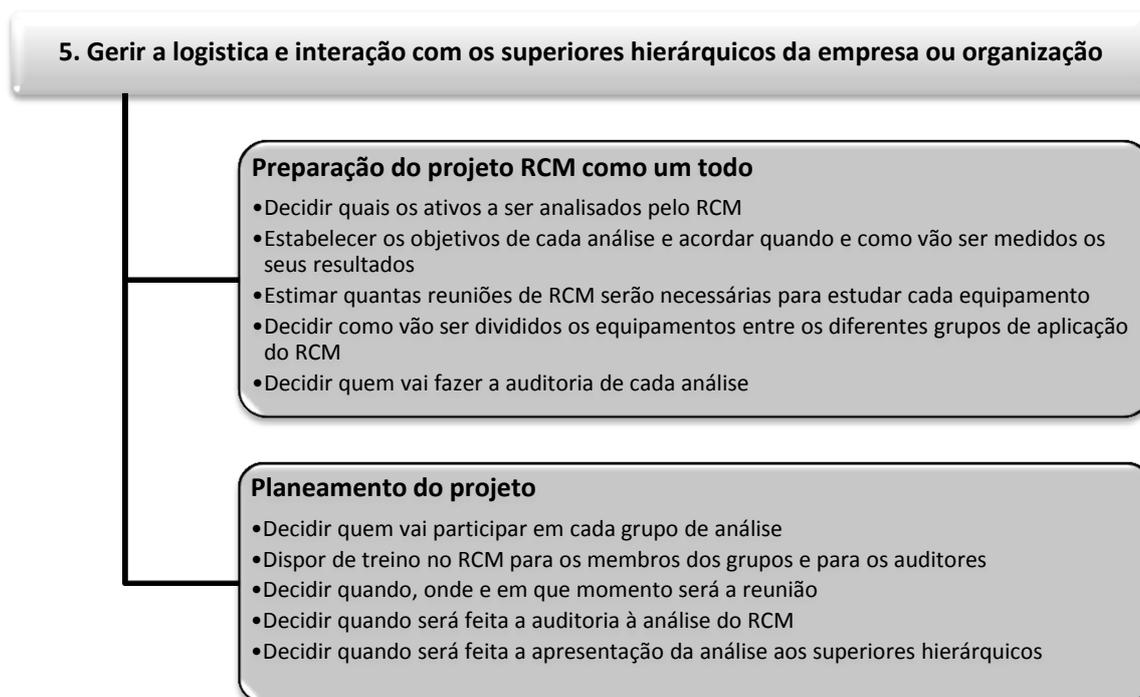


Figura 5.3 - Descrição de subcategorias da categoria 5.

#### 5.1.1.4- Especialista

O especialista só deve estar presente nas reuniões de análise do RCM num equipamento quando a sua especialidade é invocada. Este pode ser, por exemplo, um representante do fabricante do equipamento que, por sua vez, é conhecedor de pormenores dos equipamentos ou então processos relacionados com o equipamento bastante específicos.

#### 5.1.2- Responsável pela Auditoria

O responsável pela auditoria é a pessoa que detém a responsabilidade pelo equipamento em análise. Esta pessoa não pode estar inserida no grupo de análise do RCM. O auditor quando não concordar com uma decisão ou análise feita deverá discutir o assunto com o grupo que fez a análise de RCM ao equipamento em questão. O auditor deverá ser uma pessoa com conhecimento técnico sobre o equipamento e que tenha uma boa compreensão da filosofia RCM, devendo ser por isso alguém que esteja no comando das políticas de manutenção da organização ou empresa.

### 5.2- Antes da Aplicação da Análise de RCM II: Preparação

Antes da análise de RCM II aos equipamentos é necessário efetuar-se uma preparação: é necessário definir quando, quantas e onde serão as reuniões, quais os documentos a elaborar, qual será a origem da informação e que estratégia a seguir na análise de RCM II aos equipamentos.

### **5.2.1- As Reuniões**

De acordo com [1], numa aplicação típica de RCM o trabalho é realizado numa série de reuniões com uma duração aproximadamente de 3 horas cada reunião; cada grupo reúne-se 1 a 5 vezes por semana. O ativo deve ser subdividido e atribuído aos grupos de tal forma que cada um dos grupos possa completar na sua totalidade o processo de aplicação do RCM num prazo de entre 5 a 15 semanas, não devendo ultrapassar as 20 semanas.

Na aplicação do RCM a um SPCC torna-se impensável um processo tão demorado. Deverá assim haver uma reunião a cada semana, na primeira aplicação, ocupando cada reunião no máximo uma tarde de modo que possam ser discutidos todos os acertos do processo de RCM. Isto admitindo que são analisados apenas 4 componentes: IED's, PCL, UC e GPS. Devendo a análise de cada componente demorar de 5 a 8 semanas, assumindo que no máximo cada pergunta do RCM demora uma reunião para ser respondida.

Para que este processo demore apenas este tempo os intervenientes de cada grupo devem reunir um conjunto de informação antes de cada reunião, em especial para a primeira reunião sobre um dado componente, que deve ser definido pelo facilitador quem ficará responsável de compilar a informação relativamente a um dado equipamento.

### **5.2.2- Documentos a Elaborar**

Para a preparação de uma reunião de aplicação do RCM a um componente do SPCC é necessário proceder à elaboração de um documento que tenha as características técnicas do equipamento; normalmente este tipo de material é cedido pelo fabricante no ato de compra do equipamento. É fundamental que seja definido o motivo de compra do equipamento: quais as necessidades que existiam para ter comprado aquele equipamento. Além disto deve ser feito um esquema com os subcomponentes do equipamento e a interação entre eles, devendo proceder-se à descrição destas interligações entre os subcomponentes de forma a explicar o funcionamento do equipamento.

Interessa que este documento seja elaborado para que seja mais fácil a análise do RCM por parte do grupo e ainda para que o auditor e o superiores hierárquicos compreendam o que está feito. Este trabalho pode ser usado para quando há necessidade de integrar um novo elemento num grupo já formado, de modo a que não seja perdido tanto tempo a integrar este elemento; este deve ter estudado todo o material antes de ir a uma dada reunião.

Este documento deverá ser elaborado para cada modelo de equipamento. Se houver equipamentos em que mudem os seus constituintes deve ser modificado o ficheiro inicial e atualizado para as alterações dos componentes de modo a facilitar a análise de RCM. Este ficheiro deve estar devidamente identificado de acordo com o equipamento, a data de escrita do documento e de alteração, devendo no documento ter as versões e uma descrição da diferença principal para a anterior para que seja facilitada a leitura a outras pessoas.

Estes documentos podem ser vistos no Anexo B, Anexo C e Anexo D da aplicação da análise de RCM efetuada no capítulo 4.

### **5.2.3- RCM II: Base de Dados**

Na base de dados a ser usado no RCM existem dois pontos que devem ser considerados: que histórico de acontecimentos deve estar na base de dados e qual a informação e documentos que deve conter a base de dados (BD) para o RCM.

#### **5.2.3.1- Histórico de Falhas a Ser Considerado na Base de Dados do RCM II**

O RCM tem como objetivo reduzir falhas resultantes de manutenção inadequada, além de possibilitar a identificação prematura de falhas no equipamento. Um dos conceitos-chave da RCM é que as falhas de um equipamento não são sempre as mesmas, conseqüentemente, as tarefas de manutenção necessárias para a sua prevenção não seguem uma só estratégia, mas sim um conjunto de diretivas suscetíveis de ajuste à medida que se avança no processo de manutenção de modo a efetuar uma gestão efetiva do equipamento, de acordo com as suas condições de instalação e operação.

Os padrões de falha variam de equipamento para equipamento. É fulcral o acompanhamento constante da tendência evolutiva da vida dos equipamentos, de forma a atempadamente fazer a mobilização dos meios técnicos e humanos mais adequados à intervenção certa no momento mais oportuno. Deste modo, é essencial que o registo existente sobre as falhas do equipamento esteja completo, desde a entrada deste ao serviço. Pode acontecer que por algum motivo desconhecido não haja parte dos registos: neste caso ao efetuar-se a aplicação da RCM deve saber-se previamente que o registo não está completo.

Na base de dados para a RCM devem estar registados os dados de falha para os modos de falha que necessitam destes para que possam ser identificadas tarefas de manutenção a serem executadas. Sempre que surge um novo modo de falha que necessite de dados para cálculos relevantes para o processo deve ser feito um levantamento destas, uma vez que os SPCC's estão constantemente sobre supervisão e qualquer falha que ocorra fica registada.

Um dado equipamento deve ser analisado com base no seu período de existência em fase de vida útil. Para que seja feita uma análise numérica na determinação de tempos entre manutenções, define-se que se não ocorreram falhas desde o início de operação do equipamento até ao momento da análise, a data de início é a data de entrada em funções do equipamento e a data final é a data em que se retira os dados da base de dados. De realçar que é positivo quando não existem falhas, isto significa que a política de manutenção em vigor está a dar bons resultados.

### 5.2.3.2- Conteúdos

Na base de dados devem estar disponíveis os documentos elaborados de preparação para o RCM, mencionados na secção anterior; devem ainda estar as folhas de informação e decisão de cada análise de RCM, por fim deve estar lá também uma folha que tenha a descrição das tarefas de manutenção a executar e ainda o tempo entre manutenções determinados.

A base de dados deverá estar organizada por datas de aplicação do RCM. Tendo em conta que o histórico é contínuo não necessita de estar discriminado o período de histórico que foi usado, uma vez que é conhecida a data de aplicação do RCM. Os dados usados para a análise de RCM devem ser os dados de falhas ocorridas até ao momento de análise.

### 5.2.3.3- Fontes da Base de Dados

A base de dados central tem informação dos vários componentes estando as bases de dados descentralizadas. Na Figura 5.4 pode ver-se as bases de dados existentes no sistema.

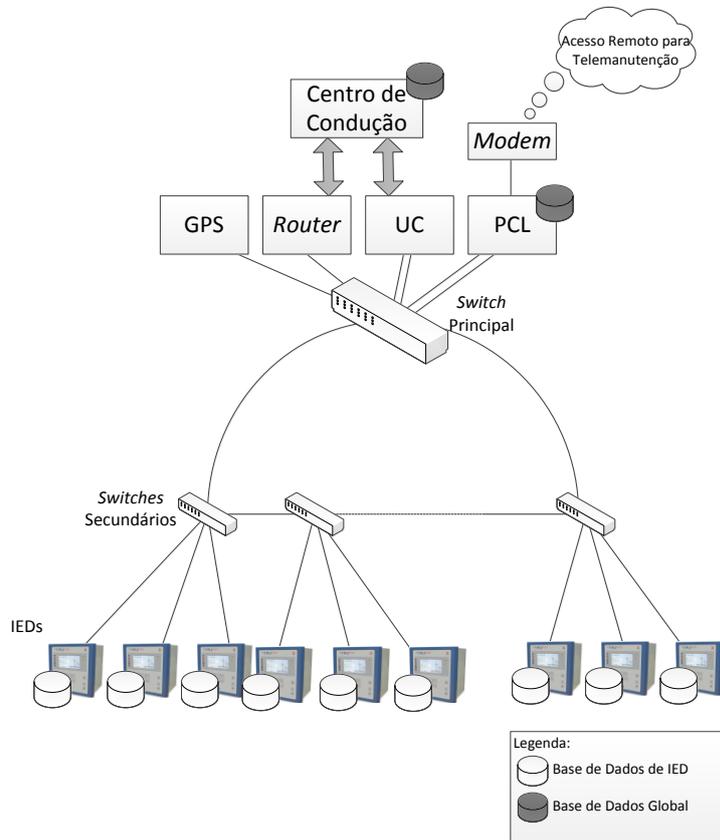


Figura 5.4 - Bases de dados do SPCC.

Cada Dispositivo Eletrónico Inteligente (IED) tem uma base de dados que regista todos os acontecimentos relativo às funções deste e a informação mais relevante deste é comunicada pela Rede Local de Comunicações (RLC) à Unidade Central (UC), que regista no Posto de Comando Local (PCL) estas informações. A base de dados presente no centro de condução (ou de comando) tem informação similar à que está contida na base de dados que se encontra no

PCL, havendo assim medidas de segurança no que toca à redundância. A base de dados do PCL é uma base de dados global: tem toda a informação proveniente dos equipamentos do SPCC a nível de falhas e de execuções de determinadas operações nos equipamentos, muitas das quais são de origem autónoma.

Todas as falhas que ocorrem são registadas na base de dados o que facilita o trabalho de recolha de informação para a base de dados do RCM. Cada uma destas falhas pode ser pesquisada em sistemas de gestão de dados que o operador da rede possui.

#### **5.2.4- Estratégias de Aplicação do RCM II**

Na aplicação do RCM por parte do grupo dedicado ao RCM podem ser seguidas diferentes estratégias de aplicação da metodologia: A estratégia da força das tarefas (do inglês: *The Task Force Approach*), a estratégia seletiva (do inglês: *The Selective Approach*) e a estratégia global (do inglês: *The Comprehensive Approach*).

##### **5.2.4.1- Estratégia da Força das Tarefas**

As empresas e/ou organizações que têm ativos que sofrem falhas recorrentes com consequências graves devem adotar a estratégia da força das tarefas. Esta estratégia implica ter um grupo de aplicação de RCM treinado para que possa fazer a abordagem intensiva da análise de RCM ao sistema/equipamento afetado. Estes elementos do grupo vão trabalhar juntos nesta análise mas após isto o grupo é desfeito.

As vantagens desta estratégia são que é um método rápido, porque existe um grupo a tempo inteiro na resolução do problema, podendo ter-se aqui uma poupança substancial a nível monetários. As desvantagens associadas a esta estratégia são relativas à participação e compromisso das pessoas de toda a organização ou empresa não trazem resultados a longo prazo, sendo os resultados muito menos propícios a perdurarem.

##### **5.2.4.2- Estratégia Seletiva**

Além dos problemas difíceis de resolver com a estratégia anterior há ainda a necessidade em algumas organizações ou empresas de distinguir os equipamentos que são analisados. Tendo em conta isto torna-se necessário que o RCM seja aplicado mais depressa nos ativos em que ocorram mais problemas. Muitas da vezes torna-se difícil a decisão de qual o equipamento a ser analisado em primeiro lugar, e, por isto, existem alguns critérios formais que podem definir a ordem dos equipamentos, consoante a sua importância.

Esta escolha dos ativos pode ser realizada em três etapas: (i) Identificar os ativos mais importantes, ou seja, aqueles que mais beneficiam do RCM; (ii) Ordenar os ativos por ordem decrescente de importância; (iii) Decidir se os ativos são semelhantes de modo que possa ser aplicado um critério padrão de RCM.

As vantagens desta estratégia estão associadas à rapidez no retorno de resultados por parte da utilização do RCM e geralmente estes resultados são mensuráveis. A desvantagem é

que é posta mais ênfase no desempenho técnico e operacional da equipa do que no esforço a longo prazo onde colaboram os técnicos operacionais e os técnicos de manuten o.

#### **5.2.4.3- Estratégia Global**

Na estratégia global   colocada ênfase na melhoria do conhecimento e na motiva o das pessoas, no melhoramento do trabalho em equipa e no rendimento do ativo. Esta estratégia   implementada frequentemente de duas maneiras:

1. Revisitar todos os ativos numa “campanha” curta e intensa, numa dura o de 6 a 18 meses, podendo existir em simultâneo 20 ou mais grupos de RCM, sobre a orienta o de 3 a 40 facilitadores. Com isto, pode efetuar-se mudanças importantes e duradouras a nível do desempenho de manuten o para as organiza es ou empresas que precisam fazê-lo rapidamente. Este método requer um uso de recursos intensivo, de modo que necessita de um planeamento muito minucioso e muita aten o a nível da gestão.
2. Revisitar todos os ativos por etapas. Para isso devem ser ativados 4 ou 5 grupos de RCM em simultâneo sobre coordena o de um ou dois facilitadores.

A vantagem associada a este tipo de estratégia   que assegura um sentido mais amplo para as resolu es de problemas de manuten o a longo prazo. Isto não só melhora a motiva o individual e o trabalho de equipa como também assegura que os resultados obtidos do RCM são muito mais propensos a perdurar. As desvantagens associadas a esta metodologia são relativas   familiariza o de muita gente com a filosofia do RCM, sendo mais difícil de conduzir, tendo em conta que existe muita gente envolvida.

#### **5.2.4.4- Equipamentos do SPCC: Estratégia**

Num SPCC existe um conjunto de equipamentos que devem ser sujeitos a uma análise de RCM, nomeadamente, a UC, o PCL, o GPS e os IED’s. Em cada subesta o numérica existe uma UC, um PCL, um GPS e um conjunto de IED’s. Podem existir diferentes marcas para cada um dos componentes. Com isto, quer-se dizer que num departamento de manuten o deste tipo as pessoas são essenciais para os processos de manuten o. Assim o RCM deve ser efetuado de forma seletiva uma vez que se está a falar de uma quantidade de equipamentos que estão sujeitos a condi es ambientais e operacionais praticamente iguais, devendo por isso os equipamentos serem analisados por fabricante, sem que seja exigida uma análise individual a dois equipamentos praticamente iguais.

Para esta estratégia seletiva   importante dizer que todos os equipamentos do SPCC são importantes, da  que todos devam beneficiar do RCM. Mas a ordena o destes deve ser efetuada com base nas fun es de cada equipamento e qual a afeta o que este tem sobre o sistema de prote o, comando e controlo da subesta o.

A UC é um equipamento que está responsável por comunicar com o centro de comando todas as ocorrências de uma dada subestação. Se houver perda desta função tudo que ocorra na subestação não é visto, podendo levar a acidentes desnecessários. O PCL em caso de falha da UC, para alguns fabricantes, pode assumir as funções desta através de uma reconfiguração do mesmo, se o PCL falhar a UC continua a enviar a informação para o centro de comando, mantendo-se a SE visível e disponível.

Os IED's se falhar a UC ou o PCL ou o GPS continuam a funcionar devido à sua autonomia, no entanto quando falham podem por em risco as funções de proteção, de automatismo e complementares por que são responsáveis, podendo haver situações muito complicadas devido a esta falha.

O GPS se falhar todo o restante sistema continua operacional mas sem que exista sincronização da hora, ou seja, em cada base de dados quando ocorre algum acontecimento fica com a hora que está no equipamento podendo esta ser diferente dos restantes equipamentos.

Por tudo isto, os equipamentos serão analisados pela metodologia do RCM na seguinte ordem:

1. Unidade Central (UC);
2. Dispositivo Eletrónico Inteligente (IED);
3. Posto de Comando Local (PCL);
4. Sistema de Posicionamento Global (GPS).

No caso de surgirem mais equipamentos propostos para que se faça o RCM uma análise de importância semelhante a esta deve ser feita para garantir que são analisados os equipamentos na devida ordem.

### **5.3- Análise de RCM II: Auditoria**

Após todos os passos de preparação a análise de RCM aos equipamentos do SPCC e após a própria análise de um dado equipamento é essencial que seja efetuada uma auditoria. Uma auditoria consiste numa revisão formal dos conteúdos das folhas de informação e de decisão da análise de RCM. Quando esta é realizada ao RCM de um equipamento de um SPCC deve ser realizada pela pessoa que tem a responsabilidade máxima sobre este, como já foi dito anteriormente.

A realização de uma auditoria deve ser feita quando é dada como terminada a análise de RCM ao equipamento por três razões:

1. As pessoas que fizeram a análise de RCM demonstram ansiedade por ver os resultados dos seus esforços postos em prática;
2. As pessoas ainda têm em memória o porquê das decisões que tomaram;

3. Quanto mais rapidamente forem implementadas as decisões da análise de RCM mais depressa se obterá benefício da análise.

Uma auditoria de RCM implica que o processo de RCM seja verificado do ponto de vista de método e conteúdo. No que toca ao método o auditor deve verificar se o processo de RCM foi corretamente aplicado. Quanto ao conteúdo o auditor deve verificar se foi reunida a informação correta e se foram obtidas conclusões/decisões corretas do ponto de vista do equipamento e do processo de RCM. A auditoria deve ter em conta um conjunto de critérios relacionados com o processo de RCM:

- Todas as funções dos equipamentos devem estar descritas de forma clara e correta, devendo ser obedecidos alguns critérios:
  - Deve definir-se cada função individualmente, para isto cada uma das funções deve ter apenas um verbo;
  - Devem estar quantificadas e indicadas apenas as funções que são executadas no contexto operacional do equipamento;
  - Subcomponentes de proteção, medição e indicadores devem ter as suas funções definidas com o nível de precisão desejados;
- Para cada função devem ser listadas todas as falhas funcionais correspondentes;
- Deve ser assegurado que nenhum modo de falha, que tenha ocorrido no passado ou que tenha probabilidade de vir a acontecer, foi omissa. A descrição destes deve ser explícita:
  - Incluir um verbo na descrição, este não deve ser “falhar”;
  - Não indicar apenas o componente do equipamento;
  - Não deve ser descrito com a expressão: “mau funcionamento”;
- A descrição dos efeitos de falha tem de ser de tal modo evidente que possa permitir decidir se o modo de falha é evidente para o operador ou não, ou se afeta a segurança ou normas ambientais;
- Devem ser verificadas se todas as consequências foram corretamente aplicadas;
- Por fim, deve verificar-se se a seleção das tarefas de manutenção está devidamente identificada com o modo de falha e se a descrição das tarefas de manutenção estão devidamente sucintas, para que quem vá executá-las não tenha qualquer dúvida.

#### **5.4- Aplicando a Metodologia: Permanência**

A metodologia de RCM, de tempos a tempos, pode ter que ser revista. Numa aplicação típica de RCM é nomeada uma equipa de revisão do RCM e é feita uma revisão à base de dados de 9 em 9 meses ou de 12 em 12 meses. Nos equipamentos do SPCC isto não é

necessário uma vez que este sistema está sobre constante supervisão qualquer falha que ocorra é reportada e os responsáveis pela supervisão têm o dever de informar os técnicos de manutenção. Nisto, os técnicos de manutenção dos equipamentos dos SPCC devem verificar cada um dos seguintes pontos:

- O contexto de operação do equipamento foi alterado de modo que seja necessário modificar qualquer das decisões tomadas na análise inicial?
- Algum dos rendimentos esperados para o equipamento mudou de modo que seja necessário fazer revisão das funções e falhas funcionais do equipamento na folha de informação?
- Desde que foi efetuada a análise inicial de RCM ao equipamento registou-se algum modo de falha que não tenha sido previsto e registado na folha de informação?
- Deveria agregar-se ou modificar-se alguma coisa na descrição dos efeitos das falhas?
- Ocorreu algum acontecimento que leve a crer que as consequências das falhas deveriam ser avaliadas de outra maneira?
- Há alguma razão para crer que qualquer das tarefas inicialmente escolhidas não são tecnicamente viáveis ou que não valham a pena?
- Alguém pensou que uma técnica proactiva seria melhor do que as seleccionadas anteriormente?

No SPCC para que isto funcione corretamente é necessário que as pessoas tenham adequado a sua mentalidade ao RCM e quando estiverem a desempenhar as suas funções deveram ser críticos relativamente ao equipamento e lembrarem-se de questionar o mencionado nos pontos anteriores.

## 5.5- Treino e Formação

As pessoas envolvidas na análise de RCM devem ter níveis de formação diferentes, isto de acordo com a função que executem nesta:

- O facilitador é o elemento envolvido no processo de RCM que deve ter a formação e treino mais completo, ou seja, deve ter uma formação inicial de RCM onde é introduzido todo o processo de RCM e de seguida é efetuado um treino formal intensivo de 10 dias. Após isto o facilitador estará apto a começar a trabalhar com os grupos de análise de RCM, sobre supervisão de um especialista com experiência no RCM, durante alguns meses;
- Os técnicos de manutenção e operação e os especialistas devem ter um curso sobre os princípios básicos do RCM. Este curso deve incorporar uma variedade de casos de estudo e exercícios práticos que permite aos participantes perceber como a teoria funciona na prática;

- Os supervisores de engenharia devem ter a mesma formação dos técnicos de manutenção e operação e os especialistas, no entanto a formação destes deve ter uma componente de como administrar a implementação do RCM;
- Os auditores devem ter uma formação semelhante à dos facilitadores de modo a que possam avaliar as análises de RCM.

## 5.6- Caso de Estudo: Departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto (ATOM-OMPRT)

O ATOM é o Departamento de Automação e Telecontrolo da operadora da rede elétrica de distribuição - EDP Distribuição, este está dividido por direções. A direção a ser estudada é a direção de operação e manutenção do Porto (OMPRT). Esta por sua vez tem ao seu encargo três áreas: os Sistemas de Proteção (SP), os Sistemas de Comando e Controlo (SCC) e os Sistemas de Telecomunicações (STL).

Nesta secção vai descrever-se como vai ser distribuído o pessoal pelas equipas e como se poderá proceder na implementação dos resultados da análise de RCM II, identificando-se, posteriormente, as possíveis dificuldades emergentes deste processo.

### 5.6.1- Distribuição do Pessoal em Equipas

Os equipamentos a serem analisados perante a metodologia RCM não pertencem apenas a uma destas áreas: os IED's são responsabilidade da área de SP; a UC, o PCL e o GPS são responsabilidade da área de SCC. Cada uma destas áreas tem um responsável e um conjunto de técnicos de manutenção e operação. Na Tabela 5.1 encontra-se especificado o número de pessoas para cada área.

**Tabela 5.1** - Número de pessoas por áreas dos equipamentos a serem analisados [34].

Áreas	SP	SCC
Supervisores de Engenharia	2	2
Técnicos de Manutenção e Operação	4	5

Com base nestes dados para a análise de RCM deveram ser constituídos dois grupos de RCM, um por cada área de manutenção e operação. Cada equipa deverá ter os elementos que foram definidos na secção 5.1, ou seja, dois técnicos de manutenção e operação, um supervisor de engenharia e um facilitador, que devem ser sempre os mesmos em cada análise de RCM. O facilitador neste caso deverá ser o mesmo nas duas áreas, tendo este um conhecimento mínimo de todos os equipamentos em análise devendo ser selecionado dentro de todos os supervisores de engenharia, numa perspetiva de poupar recursos.

Analisado um dado componente segundo a metodologia RCM deverá ser efetuada uma auditoria: esta auditoria deveria ser efetuada pelo departamento de Manutenção, Planeamento e Controlo (MNPC), da operadora da rede elétrica de distribuição, uma vez que este departamento tem responsabilidade pelas políticas de manutenção. No entanto, como este departamento não tem conhecimento técnico suficiente sobre os equipamentos será necessário eleger uma figura interna ao departamento ATOM.

No que toca a reuniões neste departamento, ao invés de ser realizada uma reunião por semana, será realizada uma reunião mensalmente com duração de um dia, tendo em conta a falta de pessoal para executar os trabalhos de manutenção não permite que seja semanalmente. Com isto o processo poderá ser mais demorado, uma vez que com o espaçamento temporal entre reuniões exigirá que seja feita uma pequena revisão da última reunião.

De acordo com o estudo realizado em [12] os IED's não deverão ser alvo da metodologia RCM II.

### **5.6.2- A Implementação dos Resultados da Análise de RCM II**

Distribuído o pessoal por equipas e definidas as suas funções dentro da equipa é realizada a análise de RCM II; posteriormente tem de ser implementada nos equipamentos. A maior dificuldade que poderá ser encontrada é na aplicação prática dos resultados da análise. Haverá uma grande inércia por parte do pessoal em mudar a política de manutenção de modo que esta mudança deve ser gradual, ou seja, deve ser feito um equipamento de cada vez, podendo designar-se esta implementação de piloto.

Para que o RCM II seja um programa de manutenção vivo é necessário que todos os técnicos de manutenção e operação e os supervisores de engenharia comuniquem entre si sobre o que pensam relativamente à manutenção e aos equipamentos, isto com base num pensamento RCM [35]. Esta comunicação visa também a identificação de alterações nos equipamentos por parte dos técnicos que não estão integrados nos grupos de RCM e posterior comunicação aos técnicos integrados no grupo.

Neste caso de estudo a implementação da análise de RCM não vai estar “sozinha”, com esta metodologia vão ainda ser efetuadas um conjunto de inspeções por forma a fortalecer o estudo da permanência da análise de RCM. Tendo em conta os equipamentos em que foram efetuadas as análises de RCM II será feita uma inspeção a cada subestação, que de acordo com a experiência dos técnicos e supervisores de engenharia deverá ser feita anualmente.

A inspeção prevista para aplicar em conjunto com o RCM II já está implementada atualmente, no entanto não é feita anualmente, dado ao número de subestações existentes. Os técnicos de manutenção e operação e supervisores de engenharia não são apenas responsáveis pelas subestações numéricas mas também pelas clássicas, de modo que a ficha de inspeção é a mesma mas com as devidas especificações para cada tipo de subestação. Este documento de registo da inspeção encontra-se no Anexo A.

### **5.6.3- Possíveis Dificuldades do Processo de Implementação da metodologia RCM II**

O processo de implementação da metodologia de RCM II no ATOM-OMPRT terá algumas dificuldades:

- Em 2007 existiam 100 subestações à responsabilidade desta direção, numéricas e clássicas: será complicado manter dois tipos de manutenção diferentes, isto é, nas subestações clássicas a política de manutenção implementada na atualidade e nas numéricas uma política de manutenção baseada no RCM II com inspeções em simultâneo, isto tendo por base o número de trabalhadores de cada área.
- O RCM II será aplicado por semelhança de equipamento em marca e modelo, mas cada subestação tem as suas particularidades: estas poderão sair prejudicadas ao generalizar os equipamentos.
- Uma dificuldade que poderá surgir é a falta de técnicos de manutenção e operação para executar todas as tarefas necessárias, uma vez que será necessário um tempo do horário laboral destes para que seja feita a análise de RCM II aos equipamentos, tendo em conta que existem várias marcas de equipamentos e alguns modelos de equipamentos, e ainda tem que ser feita a manutenção das restantes subestações.

### **5.6.4- Matriz de Avaliação de Risco dos Modos de Falha com tarefas de Manutenção Corretiva**

A utilização de uma matriz de risco permite aos gestores do departamento de Automação e Telecontrolo (ATOM) priorizar investimentos e alocar recursos tendo em conta os resultados obtidos na matriz de risco nas diferentes áreas, departamentos ou até direções da empresa. A utilização da matriz de risco permite uma avaliação uniforme e sistemática, sendo os resultados da análise importantes para os gestores e colaboradores do departamento, bem como para os gestores responsáveis pelo departamento por forma a avaliar a condição atual dos ativos [36].

A aplicação da matriz de risco aos modos de falha que são alvo de tarefas de manutenção corretiva no departamento ATOM-OMPRT tem como objetivos:

1. Avaliar o risco associado à intervenção nos modos de falhas: estes devem ser intervencionados de imediato ou não;
2. Justificar reparações, substituições e abates de equipamentos;
3. Justificar intervenções ou alocação de recursos e investimentos.

A avaliação do risco, associada às tarefas de manutenção corretiva, é realizada através da conjugação das consequências relacionadas com o modo de falha durante o período médio de ocorrências de falhas do equipamento. A classificação das consequências dos modos de falha é realizada a partir dos quatro valores de negócio determinados pelos gestores de topo da

empresa, sendo estes a Sustentabilidade, Reputação, Qualidade de Serviço e impacto Económico. A conjugação da frequência de ocorrência dos modos de falha com os impactos nos valores da empresa resulta na classificação do risco associado à manutenção corretiva, sendo classificado tendo em conta os indicadores assinalados na zona 1 da Figura 5.5.

A classificação do nível de severidade das consequências para os valores da empresa é avaliado numa escala de 1 a 5, em que 1 corresponde a um risco com significado baixo para os valores da empresa e 5 de muito crítico. Por forma a facilitar o preenchimento da matriz de risco, para cada nível de severidade dos vários valores da empresa encontra-se descrito um tipo ou valores associados às consequências (cf. Figura 5.5). Estas consequências estão diretamente ligadas às consequências do modo de falha.

A probabilidade de ocorrência de um modo de falha pode ser classificado em 5 níveis como se pode ver na Tabela 5.2. Estes níveis de probabilidade devem ser ajustados a cada modo de falha.

**Tabela 5.2** - Níveis de probabilidade de ocorrência dos modos de falha.

Nível	Classificação
1	Muito Baixa (MB)
2	Baixa (B)
3	Média (M)
4	Elevada (E)
5	Muito Elevada (ME)

Os indicadores de avaliação final encontram-se divididos em três categorias de ação por parte dos colaboradores:

- Nível Máximo: Necessidade de aplicação de manutenção corretiva imediata;
- Nível Intermédio: É necessário ter em atenção que a manutenção corretiva deve ser feita mas se não houver recursos humanos e financeiros disponíveis terá de esperar;
- Nível Reduzido: Esta zona apresenta um risco reduzido para o SPCC se não for aplicada a manutenção corretiva de imediato.

O valor final da avaliação de risco da manutenção corretiva associada a um dado modo de falha em análise é realizada tendo em conta os indicadores contidos na Zona 1 da Figura 5.5.

Na avaliação da probabilidade de um dado modo de falha devem ser considerados os indicadores disponíveis na Tabela 5.3, bem como a percentagem da sua importância no estado do equipamento.

O risco associado à manutenção corretiva de um dado modo de falha é então dado através da relação entre a probabilidade do modo de falha ocorrer e as consequências deste modo de falha ocorrer para a empresa e para o SPCC.

Impactos						Probabilidade do Modo de Falha					
Indicadores	Sustentabilidade		Reputação	Qualidade de Serviço	Económico	MB	B	M	E	ME	
	Segurança de Pessoas	Ambiente	Repercussão nos Média e População	Disponibilidade	Resultados	1	2	3	4	5	
Nível de Severidade	5	Pode causar morte ou incapacidade permanente e grave das pessoas	Pode causar danos significativos ao ambiente que se manifestam durante um prazo superior a 5 anos	Internacional ou nacional com potencial de repetição nos médias	98 % > Valor	R ≥ 4500	I1	I2	I4	M5	M1
	4	Pode necessitar de internamento hospitalar	Pode causar danos significativos ao ambiente que se manifestam durante um prazo até 5 anos	Nacional ou regional com potencial de repetição nos médias	99 % > Valor ≥ 98 %	4500 > R ≥ 2000	I3	I5	M6	M2	A10
	3	Pode necessitar tratamento médico	Pode causar danos pequenos ao ambiente que se manifestam durante um prazo de mais de 5 anos	Regional ou local com potencial de repetição nos médias	99,5 % > Valor ≥ 99 %	2000 > R ≥ 750	I6	M7	M3	A9	A6
	2	Pode necessitar de Primeiros Socorros	Pode causar danos pequenos ao ambiente que se manifestam durante um prazo até 5 anos	Notícia Local	99,8 % > Valor ≥ 99,5 %	750 > R ≥ 250	M8	M4	A8	A5	A3
	1	Sem Impacto	Sem impacto relevante	Sem impacto externo ao Grupo	Valor ≥ 99,8 %	250 > R	A11	A7	A4	A2	A1

## Zona 1

Figura 5.5 - Matriz de risco para a manutenção corretiva.

Tabela 5.3 - Indicadores relevantes na avaliação da probabilidade de um dado modo de falha e o seu peso.

Indicador	Descrição	Peso
Idade	Considerado o período de funcionamento e a idade aconselhável pelo fabricante para a sua substituição ou em alguns casos, a idade contabilística utilizada pela EDP - Distribuição (e.g. idade aconselhável pelo fabricante para substituição do emissor é 20 anos. Se o equipamento apresentar um tempo de funcionamento superior a 20 anos é classificado com o nível de risco 5);	10%
Inspeção	Pretende-se com este indicador avaliar o estado visual do equipamento e do ambiente em redor do mesmo. E ver se há alguma alteração que seja relevante para o RCM II (caso haja deverá ser classificado com o nível de risco 5);	20%

Disponibilidade	O cálculo da disponibilidade dos equipamentos é realizado através do tempo de funcionamento dos equipamentos sem alarmes ativos sobre o tempo total em análise. Os alarmes considerados para a análise deverão ser selecionados através da consulta dos colaboradores responsáveis pela manutenção dos equipamentos;	35%
Custo de Manutenção	O cálculo do custo de manutenção deve ser efetuado como referido na secção 2.4 do capítulo 2.	35%

## 5.7- Sumário

A implementação da metodologia de RCM II começa muito antes da análise de RCM II aos equipamentos do SPCC, nomeadamente, através da qualificação de pessoal para que seja feita esta, sendo necessário atribuir equipas de análise de RCM e de auditoria a esta, verificando-se ainda que as tarefas têm de ser distribuídas por cada um corretamente, devendo toda a gente compreender as suas funções para que tudo funcione corretamente. Para que haja uma boa análise de RCM tem de ser feito um trabalho prévio de recolha de informação acerca do equipamento em análise.

Com todo este processo de implementação a organização vai ter um conhecimento partilhado, como consequência da metodologia de RCM II, demonstrando-se que realmente este é uma metodologia viva, ou seja, é contínua como se pode ver na Figura 5.6, sendo a partilha de conhecimento um dos maiores benefícios do RCM II, uma vez que leva a que haja um conjunto de pessoas ligadas por um mesmo assunto, podendo cada um dar a sua contribuição.

O processo de RCM II pode ser visto através de um ciclo de PDCA (cf. Figura 5.6). O PDCA é um método iterativo de gestão em quatro passos: Planear, Executar, Verificar e Agir; este método permite a melhoria contínua de processos e/ou produtos. O que se pretende do RCM II é uma melhoria a nível de disponibilidade e a nível económico, podendo assim assumir-se a implementação da metodologia RCM II como um ciclo PDCA - um programa vivo.

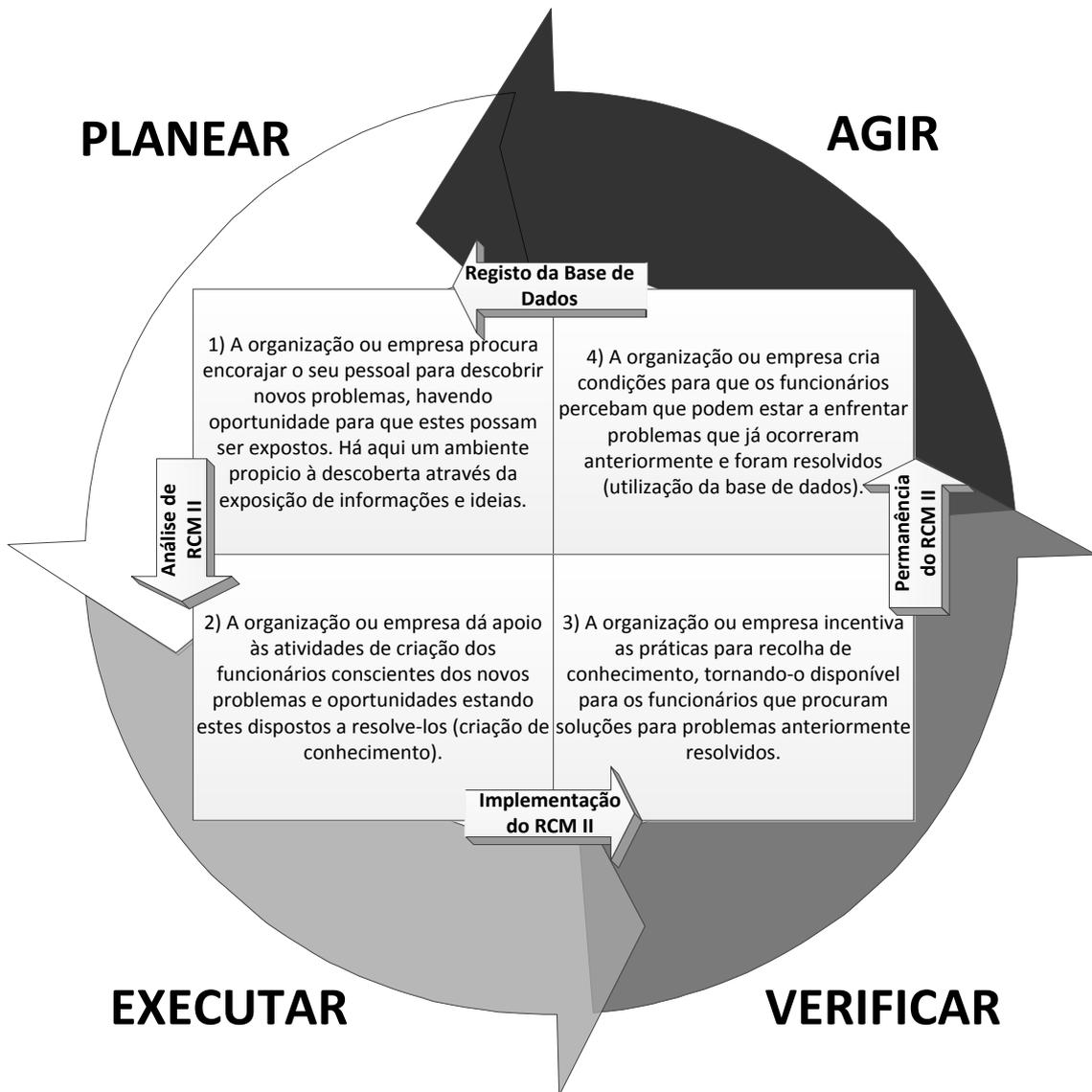


Figura 5.6 - Partilha de conhecimento através da metodologia RCM II e o ciclo PDCA.

# Capítulo 6

## Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo são descritas as conclusões (Secção 6.1), a limitação (Secção 6.2) e contribuições do trabalho (Secção 6.3) desenvolvido sobre a aplicação da metodologia “*Reliability Centered Maintenance*”, (RCM), aos equipamentos do Sistema de Proteção, Comando e Controlo (SPCC) de uma subestação numérica AT/MT da operadora da rede elétrica de distribuição. Na Secção 6.4 encontra-se sugestões para possíveis trabalhos futuros.

### 6.1- Principais Conclusões

As funções de proteção, supervisão e controlo que os Sistemas de Proteção, Comando e Controlo (SPCC) desempenham na rede elétrica de distribuição exigem que haja uma grande fiabilidade. De acordo com a disponibilidade das subestações pode dizer-se que os equipamentos do SPCC garantem uma elevada fiabilidade.

Atualmente, as tarefas de manutenção aplicadas ao SPCC são de natureza preventiva sistemática. O GPS, o PCL e a UC foram os equipamentos do SPCC que se justificou serem alvo de análise de RCM II, ou seja, estes equipamentos quando implementada a metodologia de RCM II deverão ser sujeitos a alterações na forma de manutenção.

Na aplicação da análise de RCM II ao Sistema de Posicionamento Global (GPS), ao Posto de Comando Local (PCL) e à Unidade Central (UC) verificou-se que num total de 125 modos de falha (58 modos de falha do GPS, 58 modos de falha do PCL e 34 modos de falha da UC) foi decisão da análise de RCM que 124 destes modos de falha iriam ter tarefas de manutenção corretiva e um modo de falha da UC iria ter uma tarefa de manutenção preventiva sistemática por reparação. A tarefa de manutenção preventiva sistemática (reparação) será simples de pôr em prática, esta pode ser efetuada remotamente, não exigindo muitos recursos. As manutenções corretivas a efetuar serão facilmente detetáveis uma vez que os equipamentos são dotados de uma alta autonomia e de uma supervisão contínua transmitida pelo sistema de SCADA.

Na implementação da metodologia de RCM II tem de ser seguido um processo específico de forma a trazer vantagens quantificáveis, no entanto, esta exige muitos recursos a nível de pessoal e a nível de tempo de implementação. A Figura 6.1 tem representado todo o algoritmo de implementação da metodologia de RCM II. Este processo de implementação foi adaptado para o SPCC e notou-se algumas diferenças relativamente a um processo típico como indicado em [1], sendo as principais diferenças:

- O grupo de RCM II tem uma constituição diferente da descrita em [1] devido às particularidades dos intervenientes do SPCC;
- O tempo de implementação do processo de RCM II é menos alargado se estivermos perante uma análise a um SPCC, embora no caso de estudo isso não vá acontecer, uma vez que as reuniões não são semanais mas sim mensais.

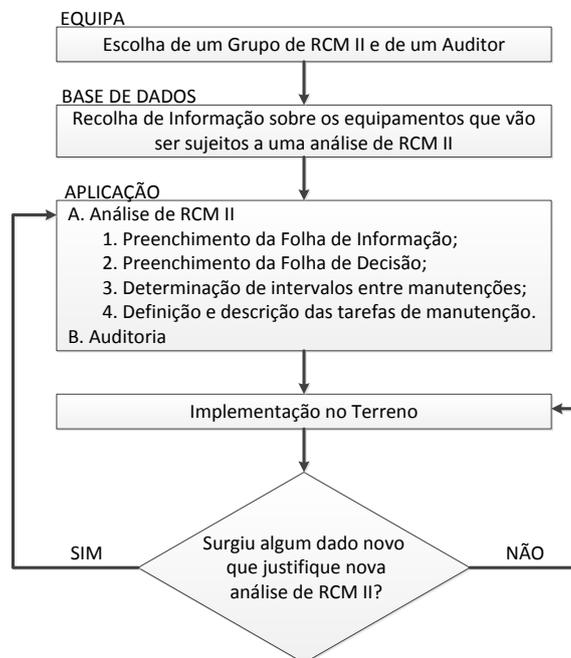


Figura 6.1 - Algoritmo de implementação do RCM II.

Pode concluir-se que o RCM II poderá só trazer vantagens se for inteiramente implementado, ou seja, quando implementado permitirá que:

- Haja um conhecimento profundo dos equipamentos por parte de toda a equipa de RCM II, uma vez que ao invés de existir uma pessoa especializada num equipamento existe um conjunto de pessoas especializadas em mais do que um equipamento;
- As tarefas de manutenção desnecessárias sejam eliminadas;
- Haja maior capacidade de diálogo com os fabricantes do equipamento;
- Todos os colaboradores trabalhem em equipa.

Apesar destas possíveis vantagens existem também algumas desvantagens:

- Este processo é moroso de aplicação e de recursos;
- Envolve elevados recursos humanos e financeiros.

O processo de RCM II, no departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto (ATOM-OMPRT), deverá então ser implementado corretamente para que possam ser obtidos resultados da sua aplicação, determinando-se claramente quais são as suas vantagens e desvantagens. A sua implementação irá implicar alterações na política de manutenção:

- A nível da organização dos recursos humanos e económicos, uma vez que será necessário formar equipas de RCM e deverão ter tempo para poder efetuarem todas as tarefas da metodologia de RCM II e ainda terem formações e treinos;
- A nível das tarefas de manutenção uma vez que ao invés de se ter uma manutenção apenas preventiva sistemática poderá passar a existir maioritariamente tarefas de manutenção corretiva (como se pode concluir da análise de RCM II realizada no Capítulo 4) juntamente com inspeções periódicas. As tarefas de manutenção corretiva poderão ainda estar sujeitas a uma avaliação de risco.

No que toca à quantificação do retorno desta possível política de manutenção baseada no RCM II poderá vir a ser feita através dos custos de manutenção associados a 5 anos após a implementação da desta política de manutenção. O período de 5 anos corresponde ao período entre manutenções mais longo que se encontra na política de manutenção atual, que por sua vez é o intervalo entre manutenções nos Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED's), como se pode verificar na Tabela 3.2. Após determinar este custo deverá ser feita a comparação com os custos de manutenção de um período de 5 anos da política de manutenção atual para que possa ser determinado o retorno.

## 6.2- Limitação

A análise de RCM II efetuada no Capítulo 4 não está totalmente correta uma vez que poderá faltar muito do *Know-how* das pessoas que estão diretamente envolvidas com cada um dos equipamentos, nomeadamente os técnicos de manutenção e operação e os supervisores de engenharia. Para que a análise tenha os melhores resultados possíveis deverá ser feita a análise de RCM II com a equipa descrita no capítulo 5, na secção 5.1.

## 6.3- Contribuições da Dissertação

O trabalho desenvolvido ao longo da dissertação permitiu conhecer de forma pormenorizada a metodologia RCM II. Os passos a seguir para implementar todo o processo desta filosofia de manutenção foram descritos: desde a preparação para o processo, à sua

análise e à sua implementação no terreno. Neste momento, o departamento de automação e telecontrolo, operação e manutenção do porto tem toda a informação que necessita para começar a executar esta metodologia.

A análise de RCM II efetuada aos equipamentos do SPCC contribuiu para perceber que a maioria das tarefas de manutenção a realizar serão de índole corretiva e que cada equipamento tem uma criticidade diferente para o funcionamento da subestação. Para que hajam bons resultados na implementação do RCM II deve haver uma equipa específica e esta equipa deve garantir que a implementação é feita desde a fase de preparação até à fase de executar as tarefas de manutenção proposta.

Com todo o estudo realizado à implementação da metodologia de RCM II o departamento de Automação e Telecontrolo, Operação e Manutenção do Porto (ATOM-OMPRT) tem todas as ferramentas que necessita para poder começar a implementação piloto da metodologia de RCM II nos equipamentos dos seus Sistemas de Proteção, Comando e Controlo.

## **6.4- Possíveis Trabalhos Futuros**

Em trabalhos futuros seria útil efetuar uma análise económica à implementação do processo de RCM II ao Sistema de Proteção, Comando e Controlo, tal como sugerido no capítulo 5. Nesta análise económica sugere-se que se efetue uma comparação entre 5 anos de manutenção preventiva sistemática (manutenção atual) e 5 anos de manutenção baseada na Fiabilidade (RCM). O tempo dado corresponde ao tempo maior entre manutenções realizado nos IED's, que por sua vez corresponde ao maior tempo de todos os equipamentos do SPCC (cf. Tabela 3.2). Esta análise justifica-se efetuar uma vez que o SPCC de cada uma das subestações já têm uma elevada fiabilidade, sendo necessário baixar os custos de manutenção. Um dos modos de conseguir ver se o RCM II devolve vantagem económica é por esta análise.

# Referências

- [1] J. Moubray, *Reliability-Centered Maintenance*, 2ª ed. Oxford: Elsevier Butterworth Heinemann, 1997.
- [2] A. M. Smith and G. R. Hinchcliffe, *RCM - Gateway To World Class Maintenance*. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
- [3] F. S. Nowlan and H. F. Heap, *Reliability-Centered Maintenance*. Springfield: U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, 1978.
- [4] F. M. Barbosa. (2013). *Introdução à Fiabilidade de Sistemas Elétricos de Energia*. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~fmb> -> Textos didáticos, Último acesso em 20 de março de 2013
- [5] V. Miranda, "Fiabilidade em Sistemas de Potência - Uma Introdução," ed, Janeiro 2010.
- [6] J. P. S. Cabral, *Organização e Gestão da Manutenção*: Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2004.
- [7] C. V. Pinto, *Organização e Gestão da Manutenção*. Lisboa: Monitor, 2002.
- [8] *Terminologia da Manutenção: NP EN 13306*, 2007.
- [9] NASA. (2000). *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment*. Disponível em: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov) -> search -> Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment
- [10] M. P. Alain Cortois, Chantal Martin-Bonnefous, *Gestão da Produção*, 5 ed.: Lidel.
- [11] A. S. José Lima, Renelson Sampaio, "Sistemas de gestão da manutenção - Uma revisão bibliográfica visando estabelecer critérios para avaliação de maturidade," presented at the XXX Encontro nacional de engenharia de produção, São Carlos, SP, Brasil, 2010.
- [12] H. Tavares, "Aplicação de Metodologias RCM nos Planos de Manutenção de Sistemas de Proteção, Comando e Controlo," Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [13] A. Pinto, "Relatório de Estágio DAT/ATOM/OMPRT," EDP Distribuição - Energia, S.A.2009/2010.
- [14] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Instalações AT e Mt. Subestações de distribuição: Projeto tipo - Memória Descritiva: DIT-C13-500/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DIT-C13-500/N -> Pesquisar, Último acesso em 20 de fevereiro de 2013
- [15] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC) - Funções de Proteção: DEF-C13-570/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-570/N -> Pesquisar, Último acesso em 9 de março de 2013
- [16] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Função de Automatismo - Religação rápida e/ou lenta de disjuntores: DEF-C13-551/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-551/N -> Pesquisar, Último acesso em 11 de março de 2013
- [17] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Função de Automatismo - Pesquisa de terras resistentes: DEF-C13-552/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-552/N -> Pesquisar, Último acesso em 11 de março de 2013

- [18] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Função de Automatismo - Deslastre por falta de tensão/reposição por regresso de tensão: DEF-C13-553/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-553/N -> Pesquisar, Último acesso em 11 de março de 2013
- [19] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Função de Automatismo - Deslastre por mínimo de frequência/reposição por normalização de frequência: DEF-C13-554/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-554/N -> Pesquisar, Último acesso em 11 de março de 2013
- [20] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Função de Automatismo - Regulação de tensão: DEF-C13-555/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-555/N -> Pesquisar, Último acesso em 11 de março de 2013
- [21] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Função de Automatismo - Comando horário de baterias de condensadores: DEF-C13-556/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-556/N -> Pesquisar, Último acesso em 11 de março de 2013
- [22] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Função de Automatismo - Comutação automática de disjuntores BT: DEF-C13-550/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-550/N -> Pesquisar, Último acesso em 11 de março de 2013
- [23] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC) - Características e Ensaios: DMA-C13-501/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DMA-C13-501/N -> Pesquisar, Último acesso em 20 de fevereiro de 2013
- [24] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2006). *Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC) - Interface Humano-Máquina: DEF-C13-503/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-503/N -> Pesquisar, Último acesso em 20 de fevereiro de 2013
- [25] S. A. EDP Distribuição - Energia. (2007). *Sistemas de Proteção, Comando e Controlo - Protocolos de Comunicação: DEF-C13-504/N*. Disponível em: [www.edpdistribuicao.pt](http://www.edpdistribuicao.pt) -> Profissional -> Documentos Normativos -> Por Código -> DEF-C13-504/N -> Pesquisar, Último acesso em 6 de março de 2013
- [26] A. Morais, "Arquitetura de comunicações de Sistemas de Proteção, Comando e Controlo da EDP Distribuição," Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.
- [27] N. Mello, "Automação Digital de Subestações de Energia Elétrica," Grau de Engenheiro Eletricista, Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- [28] ALSTOM, *Network Protection & Automation Guide*: Alstom Grid, maio de 2011.
- [29] S. A. EDP Distribuição - Energia, "Política de Manutenção ATOM," maio de 2012.
- [30] S. A. EDP Distribuição - Energia, DAT, "Subestações de Distribuição AT/MT - Protocolo de Ensaios Funcionais," ed, 2009, pp. 11-13.
- [31] Hopf. (2007). *Technical Manual - Slim Line System - Model 6842 GPS*. Disponível em: <http://www.hopf.com/> -> english -> Download -> Technical Descriptions -> e6842-SlimLine-1U\_0601.pdf, Último acesso em 18 de abril de 2013
- [32] Hopf. (2007). *Technical Description - GPS Satellite Clock 6842*. Disponível em: <http://www.hopf.com/> -> english -> Download -> Technical Descriptions -> e6842\_0701.pdf -1U\_0601, Último acesso em 18 de abril de 2013
- [33] Hopf. (2007). *Technical Manual - NTP TimeServer LAN Board - Model 7271*. Disponível em: <http://www.hopf.com/> -> english -> Download -> Technical Descriptions -> e7271\_0301.pdf, Último acesso em 18 de abril de 2013
- [34] J. A. W. F.M. Koers, "Commissioning and maintenance policy of protection and telecontrol systems," KEMA Consulting2007.
- [35] M. Rezendes. Reliability-Centered Maintenance Mindset (RCM2) - The Cognitive Psychology of Maintenance Development. Disponível em: [reliabilityweb.com](http://reliabilityweb.com) -> Articles->View by category: Reliability-Centered Maintenance -> Go ->Reliability-Centered Maintenance Mindset (RCM2) - The Cognitive Psychology of Maintenance Development, Último acesso em 9 de maio de 2013

- [36] J. Fecha, "Aplicação da PAS 55 ao Departamento de Operação e Manutenção da Operadora da Rede Elétrica de Distribuição," Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.



## **Anexo A**

### **Ficha de Ensaio de Manutenção Preventiva a UC 's, PCL's, URTAS e GPS**

	DAT - ATOM
<h1>Sistemas de Telecontrolo</h1> <h2>Ficha de Ensaio</h2> <p>_____ (data)</p>	
_____	



### Ficha de Manutenção – Sistemas de Telecontrolo

1 -	FICHA DE MANUTENÇÃO .....	3
1.1 -	DADOS GERAIS .....	3
1.2 -	ESTADO GERAL DA INSTALAÇÃO (INSPECÇÃO) .....	3
1.3 -	URT CLÁSSICA .....	4
1.4 -	PC E UC – HARDWARE E SOFTWARE .....	5
1.5 -	HARDWARE E ENSAIOS .....	6
1.6 -	TRABALHOS A EFECTUAR .....	7
1.7 -	PROCEDIMENTO FINAL .....	8
	OBSERVAÇÕES À INSPECÇÃO .....	9
2 -	PROCEDIMENTOS GERAIS .....	10
2.1 -	SEGURANÇA .....	10
2.2 -	DOCUMENTAÇÃO .....	10
	2.2.1 - Pedidos de indisponibilidade .....	10
	2.2.2 - MANUAIS .....	10
2.3 -	FERRAMENTAS .....	10
2.4 -	PROCEDIMENTOS DE CONTACTO .....	10

Redigido por: FT SPCC	Versão: 2.0	Data: 04-06-2012	Verificado:	Cópias a: ATOM	Página: 2 / 10
--------------------------	----------------	---------------------	-------------	-------------------	-------------------

	distribuição	Fichas de Manutenção	Telecontrolo
---	--------------	----------------------	--------------

## 1 - FICHA DE MANUTENÇÃO

### 1.1 - DADOS GERAIS

Local:	Data:
--------	-------

<b>Equipamentos</b>		
Tipo:		
<input type="checkbox"/> URT Clássica <input type="checkbox"/> URT Numérica <input type="checkbox"/> URR		
Fornecedor:		
<input type="checkbox"/> EFACEC <input type="checkbox"/> ABB <input type="checkbox"/> SIEMENS <input type="checkbox"/> CETT <input type="checkbox"/> LANDIS		
URT	PC Marca:	UIC
Marca:	Modelo:	Marca:
Modelo:	Motherboard:	Modelo:
Nº série:	Nº série:	Nº série:
<b>Comunicações:</b>		
<input type="checkbox"/> FO <input type="checkbox"/> PLC <input type="checkbox"/> Cabo Telefónico <input type="checkbox"/> Rádio <input type="checkbox"/> Link Microondas <input type="checkbox"/> GPRS		
Marca:	Modelo:	Nº série:

### 1.2 - ESTADO GERAL DA INSTALAÇÃO (INSPECÇÃO)

Estado Geral da Instalação		OK/NA	NC*
1	Air condicionado		
2	Telefone nº _____		
3	Suvidade Instalação		
4	Iluminação Instalação		
5	Central Intrusão (se tem ou não)		
6	Portas ou Portão SE - Tipo de chave: _____		
7	Cofre de Chaves		
8	WC		
9	Aquecimento		
10	Vidros Partidos		
11	Infiltrações		
12	Acesso para deficientes motores		

Redigido por: FT SPOC	Versão: 2.0	Data: 04-06-2012	Verificado:	Cópias a: ATOM	Página: 3 / 10
--------------------------	----------------	---------------------	-------------	-------------------	-------------------



## 1.3 - URT CLÁSSICA

URT Clássica		OK/NA	NC*
<b>Verificação Cartas URT</b>			
1	Fontes de Alimentação		
2	Cartas Comunicação (Modem)		
3	Cartas Shaltações		
4	Cartas Comandos		
5	Cartas Médias		
6	Cartas AIG		
7	Falha de Cartas		
8	Anomalia em Cartas periféricas da URT		
<b>Outros</b>			
9	Cablagens / Calhas ou Tampas/ Fichas ou capots		
10	Limpeza URT		
11	Vestígios de Animais		
12	Estado Geral Armário URT		
13	Estado Geral Armário AIG		
14	Etiquetas Identificativas (Cartas/Cabos)		
15	Instruções de RESET à URT		
16	Documentação da URT (Esquemas/Listas de Sinais)		
17	Recolha de parâmetros dos Automatismos (Print Screen)		
18	...		

Redigido por:  
FT SPOC

Versão:  
2.0

Data:  
04-06-2012

Verificado:

Cópias a:  
ATOM

Página:  
4 / 10



## 1.4 - PC e UC – Hardware e Software

PC e UC da URT		OK/NA	NC*
<b>Hardware PC</b>			
1	Monitor – Tamanho: _____ - Alimentação: _____		
2	Teclado		
3	Rato		
4	Modem Comunicações Acesso Remoto (Testar a ligação com o CCC)		
5	Filtros		
6	Ventoinhas		
7	Drive CD/DVD/ Disquetes		
9	Discos Raid em falta (onde aplicável)		
10	Portas de Comunicações (em caso de avaria identificada na deslocação)		
11	Cartas portas série – Modelo: _____ - Tipo porta: <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F		
12	Comunicação com despacho por porta da carta de portas série		
13	Cartas rede – Quantidade: _____ - IP: _____ - IP: _____		
<b>Hardware UC</b>			
1	Portas de Comunicações (em caso de avaria identificada na deslocação)		
2	...		
<b>Software</b>			
1	Users e Passwords Windows		
2	Users e Passwords URT		
3	Windows – Versão: _____		
4	CLP500 / Microscada / WinCC / Outro		
5	Acesso Remoto (Netmeeting e Remote Desktop activo )		
6	Sinópticos		
7	Alarmes permanentes (verificar se Alarmes reais e se igual entre URT e Scada) (prt sc)		
8	Estado do Regul. Tensão (se em MANUAL verificar se há PIN explicativo Scada)		
9	Estado dos Automatismos (se fora de Serviço verificar se há PIN explicativo Scada)		
10	Criação do PDF com auditoria ao PC		
11	Em C:\WINDOWS\ARTA.INI , alterar o "WAIT TIME" para 30		
12	Backup do disco D: e C:\WINDOWS\*.ini		

Se procedimento não for aplicável, preencher a respectiva coluna OK com sigla NA;  
NC\* "Não Conforme" – Para descrever observações, use o espaço reservado na Tabela própria.

Redigido por: FT SPOC	Versão: 2.0	Data: 04-06-2012	Verificado:	Cópias a: ATOM	Página: 5 / 10
--------------------------	----------------	---------------------	-------------	-------------------	-------------------



### 1.5 - Hardware e Ensaios

SE		OK/NA	NC*
<b>Hardware</b>			
1	Switchs – Tipo: _____ - QT: _____ - Tipo: _____ - QT: _____		
2	Router – Tipo: _____		
3	GPS – Tipo: _____		
4	Unidade Aux. – Tipo: _____ - QT: _____ - Backup ficheiros configuração (URR)		
5	RAT – Tipo: _____		
6	Fibras ópticas – Tipo conectores <input type="checkbox"/> MT-RJ (Novas) <input type="checkbox"/> F-SMA (Rosca) <input type="checkbox"/> T-ST (Baioneta)		
7	Equipamento em falta – _____		
9			
10			
11			
<b>Ensaios</b>			
1	Anel fibra (refrar uma fibra de cada vez, no mesmo ponto do anel)		
2	...		
<b>Outros</b>			
1	Imagem do disco		
2	Comunicação Down – Tipo: _____		
3			
4			
5			
6			

Redigido por:  
FT SPOC

Versão:  
2.0

Data:  
04-06-2012

Verificado:

Cópias a:  
ATOM

Página:  
6 / 10



## 1.6 - TRABALHOS A EFECTUAR

PC e UC do URT		OK/NA	NC*
1	Verificar / aceitar os alarmes presentes na lista de alarmes do PCL+UC		
2	Verificar os ficheiros de registo de erros do PCL+UC		
3	Verificar / aceitar em cada IED os alarmes presentes		
4	Verificação do estado das memórias dos IEDs		
5	Recolha dos registos dos IEDs (UACs, BCUs, Routers, Switch, Protecções)		
6	Efectuar backup das protecções Efacec		
7	Efectuar backup das protecções ABB		
8	Efectuar backup das protecções Siemens		
9	Efectuar backup das protecções Alstom (MODN/OPN/Tropic)		
10	Efectuar backup das protecções Areva		
11	Efectuar backup das protecções Dimat		
12	Efectuar backup da UC		
13	Efectuar backup do PCL		
14	Apagar os ficheiros de erros do PCL+UC		
15	Apagar dados do event_log e arquivos do PCL+UC		
16	Apagar os registos da base de dados e dos IEDs		
17	Limpeza interna/externa da UC		
18	Limpeza interna/externa do PCL, verificação do correto funcionamento dos ventiladores e troca de filtros caso necessário		
19	Limpeza interna/externa das UA		
20	Limpeza externa dos IEDs e Conversores		
21	Registo dos números de série de todo o equipamento intervencionado		
22	Verificação da validade das pilhas de acordo com o número de série do IED		
23	Verificação das ligações à terra dos diferentes equipamentos		
24	Verificação do estado do equipamento de sincronização		
25	Verificação da rede de comunicações do SPCC		
26	Registo e análise das tensões de alimentação dos conversores da instalação		
27	Verificar o estado da cablagem, se existe vestígios da presença de roedores		
28	Verificar se os cabos e fios se encontram nas calhas respetivas e corretamente		

Redigido por:

FT SPCC

Versão:

2.0

Data:

04-06-2012

Verificado:

Cópias a:

ATOM

Página:

7 / 10



	conectados		
29	Funcionamento da iluminação do armário da URT		
30	Funcionamento da resistência anti-condensação do armário da URT		
31	Verificar o estado dos filtros e ventilação do armário		
32	Comunicação com o CC (comutar para local/distância e verificar se chega ao CC)		
33	Verificação do estado de conservação geral da instalação		
34	Verificação do correcto funcionamento do acesso remoto		
35	Inspeção visual do funcionamento dos diferentes equipamentos		
36	Recolha de parâmetros dos Automatismos (Print Screen)		

### 1.7 - PROCEDIMENTO FINAL

Antes de sair do local, certificar-se c/Despacho/CCO, que as comunicações estão OK.

Redigido por:  
FT SPCC

Versão:  
2.0

Data:  
04-06-2012

Verificado:

Cópias a:  
ATOM

Página:  
8 / 10





## 2 - PROCEDIMENTOS GERAIS

### 2.1 - SEGURANÇA

	PROCEDIMENTOS (1)
CUMPRIMENTO DO MANUAL DE PREVENÇÃO DO RISCO ELÉCTRICO	Utilização do equipamento de segurança individual e colectivo adequado ao tipo de trabalho a efectuar
	Delimitação e sinalização da zona de trabalhos
	Cumprimento de Regras/Métodos de Trabalho
	Existência de Certificação de Segurança

(1) - De acordo com o Manual de Prevenção do Risco Eléctrico, no aplicável

### 2.2 - DOCUMENTAÇÃO

#### 2.2.1 - PEDIDOS DE INDISPONIBILIDADE

#### 2.2.2 - MANUAIS

	DOCUMENTAÇÃO (1)
MANUAIS/PROCEDIMENTOS	Manual com procedimentos específicos do Equipamento
	Manual Técnico do Equipamento

(1) - De acordo com o Equipamento Instalado.

### 2.3 - FERRAMENTAS

	DOCUMENTAÇÃO (1)
FERRAMENTAS	Equipamento de ensaio
	Cabos de ensaio
	Mala de ferramentas
	PC com o SW adequado

(1) - De acordo com o Equipamento Instalado.

### 2.4 - PROCEDIMENTOS DE CONTACTO

	PROCEDIMENTOS	EXECUTADO	OBS.
CONTACTO COM CCO/Despachos	Informar qual a URT a testar, e colocar Local a URT e Painéis a ensalar (ou todos..)		
	Obter acordo para ensaios pretendidos		
	No final da intervenção, antes de sair do local, confirmar correcto estado de todas as Entidades de Síntico, Testar pelo menos 1 Comando (Regulador Tensão, se aplicável), e colocar Automatismos em Serviço e URT em comando Remoto.		

Redigido por:  
FT SPOC

Versão:  
2.0

Data:  
04-06-2012

Verificado:

Cópias a:  
ATOM

Página:  
10 / 10



## **Anexo B**

### **GPS: Folha de Informação e Decisão do RCM II**

**Tabela 1** - Folha de informação do RCM II aplicado ao GPS, contém os primeiros 4 passos da metodologia.

RCM II - FOLHA DE INFORMAÇÃO		SISTEMA		Sistema de Proteção, Comando e Controlo		
		SUBSISTEMA		Global Position System (GPS) - hopf 6842		
Função (F)		Falha Funcional (FF)		Efeito de Falha		
1	Sincronização dos relógios internos dos equipamentos da SE	A	A sincronização não é efetuada	I	Porta "fast ethernet" danificada	As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
					ALARME na UC: Não Síncrona	
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional	
					Localização da SE continua a ser possível	
					Reparar ou substituir a porta	
				II	Antena do GPS danificada	As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
						ALARME na UC: Não Síncrona
						Necessário reparar a antena
						Localização da SE comprometida
				III	Falha na fonte de alimentação	As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
						ALARME na UC: Não Síncrona
						Verificar a alimentação e reparar se necessário
					Localização da SE comprometida	

				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
			IV	Porta de entrada da antena danificada
				As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Necessário reparar a entrada da antena
				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				Localização da SE comprometida
			V	Falha da carta 7271
				As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Reparar a carta 7271
				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				Localização da SE continua a ser possível
			VI	Falha interna de <i>software</i> do GPS
				A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo
				Sistema de proteção, comando e controlo continua

				operacional
			VII	Falha interna de <i>hardware</i> do GPS
				A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos
				Necessário verificar o problema de <i>hardware</i> e repará-lo
				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
	B	A sincronização não é feita na devida temporização	I	Porta "fast ethernet" danificada
				As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				Se houver uma porta livre pode mudar-se
				Reparar ou substituir a porta
				Localização da SE continua a ser possível
			II	Falha da carta 7271
				As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Reparar a carta 7271
				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				Localização da SE continua a

					ser possível
			III	Antena do GPS danificada	As avarias são registadas com as horas dos equipamentos no momento - Registos incorretos nas bases de dados
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Reparar antena danificada
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					Localização da SE deixa de ser possível
2	Localização da SE	A	Não é possível obter a localização	I	Antena do GPS danificada
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Necessário reparar a antena
				II	Falha na fonte de alimentação
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					Verificar a alimentação e reparar se necessário
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				III	Porta de entrada da antena danificada
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Necessário reparar a entrada

					da antena
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
			IV	Falha interna de <i>software</i> do GPS	A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
			V	Falha interna de <i>hardware</i> do GPS	A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos
					Necessário verificar o problema de <i>hardware</i> e repará-lo
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
3	Mudança da hora de acordo com a zona	A	A mudança horária não é efetuada	I	Falha na fonte alimentação
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Verificar a alimentação e

				reparar se necessário
				Localização da SE comprometida
		II	Falha interna de <i>software</i> do GPS	A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos
				Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo
				Localização da SE pode estar operacional
				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
		III	Falha interna de <i>hardware</i> do GPS	A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos
				Necessário verificar o problema de <i>hardware</i> e repará-lo
				Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				Localização da SE pode estar operacional
B	A mudança horária é efetuada de forma incorreta	I	Antena do GPS danificada	Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				A função de sincronização dos relógios internos dos

				equipamentos não está operacional
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Localização da SE comprometida
				Necessário reparar a antena
	II	Falha na fonte de alimentação		Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Verificar a alimentação e reparar se necessário
				Localização da SE comprometida
	III	Porta de entrada da antena danificada		Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
				ALARME na UC: Não Síncrona
				Localização da SE comprometida
				Necessário reparar a entrada da antena
	IV	Falha interna de <i>software</i> do GPS		A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos

					Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo
					Localização da SE pode estar operacional
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
				Falha interna de <i>hardware</i> do GPS	A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos pode estar operacional, mas os registos nas bases de dados não estão corretos
					Necessário verificar o problema de <i>hardware</i> e repará-lo
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					Localização da SE pode estar operacional
4	Entrada de coordenadas	A	Não é possível dar entrada da hora e data	I	Falha na fonte de alimentação
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Localização da SE comprometida
					Verificar a alimentação e reparar se necessário
				II	<i>Display</i> danificado
					Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional

					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Localização da SE comprometida
					Reparar o display
	III	<i>Keypad</i> danificado			Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Localização da SE comprometida
					Reparar o <i>keypad</i>
	IV	Falha interna de <i>software</i> do GPS			Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Localização da SE comprometida
					Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo
	V	Falha interna de <i>hardware</i> do GPS			Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional

					<p>A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional</p> <p>ALARME na UC: Não Síncrona</p> <p>Localização da SE comprometida</p> <p>Necessário verificar o problema de <i>hardware</i> e repará-lo</p>
5	Entrada de data e hora	A	Não é possível dar entrada das coordenadas	<p>I Falha na fonte de alimentação</p> <p>II <i>Display</i> danificado</p> <p>III <i>Keypad</i> danificado</p>	<p>Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional</p> <p>A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional</p> <p>ALARME na UC: Não Síncrona</p> <p>Localização da SE comprometida</p> <p>Verificar a alimentação e reparar se necessário</p> <p>Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional</p> <p>A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional</p> <p>ALARME na UC: Não Síncrona</p> <p>Localização da SE comprometida</p> <p>Reparar o display</p> <p>Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional</p>

					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Localização da SE comprometida
					Reparar o <i>keypad</i>
	IV	Falha interna de <i>software</i> do GPS			Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Localização da SE comprometida
					Necessário verificar o problema de <i>software</i> e repará-lo
	V	Falha interna de <i>hardware</i> do GPS			Sistema de proteção, comando e controlo continua operacional
					A função de sincronização dos relógios internos dos equipamentos não está operacional
					ALARME na UC: Não Síncrona
					Localização da SE comprometida
					Necessário verificar o problema de <i>hardware</i> e repará-lo

Tabela 2 - Folha de decisão do RCM II contém os passos 5 a 7 da metodologia.

RCM II - FOLHA DE DECISÃO			SISTEMA				Sistema de Proteção, Comando e Controle								
			SUBSISTEMA				Global Position System (GPS)								
Informação			Avaliação da Consequência				H1	H2	H3	Técnica Reativa			Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
1	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VI	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
	B	VII	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
2	A	III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
3	A	III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
	B	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
4	A	IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
5	A	IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	



## **Anexo C**

### **Posto de Comando Local (PCL): Folha de Informação e Decisão do RCM II**

**Tabela 1** - Folha de informação do RCM II aplicado ao PCL, contém os primeiros 4 passos da metodologia.

RCM II - FOLHA DE INFORMAÇÃO		SISTEMA		Sistema de Proteção, Comando e Controlo		
		SUBSISTEMA		Posto de Comando Local (PCL)		
Função (F)		Falha Funcional (FF)		Modo de Falha (MF)		
				Efeito de Falha		
1	Parametrização e configuração dos IED's	A	Não é possível efetuar a configuração e parametrização de IED's, via PCL	I	Problemas de Hardware, com destaque para o processador	A configuração e parametrização dos IED's pode ser feita pelo centro de condução
						O sistema de proteção, comando e controlo está comprometido
						Reparar o hardware danificado
				II	LCD danificado	Não são visíveis alarmes
						Reparar o LCD
						A configuração e parametrização dos IED's pode ser feita pelo centro de condução
				III	Teclado com Trackball danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						A configuração e parametrização dos IED's pode ser feita pelo centro de condução
						Troca do teclado com trackball por outro ou reparação deste

				O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
			IV	Porta "fast ethernet" danificada
				O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
				A configuração e parametrização dos IED's pode ser feita pelo centro de condução
				Reparar porta "fast ethernet"
			V	Problemas de Software
				O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
				A configuração e parametrização dos IED's pode ser feita pelo centro de condução
				Necessário verificar o problema de software e repará-lo
			VI	Placa gráfica avariada
				Verificação e reparação da placa gráfica
				A configuração e parametrização dos IED's pode ser feita pelo centro de condução
				O sistema de proteção, comando eo controlo não está comprometido

2	Visualização de registos de eventos (registos cronológicos)	A	Registo de Eventos inacessível	I	LCD danificado	Reparar o LCD
						O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os registos podem ser vistos no centro de condução
				II	Base de Dados danificada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Verificação e reparação da Base de dados
				III	Discos Rígidos Danificados	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Reparar ou substituir os discos rígidos
IV	Problemas de Software	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido				
		Necessário verificar o problema de software e repará-lo				
V	Falta de Alimentação do PCL	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido				
		Verificar a alimentação e reparar se necessário				
VI	Aquecimento do PCL - ventoinhas/filtros de ar danificados - PCL desliga	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido				

					Verificar as ventoinhas/ filtro de ar e reparar/substituir se necessário	
				VII	Placa gráfica avariada	Verificação e reparação da placa gráfica
						O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
				VIII	RAID danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Reparar ou substituir o RAID
3	Visualização de esquemas sinópticos globais e parciais das instalações, incluindo o estado atual de todos os órgãos e aparelhagem que constam na BD do sistema	A	Os sinópticos da instalação não são visíveis	I	Problemas de Software	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
						Necessário verificar o problema de software e repará-lo
				II	LCD danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
						Reparar o LCD

			III	Falta de Alimentação do PCL	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
					Verificar e reparar a alimentação do PCL
			IV	Processador danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
					Verificar e reparar/substituir o processador
			V	Placa gráfica avariada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido, os esquemas podem ser vistos no centro de condução
					Verificação e reparação da placa gráfica
	B	Os órgãos que constam na BD do sistema encontram-se indefinidos (roxo)	I	Porta "fast ethernet" danificada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					Reparar porta "fast ethernet"
					A BD do PCL é redundante - cópia da

					BD da UC	
				II	Problemas de Software	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						A BD do PCL é redundante - cópia da BD da UC
						Necessário verificar o problema de software e repará-lo
				III	Processador danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						A BD do PCL é redundante - cópia da BD da UC
						Reparar ou substituir o processador
				IV	Memória RAM danificada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						A BD do PCL é redundante - cópia da BD da UC
						Reparar ou substituir a memória RAM
				V	Placa gráfica avariada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						A BD do PCL é redundante - cópia da BD da UC

					Verificação e reparação da placa gráfica	
4	Visualização de todas as medidas presentes na BD	A	As diferentes medidas presentes na BD não são visíveis	I	Base de Dados danificada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Verificação e reparação da BD
				II	Problemas de Software	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Necessário verificar o problema de software e repará-lo
				III	Processador danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Reparar ou substituir o processador
IV	LCD danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido				
		Reparar ou substituir o LCD				
V	Falta de Alimentação do PCL	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido				
		Verificar e reparar a alimentação do PCL				
VI	Discos Rígidos Danificados	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido				
		Reparar ou substituir os discos rígidos				

				VII	Placa gráfica avariada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Verificação e reparação da placa gráfica
				VIII	RAID danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Reparar ou substituir o RAID
5	Efetuar comandos sobre toda a aparelhagem que o permita e que estejam indicados da BD	A	Os comandos, via PCL, sobre toda a aparelhagem que o permita e que estejam indicados na BD não são executados.	I	Problemas de Software	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Os comandos podem ser dados pelo centro de comando.
						Necessário verificar o problema de software e repará-lo
				II	Base de Dados danificada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						Os comandos podem ser dados pelo centro de comando.
						Verificar e reparar a base de dados
				III	Teclado com Trackball danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido

					Os comandos podem ser dados pelo centro de comando.
					Reparar ou substituir o teclado com trackball
			IV	Processador danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					Os comandos podem ser dados pelo centro de comando.
					Reparar ou substituir o processador
			V	Placa gráfica avariada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					Os comandos podem ser dados pelo centro de comando.
					Verificação e reparação da placa gráfica
6	Visualizar o estado de autodiagnóstico do SPCC	A	Não é possível visualizar o estado de autodiagnóstico do SPCC	I	Porta "fast ethernet" danificada
					O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.
					Reparar porta "fast ethernet"
			II	Problemas de Software	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido

					<p>O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.</p> <p>Necessário verificar o problema de software e repará-lo</p>
				III	<p>Processador danificado</p> <p>O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido</p> <p>O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.</p> <p>Reparar ou substituir o processador</p>
				IV	<p>Memória RAM danificada</p> <p>O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido</p> <p>O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.</p> <p>Reparar ou substituir a memória RAM</p>
				V	<p>Base de Dados danificada (saturada)</p> <p>O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido</p> <p>O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.</p> <p>Verificação e reparação da BD</p>

			VI	LCD danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.
					Reparar o LCD
			VII	Discos Rígidos Danificados	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.
					Reparar ou substituir os discos rígidos
			VIII	Falta de Alimentação do PCL	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.
					Verificar e reparar a alimentação do PCL
			IX	Aquecimento do PCL - ventoinhas/filtros de ar danificados - PCL desliga	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
					O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.

					Verificar as ventoinhas/ filtro de ar e reparar/substituir se necessário	
				X	Placa gráfica avariada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.
						Verificação e reparação da placa gráfica
				XI	RAID danificado	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						O estado de autodiagnóstico pode ser visto pelo centro de comando.
						Reparar ou substituir o RAID
7	Simular manobras sobre os equipamentos da SE, permitindo o ensaio da resposta do sistema	A	As execuções de manobras de equipamentos da SE são efetuados mas não se conseguem obter os tempos de resposta.	I	Porta "fast ethernet" danificada	Como os PN estarão sem comunicações, o funcionamento do SPCC, fica descentralizado
						Reparar porta "fast ethernet"
				II	Problemas de Software	Como os PN estarão sem comunicações, o funcionamento do SPCC, fica descentralizado

					Necessário verificar o problema de software e repará-lo	
		B	Falha de execução de manobras de equipamentos, via PCL, não se conseguindo efetuar a simulação	I	Porta "fast ethernet" danificada	Como os PN estarão sem comunicações, o funcionamento do SPCC, fica descentralizado
						Reparar porta "fast ethernet"
				II	Problemas de Software	Como os PN estarão sem comunicações, o funcionamento do SPCC, fica descentralizado
						Necessário verificar o problema de software e repará-lo
				III	Processador danificado	O sistema de proteção, comando e controlo está comprometido
						Reparar ou substituir o processador
8	Comunicação com a Unidade Central	A	Falha de comunicação com a UC	I	Porta "fast ethernet" danificada	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido
						O centro de comando recebe a informação pela UC
						Reparar porta "fast ethernet"
				II	Falta de Alimentação do PCL	O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido

					<p>O centro de comando recebe a informação pela UC</p> <p>Verificar e reparar a alimentação do PCL</p>
				III	<p>Processador danificado</p> <p>O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido</p> <p>O centro de comando recebe a informação pela UC</p> <p>Reparar ou substituir o processador</p>
				IV	<p>Aquecimento do PCL - ventoinhas/filtros de ar danificados - PCL desliga</p> <p>O sistema de proteção, comando e controlo não está comprometido</p> <p>O centro de comando recebe a informação pela UC</p> <p>Verificar as ventoinhas/ filtro de ar e reparar/substituir se necessário</p>
9	Arquivo e restauro de BD e Sistema	A	Não é possível efetuar gravação em DVD/CD	I	<p>Gravador de DVD, RW danificado</p> <p>Não se consegue gravar a informação do PCL caso seja necessário</p> <p>Não é possível instalar nenhum programa nem sistema operativo.</p>

Tabela 2 - Folha de decisão do RCM II contém os passos 5 a 7 da metodologia.

RCM II FOLHA DE DECISÃO			SISTEMA				Sistema de Proteção, Comando e Controlo								
			SUBSISTEMA				Posto de Comando Local (PCL)								
Informação			Avaliação da Consequência				H1	H2	H3	Técnica Reativa			Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
1	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VI	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
2	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VI	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VII	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VIII	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
3	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
	B	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
4	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VI	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VII	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VIII	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
5	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	

		II	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		III	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		IV	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		V	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
6	A	I	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		II	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		III	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		IV	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		V	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		VI	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		VII	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		VIII	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		IX	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		X	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		XI	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
7	A	I	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		II	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
	B	I	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		II	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		III	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
8	A	I	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		II	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		III	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
		IV	S	N	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-
9	A	I	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	



## **Anexo D**

**Unidade Central (UC): Folha de  
Informação e Decisão do RCM II**

**Tabela 1** - Folha de informação do RCM II aplicado à UC, contém os primeiros 4 passos da metodologia.

RCM II - FOLHA DE INFORMAÇÃO		SISTEMA	Sistema de Proteção, Comando e Controlo		
		SUBSISTEMA	UC 500E		
Função (F)		Falha Funcional (FF)	Modo de Falha (MF)		Efeito de Falha
1	Interligação com o Centro de Condução	A O centro de comando não recebe a informação da SE	I	Disco flash principal danificado/flash desprotegida	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar o disco flash
					Há riscos para os operadores
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
			II	Falta de alimentação (considerando apenas 1 fonte de alimentação)	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar a

				alimentação
				Há riscos para os operadores
				Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
				Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
			III	Porta "fast ethernet" de ligação para o Switch Principal ou router danificada
				Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
				Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
				Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas
				Há riscos para os operadores
				Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
				Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
			IV	Microprocessador danificado
				Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL

				<p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p>
				<p>Verificar e reparar o microprocessador</p>
				<p>Há riscos para os operadores</p>
				<p>Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC</p>
				<p>Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias</p>
			V	<p>Problemas de software</p>
				<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p>
				<p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p>
				<p>Verificar e reparar os problemas de software</p>
				<p>Há riscos para os operadores</p>
				<p>Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC</p>
				<p>Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias</p>

				VI	Porta RS232 danificada	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p> <p>Reparar/Trocar de porta RS232</p> <p>Há riscos para os operadores</p> <p>Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC</p> <p>Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias</p>
2	Supervisão da SE	A	Não é disponibilizada qualquer informação vinda da SE na UC	I	Porta "fast ethernet" de ligação para o Switch Principal ou router danificada	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p> <p>Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas</p> <p>Há riscos para os operadores</p>

					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias	
3	Comando Local da SE	A	No local não é possível exercer o comando da SE	I	Falta de alimentação (considerando apenas uma fonte de alimentação)	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
						Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
						Verificar e reparar a alimentação
						Há riscos para os operadores
						Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
				Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias		
				II	Porta RS232 danificada	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
						Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
						Reparar/Trocar de porta RS232
						Há riscos para os operadores

					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
4	Recolha da informação gerada na SE (armazenamento na base de dados)	A	Não se consegue armazenar informação na base de dados	I	Disco flash principal danificado/flash desprotegida
					Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar o disco flash
					Há riscos para os operadores
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
				II	Base de dados "crashada"
					Base de dados deve ser reparada
					Falha de Comunicações com o Centro de Comando
				III	Microprocessador danificado
					Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL

					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar o microprocessador
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
			IV	Memória RAM danificada	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar a memória RAM
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias

			V	Portas "fast ethernet" danificadas	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p> <p>Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas</p> <p>Há riscos para os operadores</p> <p>Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC</p> <p>Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias</p>
			VI	Problemas de software	<p>A UC continua em funcionamento</p> <p>Necessário verificar o problema de software e repará-lo</p>
	B	Falta de comunicação com a rede local de comunicação	I	Portas "fast ethernet" danificadas	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p>

					Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
			II	Falta de alimentação (considerando apenas uma fonte de alimentação)	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar a alimentação
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
5	Tratamento da informação recebida da SE	A	Não há tratamento de informação	I	Microprocessador danificado
					Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL

					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar o microprocessador
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
			II	Memória RAM danificada	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar a memória RAM
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias

				III	Disco flash principal danificado/flash desprotegida	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p> <p>Verificar e reparar o disco flash</p> <p>Há riscos para os operadores</p> <p>Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias</p> <p>Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC</p>
6	Centralização dos automatismos	A	Os automatismos centralizados não funcionam	I	Microprocessador não executa o algoritmo da função	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p> <p>Verificar e reparar o microprocessador</p> <p>Há riscos para os operadores</p> <p>Estão comprometidas as outras funções de automatismo exercidas</p>

			pela UC
			Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
	II	Portas "fast ethernet" danificadas	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
			Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
			Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas
			Há riscos para os operadores
			Estão comprometidas as outras funções de automatismo exercidas pela UC
			Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
	III	Disco flash secundário danificado/flash desprotegida	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
			Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação

					Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as outras funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
			IV	Falha da aplicação ASE 500 (Software)	Não há visibilidade do modo de falha por parte do operador
7	Configuração, parametrização e manutenção de todos os módulos funcionais do sistema através do PCL.	A	A configuração, parametrização e manutenção dos módulos funcionais do sistema através do PCL fica condicionada	I	Portas "fast ethernet" danificadas
					Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias

				II	Microprocessador danificado	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p> <p>Verificar e reparar o microprocessador</p> <p>Há riscos para os operadores</p> <p>Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC</p> <p>Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias</p>
8	Animação em tempo real dos quadros gráficos da interface humano-máquina disponíveis no PCL	A	Não há animação em tempo real dos quadros gráficos da IHM disponíveis no PCL	I	Portas "fast ethernet" danificadas	<p>Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL</p> <p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p> <p>Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas</p> <p>Há riscos para os operadores</p>

				Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
				Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
	II	Microprocessador danificado	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL	Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
			Verificar e reparar o microprocessador	Há riscos para os operadores
			Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC	Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
	III	Memória RAM danificada	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL	Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação

				Verificar e reparar a memória RAM
				Há riscos para os operadores
				Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
				Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
	IV	Disco flash principal danificado/flash desprotegida	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL	Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
			Verificar e reparar o disco flash	Há riscos para os operadores
			Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias	Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
	V	Falta de alimentação (considerando apenas 1 fonte de alimentação)	Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL	

					<p>Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação</p>
					Verificar e reparar a alimentação
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
9	Comunicação com os IED's	A	Não há troca de informação com os IED's	I	Portas "fast ethernet" danificadas
					Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Se houver outra porta disponível trocar ou então reparar portas
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço

					desnecessárias
				II	Falta de alimentação (considerando apenas 1 fonte de alimentação)
					Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar a alimentação
					Há riscos para os operadores
					Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
					Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias
				III	Microprocessador danificado
					Interligação com o centro de comando pode ser configurada no PCL
					Centro de comando deixa de ter visibilidade sobre a SE até se efetuar a mudança para o PCL ou efetuar reparação
					Verificar e reparar o microprocessador
					Há riscos para os operadores

						Estão comprometidas as funções de automatismo exercidas pela UC
						Possibilidade de saídas de serviço desnecessárias

Tabela 2 - Folha de decisão do RCM II contém os passos 5 a 7 da metodologia.

RCM II FOLHA DE DECISÃO			SISTEMA				Sistema de Proteção, Comando e Controlo								
			SUBSISTEMA				UC 500E								
Informação			Avaliação da Consequência				H1	H2	H3	Técnica Reativa			Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
1	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VI	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
2	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
3	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
4	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	S	S	-	-	-	-	T2	*	
		III	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		VI	S	N	N	N	N	N	N	-	-	-	T4	-	
	B	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
5	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
6	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	N	N	N	N	N	N	N	N	-	T4	-	
7	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
8	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		IV	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		V	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
9	A	I	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		II	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	
		III	S	S	-	-	N	N	N	-	-	-	T4	-	

\* O intervalo de tempo entre manutenções encontra-se determinado na secção 4.3.2.2 do capítulo 4