

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Análise da Disponibilidade do Sistema de
Alimentação Ininterrupta da Fábrica de Utilidades
da Refinaria de Matosinhos**

Rita Leite Lluvet Santos

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Lopes Machado Portugal

Fevereiro de 2010

Resumo

Esta dissertação tem como objectivo a análise da disponibilidade do sistema de alimentação ininterrupta da Fábrica de Utilidades da Refinaria de Matosinhos da Galp Energia S.A.. Com este propósito, a partir do conhecimento do funcionamento do sistema, realizou-se uma análise qualitativa e quantitativa.

A análise qualitativa foi realizada recorrendo à conjugação de duas metodologias: a Análise de Modos de Avaria e seus Efeitos (FMEA) e a Análise por Árvore de Falhas (FTA). A primeira, é uma técnica indutiva que consiste na identificação dos modos de avaria de um sistema e respectivas causas e efeitos. Permite a listagem dos mesmos e ajuda na compreensão do funcionamento do sistema perante a sua ocorrência. A FTA, ao contrário da FMEA é uma técnica dedutiva que parte de um evento indesejado e vai verificar sucessivamente quais os eventos que lhe deram origem até encontrar as causas base. Esta metodologia foi utilizada como complemento da análise FMEA, superando uma das suas grandes limitações, a análise de modos de avaria conjugados.

A fase seguinte consistiu na análise quantitativa. Nesta procedeu-se à estimação das taxas de avaria e de reparação dos componentes. Com estes valores, e utilizando modelos baseados em Redes de Petri Estocásticas, relativos às diferentes configurações do sistema para as diferentes cargas críticas, utilizou-se a ferramenta de modelação SHARPE para modelar a indisponibilidade do sistema.

Foi também realizada uma análise de sensibilidade em relação a vários parâmetros, verificando qual a sua influência na indisponibilidade do sistema, o que permitiu obter o pior e o melhor caso para a indisponibilidade do sistema para as diferentes cargas.

Por fim, foi modelado o sistema existente antes da reestruturação do sistema de alimentação ininterrupta da Refinaria de Matosinhos e analisada a sua disponibilidade. Com os resultados obtidos foi possível verificar qual o efeito desta reestruturação na disponibilidade das cargas.

Com os resultados obtidos, identificaram-se os componentes mais críticos do sistema, analisou-se a indisponibilidade do último e verificou-se a adequação da reestruturação realizada à configuração do sistema de alimentação ininterrupta da Refinaria de Matosinhos.

Abstract

This dissertation aims the availability analysis of the uninterrupt power system of the Utility Plant of Matosinhos Refinery of Galp Energia S.A.. For this purpose, from the knowledge of the system a qualitative and quantitative analysis was held.

Qualitative analysis was performed using the combination of two methods: the Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) and the Fault Tree Analysis (FTA). The first is an inductive technique that consists on identifying the failure modes of a system and their causes and effects. It allows listing them and aid in understanding the operation of the system before its occurrence. The FTA, in contrast to the FMEA is a deductive technique that starts in an undesirable event and, successively verifies which where the events that gave rise to find the underlying causes. This methodology was used to supplement the FMEA, overcoming one of its major limitations, the analysis of combined failure modes.

The next step was the quantitative analysis. In this it was made an estimation of components failure and repair rates. With these values, and using models based on Stochastic Petri Nets, for the different system configurations for different critical loads, we used the SHARPEE modelling tool to model the system unavailability.

Was also held a sensitivity analysis for various parameters, in order to verify their influence in system availability, for the different loads.

Ultimately the system that existed before the restructuring of the uninterruptable power supply of Matosinhos Refinery was modeled and its availability analysed. With the results, it was possible to verify the effect of this restructuration in loads' availability.

With the results, we identified the most critical components of the system, analyzed systems availability and found the adequacy of the restructuring of the uninterruptable power supply of Matosinhos Refinery.

Agradecimentos

Aproveito este espaço para agradecer aos meus pais, namorado e amigos por todo o apoio que me deram.

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo Portugal, pela sua dedicação e disponibilidade. Quero também mostrar a minha gratidão a Galp Energia pela oportunidade de realização deste estágio curricular.

Gostaria igualmente de agradecer a toda a equipa da área de Fiabilidade da Refinaria de Matosinhos, em especial aos Engº Carlos Fagundes e Engº Fernão Lopes e ao Sr. Henrique Rocha, por todo o apoio e disponibilidade demonstrados no decorrer deste trabalho.

Índice

RESUMO	III
ABSTRACT.....	V
AGRADECIMENTOS	VII
ÍNDICE	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XV
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 - Organização do Documento	3
CAPÍTULO 2.....	5
SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA	5
2.1 - Funcionamento geral.....	6
2.2 - Configuração do Sistema de Alimentação Ininterrupta da Fábrica de Utilidades	7
2.3 - Subsistemas.....	9
2.3.1 - UPS.....	9
2.3.2 - STS	12
CAPÍTULO 3.....	13
ANÁLISE QUALITATIVA.....	13
3.1 - FMEA- Failure Mode and Effect Analysis	13
3.1.1 - Metodologia.....	14
3.1.2 - FMEA do Sistema	18
3.2 - FTA - Fault Tree Analysis.....	20
3.2.1 - Metodologia.....	21
3.2.2 - FTA do Sistema	24
3.3 - Conclusões	29

CAPÍTULO 4	31
ANÁLISE QUANTITATIVA	31
4.1 - Fundamentos Teóricos.....	32
4.1.1 - Conceitos	32
4.1.2 - Avaria e Reparação	33
4.1.3 - Disponibilidade	35
4.2 - Estimação da taxa de avaria e reparação	35
4.2.1 - Recolha de dados	35
4.2.2 - Taxas de avaria	36
4.2.3 - Intervalos de confiança.....	38
4.2.4 - Verificação de Taxa de Avaria Constante	39
4.2.5 - Taxa de Reparação	41
4.3 - Modelação do sistema	42
4.3.1 - Redes de Petri Estocásticas.....	42
4.3.2 - Ferramenta de Modelação	43
4.4 - Análise de Disponibilidade	44
4.4.1 - Modelos	44
4.4.2 - Indisponibilidade	51
4.4.3 - Análise comparativa de indisponibilidade com o sistema antigo	61
4.5 - Conclusões	63
CAPÍTULO 5	65
CONCLUSÕES.....	65
ANEXO A	67
ESQUEMA DE INTERLIGAÇÕES DO POSTO DE RECEPÇÃO DE 63kV E SUBESTAÇÃO A.....	67
ANEXO B.....	69
ESQUEMA ELÉCTRICO DA UPS AROS	69
ANEXO C	71
ESQUEMA DE CONFIGURAÇÃO DO GRUPO UPS SIEL	71
ANEXO D	73
TABELAS FMEA	73
ANEXO E.....	93
ÁRVORE DE FALHAS UPS SIEL	93
REFERÊNCIAS.....	95

Lista de figuras

Figura 2.1 - Localização da Fábrica de Utilidades na Refinaria de Matosinhos [3]	6
Figura 2.2 - Princípio de funcionamento do sistema de distribuição de energia da refinaria....	6
Figura 2.3 - Esquema de configuração do sistema de alimentação ininterrupta da RM	8
Figura 2.4 - Esquema simplificado de uma UPS [4]	10
Figura 2.5 - STS utilizados na refinaria	12
Figura 3.1 - Diagrama de fluxo FMEA.....	17
Figura 3.2 - Hierarquia do sistema Grupo UPS Aros e Siel	18
Figura 3.3 - Diagrama de fluxo FTA [10].....	22
Figura 3.4- Árvore de falhas das cargas C1	25
Figura 3.5 - Árvore de falhas das cargas C2	25
Figura 3.6 - Árvore de falhas das cargas C3	26
Figura 3.7 - Árvore de falhas das UPS Aros	27
Figura 3.8 - Árvore de falhas da bateria	27
Figura 3.9 - Árvore de falhas do rectificador	28
Figura 3.10 - Árvore de falhas do inversor	28
Figura 3.11 - Árvore de falhas da lógica de controlo	29
Figura 4.1- Comportamento de um sistema reparável	32
Figura 4.2 - Comportamento de um sistema reparável e tempos médios associados	32
Figura 4.3 - Curva típica da taxa de avaria (Curva da Banheira)	33
Figura 4.4- Elementos estruturais de uma Rede de Petri.....	43
Figura 4.5- Modelo da UPS	44
Figura 4.6- Modelo do STS.....	46

Figura 4.7- Modelo da fonte de alimentação	46
Figura 4.8 - Diagrama funcional das cargas C1 com fontes de alimentação	48
Figura 4.9- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C1 com FA	48
Figura 4.10- Diagrama funcional das cargas C2 com fontes de alimentação	49
Figura 4.11- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C2 com FA	50
Figura 4.12- Diagrama funcional das cargas C3 com fontes de alimentação	50
Figura 4.13- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C3 com FA	51
Figura 4.14- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do MTTR da rede	53
Figura 4.15- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do número médio de avarias por ano da rede	53
Figura 4.16- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do MTTR das fontes de alimentação das cargas	54
Figura 4.17- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do número médio de avarias por ano das fontes de alimentação das cargas	54
Figura 4.18- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do tempo de colocação em bypass do STS	54
Figura 4.19- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do MTTR da rede	55
Figura 4.20- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do número médio de avarias por ano da rede	56
Figura 4.21- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do MTTR das fontes de alimentação das cargas	56
Figura 4.22- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do número médio de avarias por ano das fontes de alimentação das cargas	56
Figura 4.23- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do MTTR da rede	57
Figura 4.24- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do número médio de avarias por ano da rede	58
Figura 4.25- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do MTTR das fontes de alimentação das cargas	58
Figura 4.26- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do número médio de avarias por ano das fontes de alimentação das cargas	58
Figura 4.27 - Esquema de configuração do sistema de alimentação ininterrupta da RM anterior a 2007	61
Figura 4.28- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C2 para o sistema de alimentação ininterrupta antigo	62

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Exemplo de formulário FMEA [9]	14
Tabela 3.2- Extracto FMEA Grupo Aros	19
Tabela 3.3 - Alguns Símbolos utilizados na construção de uma FTA [12]	23
Tabela 3.4 - Algumas portas lógicas utilizadas na construção de uma FTA [12]	24
Tabela 4.1 - Dados recolhidos	36
Tabela 4.2 - Taxas de avaria e MTTF dos componentes.....	37
Tabela 4.3- Intervalos de confiança de λ e MTTF	38
Tabela 4.4 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 1 Siel	40
Tabela 4.5 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 2 Siel	40
Tabela 4.6 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 1 Aros	40
Tabela 4.7 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 2 Aros	40
Tabela 4.8- Tempos associados à ocorrência de avarias do STS.....	40
Tabela 4.9 - Taxas de reparação e MTTR dos componentes	41
Tabela 4.10 - Taxas de avaria e reparação dos componentes	51
Tabela 4.11 - Variação dos parâmetros	52
Tabela 4.12- Resultados obtidos para a indisponibilidade das cargas	59
Tabela 4.13- Resultados obtidos para a indisponibilidade das cargas antes e depois da reestruturação	63

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

A	Disponibilidade instantânea (<i>Availability</i>)
A _∞	Disponibilidade em regime permanente
BT	Baixa Tensão
D	Detecção
DCS	<i>Distributed Control System</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
FAR	Fábrica de Aromáticos
FCO	Fábrica de Combustíveis
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
FMECA	<i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
FOB	Fábrica de Óleos Base
FUT	Fábrica de Utilidades
MDT	<i>Mean Down Time</i>
MOV	Movimentação de Produtos (Fábrica)
MT	Média Tensão
MTTF	<i>Mean Time to Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
O	Ocorrência
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
R	Fiabilidade (<i>Reliability</i>)
RdP	Rede de Petri
RM	Refinaria de Matosinhos
S	Severidade
STS	Static Transfer Switch
U	Indisponibilidade (<i>Unavailability</i>)
UPS	<i>Uninterruptable Power Supply</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>

SPOF *Single Point of Failure*

Lista de símbolos

t_i	Instante de ocorrência da avaria i
α	Nível de significância
r	Número de avarias
n	Tamanho da amostra
μ	Taxa de reparação
λ	Taxa de avaria
T^*	Tempo de teste acumulado
T_i	Tempo acumulado para a avaria i
T_r	Tempo acumulado para a avaria r

Capítulo 1

Introdução

A Petrogal é uma empresa do grupo Galp Energia cuja principal actividade é a refinação de petróleo bruto e seus derivados. A Refinaria de Matosinhos, devido à sua configuração processual, permite a obtenção de diversos produtos como combustíveis e lubrificantes, entre outros, o que é conseguido através do funcionamento integrado das cinco fábricas que a constituem: Fábrica de Utilidades, Fábrica de Aromáticos, Fábrica de Óleos Base, Fábrica de Combustíveis e Movimentação de Produtos.

A refinaria possui diversos equipamentos, tais como sistemas de controlo distribuído, autómatos programáveis (PLC), etc., cuja paragem pode conduzir a efeitos indesejáveis no seu funcionamento, sendo por isso crítico para o sistema a falha da respectiva alimentação eléctrica. Estas cargas são denominadas cargas críticas.

Para tentar garantir o funcionamento ininterrupto das cargas críticas, foi instalado um sistema constituído por diversos grupos de fontes de alimentação ininterrupta (UPS- *Uninterruptable power supply*)¹, distribuídos pelas diferentes fábricas.

Neste contexto, torna-se de extrema importância assegurar a disponibilidade dos sistemas de alimentação ininterrupta, de forma a garantir a continuidade de serviço, bem como a capacidade de estar pronto a ser utilizado em qualquer instante.

O objectivo desta dissertação concentra-se na avaliação da disponibilidade do sistema de alimentação ininterrupta da Fábrica de Utilidades (FUT)² da Refinaria de Matosinhos.

Tendo em conta o objectivo supracitado e a complexidade desta refinaria, numa primeira fase analisou-se o sistema de alimentação global e, posteriormente, o sistema de alimentação

¹ A fonte de alimentação ininterrupta passará a ser referida através da sigla em inglês, UPS.

² A Fábrica de Utilidades passará a ser referida através da sigla, FUT.

ininterrupta da FUT. Esta análise permitiu conhecer a sua constituição e funcionamento, para assim proceder à análise de disponibilidade.

Esta análise dividiu-se em duas partes, uma qualitativa, na qual foram definidos os modos de avaria e respectivas causas e efeitos do sistema, subsistemas e componentes, e outra quantitativa, que permitiu o cálculo da indisponibilidade do sistema tendo em conta as diferentes configurações do mesmo. Foi também possível analisar o efeito que a reestruturação do sistema produziu na disponibilidade das cargas críticas.

Para a análise qualitativa do sistema recorreu-se a duas metodologias, a Análise de Modos e Efeitos de Avaria (*Failure Mode and Effects Analysis* - FMEA)³ e a Análise por Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis*- FTA)⁴. Estas metodologias combinadas possibilitaram a avaliação pormenorizada de possíveis avarias dos componentes do sistema de uma forma sistemática e standardizada, e a determinação das consequências que delas advém. A primeira, pelo facto de ser uma técnica indutiva que consiste na identificação de modos de avaria e respectivas causas e efeitos de um componente, permitiu a listagem dos mesmos e ajudou a compreender o funcionamento do sistema perante determinadas circunstâncias.

Como complemento desta análise foi realizada uma análise por Árvores de Falhas. Esta é caracterizada por um diagrama lógico construído através de um processo dedutivo que consiste na determinação das causas de um dado evento indesejado [2]. Esta metodologia permitiu superar uma das grandes limitações da FMEA, a análise de modos de avaria conjugados.

A análise quantitativa consistiu, numa primeira fase, na estimação das taxas de avaria e de reparação dos componentes. Foi também realizado um conjunto de testes estatísticos com o objectivo de validar o pressuposto de utilizar taxas de avaria constantes.

Em seguida desenvolveram-se modelos do sistema, relativos às suas configurações para os três tipos de carga utilizando Redes de Petri Estocásticas. Assim, através da ferramenta de modelação SHARPE, realizou-se uma análise de sensibilidade que permitiu verificar a influência de algumas taxas desconhecidas na indisponibilidade das cargas. Com esta análise foi possível obter o pior e o melhor caso para a indisponibilidade anual das diferentes cargas.

Por fim, desenvolveram-se novos modelos do sistema tendo em conta a configuração existente na Refinaria de Matosinhos antes da reestruturação do sistema de alimentação ininterrupta, em 2007, e analisou-se a indisponibilidade das cargas nesta situação. Compararam-se então os resultados obtidos nesta análise e na anterior, verificando qual o efeito desta reestruturação na disponibilidade do sistema.

³ A análise de Modos e Efeitos de Avaria passará a ser referida através a sigla, FMEA.

⁴ A Análise por Árvores de Falhas passará a ser referida através a sigla, FTA.

1.1. Organização do Documento

Este relatório encontra-se dividido em cinco capítulos, dos quais este é o primeiro.

No segundo capítulo é feita uma descrição do funcionamento geral do sistema de alimentação eléctrica da refinaria, da configuração do sistema de alimentação ininterrupta da FUT e dos elementos constituintes do sistema em análise.

O terceiro capítulo trata as análises qualitativas do sistema, isto é, as análises FMEA e FTA. Nele é feita a descrição das referidas análises, metodologia seguida, resultados obtidos e conclusões inerentes.

O capítulo 4 trata a análise quantitativa. Nele são apresentados a metodologia e critérios seguidos para a estimação das taxas de avaria e reparação, bem como os testes estatísticos realizados com o objectivo de validar o pressuposto de utilizar taxas de avaria constantes. São apresentados e discutidos os modelos do sistema de alimentação ininterrupta para as diferentes configurações, analisada a sensibilidade do mesmo em relação a alguns parâmetros desconhecidos e obtida a sua indisponibilidade no pior e no melhor caso. Por fim é feita a comparação, entre estes resultados e os obtidos para o sistema existente antes da reestruturação efectuada em 2007.

No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões finais referentes a esta dissertação.

Capítulo 2

Sistema de Alimentação Ininterrupta

A Refinaria de Matosinhos (RM)⁵ possui uma rede de distribuição de energia eléctrica para alimentação das diversas fábricas. A esta encontram-se ligadas várias cargas das quais algumas são consideradas críticas, isto é, indispensáveis ao correcto funcionamento do complexo e que exigem uma elevada disponibilidade. Torna-se então necessário a existência de um sistema de alimentação ininterrupta que garanta, em caso de falha do sistema de alimentação, a continuidade do fornecimento de energia eléctrica a estas cargas.

Tendo isto em conta a RM possui um sistema de alimentação ininterrupta, constituído, na FUT, por dois grupos de UPS. Uma vez que as cargas críticas se encontram divididas em três grupos, consoante as suas características e importância, os dois grupos de UPS encontram-se a estas ligados através de diferentes configurações.

A divisão das cargas críticas e a configuração deste sistema serão explicados nas secções seguintes. Far-se-á também uma breve descrição do funcionamento geral do sistema de alimentação da RM e dos diferentes subsistemas e componentes que constituem o sistema em análise.

⁵ A Refinaria de Matosinhos passará a ser referida através da sigla RM.



Figura 2.1 - Localização da Fábrica de Utilidades na Refinaria de Matosinhos [3]

2.1 - Funcionamento geral

O fornecimento de energia da refinaria é feito através da rede de distribuição de média tensão de 63kV da EDP Distribuição e por produção própria da Central Termoelétrica localizada na Fábrica de Utilidades, a qual possui três turbo-alternadores para produção de energia à tensão de 6kV, com uma potência global de 49 MW [3]. A energia eléctrica é recebida na subestação A, localizada na mesma fábrica, mais especificamente no quadro A1, o qual faz a sua distribuição pelas restantes subestações de média e/ou baixa tensão da refinaria. A figura 2.2 apresenta um diagrama simplificado do princípio de funcionamento do sistema de distribuição de energia descrito.

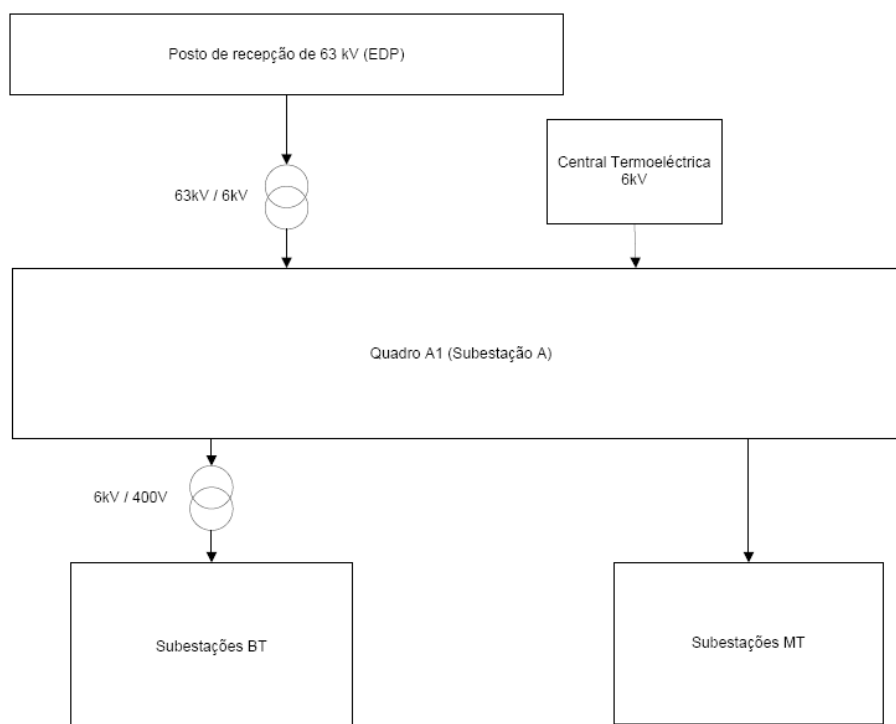


Figura 2.2 - Princípio de funcionamento do sistema de distribuição de energia da refinaria

É importante referir que foram adoptadas algumas medidas no desenvolvimento deste sistema que aumentaram a sua disponibilidade. Uma das medidas foi a colocação de um barramento duplo no quadro A1, o que, para além de possibilitar o agrupamento de fontes de energia da melhor forma, utilizando os dois barramentos interligados, permite também a sua separação em caso de falha ou manutenção, isto é, caso um dos barramentos tenha que ser desligado, o outro continuará em funcionamento suportando todo o sistema.

Outra medida implementada diz respeito aos quadros eléctricos MT (6kV) e BT (400V), com a excepção do quadro A1, os quais se encontram bipartidos, funcionando normalmente como dois quadros em separado, com alimentação independente. Cada um dos “meios quadro” é alimentado por um transformador com potência suficiente para suportar o consumo de ambos em simultâneo. Assim, em caso de falha de tensão, mais especificamente se a tensão for menor do que 75% da tensão nominal, em qualquer uma das chegadas a esse barramento o disjuntor desta abre e o disjuntor de acoplamento fecha, fazendo com que as duas partes do quadro passem a funcionar como uma só, impedindo a paragem do sistema.

As referidas medidas são visíveis no esquema representado no anexo A referente ao posto de recepção de 63kV e à subestação A.

A esta rede de distribuição encontra-se ligado um sistema de alimentação ininterrupta, constituído por um conjunto de UPS, para garantir a alimentação de algumas cargas em caso de falha da rede de alimentação eléctrica. A configuração deste sistema é semelhante em quase todas as fábricas. Em seguida será feita a sua descrição aplicada à Fábrica de Utilidades.

2.2- Configuração do Sistema de Alimentação Ininterrupta da Fábrica de Utilidades

No sistema de alimentação ininterrupta implementado na Fábrica de Utilidades (FUT) existem dois grupos de UPS, cada um constituído por duas UPS em redundância activa total, garantindo assim a disponibilidade do sistema. Estes grupos de UPS encontram-se instalados na subestação A e estão ligados a um quadro de distribuição para alimentação das cargas críticas.

Um dos grupos de UPS, formado por duas UPS de 160kVA da marca Siel, é utilizado em todas as fábricas da refinaria com a excepção da Fábrica de Aromáticos, formando assim um sistema redundante com as restantes UPS instaladas nas respectivas fábricas. O outro grupo, formado por duas UPS de 15kVA da marca Aros, apenas trata cargas pertencentes à FUT.

Em funcionamento normal as cargas encontram-se igualmente divididas pelas duas UPS de cada grupo. No entanto caso uma avarie, a outra possui capacidade para suportar todas as cargas associadas ao grupo.

Consoante o tipo de carga, a alimentação é feita por um e/ou ambos os grupos UPS. Na figura 2.3 é apresentado o esquema da configuração do sistema de alimentação ininterrupta da Refinaria de Matosinhos.

As cargas do tipo C1, cargas prioritárias, das quais são exemplo as consolas dos operadores (consolas SCADA), possuem apenas uma fonte de alimentação e são alimentadas pelos dois grupos UPS através de um interruptor estático (STS), que faz a comutação entre ambos, em caso de falha. Assim, as cargas são preferencialmente alimentadas por um grupo e, caso este avarie, o outro toma o seu lugar.

As cargas tipo C2, isto é cargas como autómatos programáveis (PLC) e sistemas de controlo distribuídos (DCS), possuem duas fontes de alimentação e são alimentadas por ambos os grupos UPS em simultâneo, permitindo que, em caso de avaria de um dos grupos ou de uma das fontes (desde que o grupo UPS a esta associada não seja o único operacional), a carga continue a ser alimentada.

Por fim, as cargas de campo, tipo C3, como os analisadores processuais, possuem apenas uma fonte de alimentação e são alimentadas apenas pelo grupo de UPS Siel, estando a sua alimentação dependente apenas do funcionamento deste.

No que diz respeito à redundância entre grupos UPS verifica-se que, para as cargas C1, os grupos se encontram em redundância passiva (*hot standby*), isto é, apenas um grupo se encontra a alimentar a carga. No entanto, em caso de falha deste, o interruptor estático comutará automaticamente para o outro grupo UPS o qual passará a alimentar as cargas. No caso da alimentação das cargas C2, as UPS dos dois grupos encontram-se em redundância activa total, o que faz com que as cargas sejam alimentadas desde que uma das UPS de um dos grupos se encontre em funcionamento.

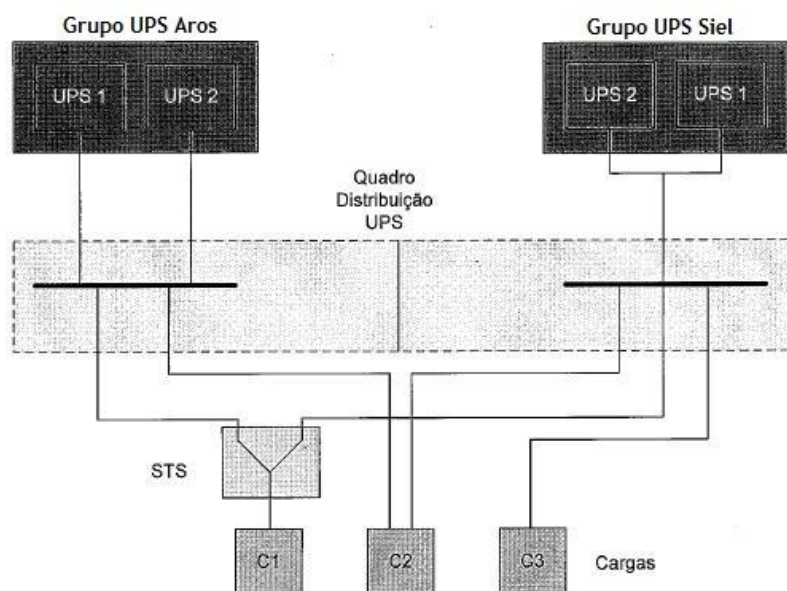


Figura 2.3 - Esquema de configuração do sistema de alimentação ininterrupta da RM

2.3- Subsistemas

Para a análise da disponibilidade do sistema foi apenas considerado o subsistema constituído pelos grupos UPS e componentes a jusante destes. Tal opção deve-se ao facto de o sistema a montante, isto é todo o sistema desde o fornecimento e produção de energia, até à saída dos quadros de baixa tensão que alimentam as referidas UPS, ser considerado bastante fiável tendo uma taxa de avaria muito reduzida, pelo que não será alvo desta análise.

Realizada a delimitação do sistema em estudo, procedeu-se à sua divisão em subsistemas de forma a realizar uma análise mais pormenorizada de cada um dos seus componentes. Nesta secção far-se-á a descrição de cada subsistema considerado, bem como do seu princípio de funcionamento e componentes, o que permitirá a posterior análise de modos de avaria e respectivas causas e efeitos.

2.3.1 - UPS

Uma UPS é um equipamento que tem como função assegurar a alimentação de uma determinada carga, durante um certo período de tempo, em caso de ausência ou variação anormal de tensão da rede de alimentação eléctrica, garantindo assim a sua continuidade de serviço (disponibilidade).

Este equipamento recebe energia eléctrica proveniente de dois quadros. Um alimenta a linha considerada principal da UPS, constituída por um rectificador, um sistema de armazenamento de energia a baterias e um inversor, ao passo que o outro alimentará uma linha de bypass.

Uma característica destas UPS é o facto de possuírem um sistema de protecção interno para detecção de defeitos. Assim, sempre que ocorre um defeito a jusante, como curto-circuitos passageiros ou picos de corrente devido ao arranque de uma carga, a UPS comuta automaticamente, através de um interruptor estático (interno), para bypass e as cargas passam a receber alimentação directamente da rede. Caso o defeito não se mantenha a situação normal de exploração é reposta.

No sistema em análise as UPS encontram-se em configuração *on-line*, o que faz com que mesmo em funcionamento normal do sistema, isto é, sem ocorrer qualquer falha de tensão da rede, as cargas sejam sempre alimentadas através do inversor da UPS.

Cada grupo de UPS é constituído por duas UPS iguais, em redundância activa total, o que implica que para o grupo estar em funcionamento pelo menos uma das UPS que o constituem tem que estar operacional, proporcionando ao sistema um acréscimo de disponibilidade.

Na figura 2.4 encontra-se representado o esquema simplificado de uma UPS.

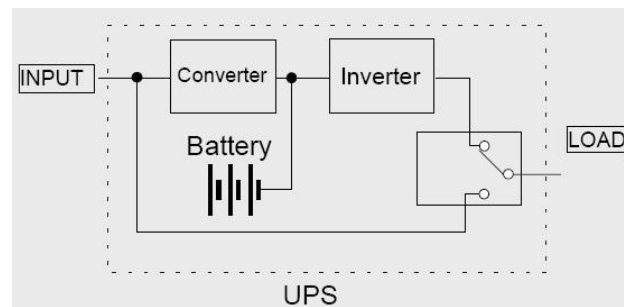


Figura 2.4 - Esquema simplificado de uma UPS [4]

Nas secções seguintes os vários componentes deste equipamento serão sumariamente descritos para melhor compreensão do seu funcionamento e posterior análise de modos de avaria.

1. Rectificador

O rectificador é o elemento que faz a conversão da tensão alternada, proveniente da rede, em tensão contínua controlada, que irá alimentar o inversor e carregar as baterias.

A avaria deste componente faz com que o fornecimento de tensão às cargas seja realizado através das baterias. No entanto, devido à impossibilidade de as carregar, a sua autonomia irá diminuindo gradualmente até ser nula, momento a partir do qual as baterias deixam de fornecer tensão à carga.

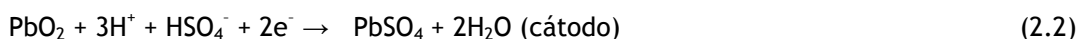
2. Baterias

Em caso de falha de tensão da rede, a bateria é o elemento da UPS que garante a alimentação das cargas.

Na UPS em estudo, as baterias são de chumbo ácido, com 6 células, cada uma com cerca de 2.1V ligadas em série, para que a sua tensão de saída seja cerca de 12V (individualmente).

Estas baterias são constituídas por um conjunto de placas, de diferentes composições, sendo o material activo da placa positiva o peróxido de chumbo, PbO_2 , e o da placa negativa chumbo metálico, Pb . As referidas placas encontram-se mergulhadas numa solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água (H_2O), denominada electrólito.

As reacções que ocorrem durante a descarga da bateria são:



Como qualquer outro elemento da UPS as baterias podem também avariar por diversos motivos, como problemas relacionados com a sua má operação, falta de electrólito, entre outros.

O tempo de autonomia deste componente varia consoante o seu nível de carregamento e capacidade.

3. Inversor

Converte a tensão contínua proveniente da bateria e/ou do rectificador em tensão alternada estabilizada, para alimentação das cargas.

Em caso de avaria deste componente a UPS deixará de prestar o serviço para o qual foi concebida, fornecer tensão às cargas em caso de falha de tensão da rede, uma vez que a carga passará a estar ligada à sua linha de bypass.

4. Interruptor estático

O interruptor estático permite a comutação, manual ou automática, entre a saída do inversor e a linha de bypass, ou vice-versa.

A comutação automática ocorre em caso de defeito no inversor, garantindo a continuidade de alimentação da carga. No entanto, quando a UPS se encontra a fornecer energia através da linha de bypass a alimentação ininterrupta das cargas não é garantida, estando apenas dependente do funcionamento da rede de alimentação eléctrica. Nesta situação a UPS não estará a exercer a função para a qual foi projectada.

Quando é necessário proceder à manutenção da UPS ou tirar a mesma de serviço, por algum motivo, procede-se à comutação manual deste interruptor.

5. Placa de controlo

A placa de controlo faz a monitorização e o controlo dos diferentes componentes da UPS. As funções executadas são as seguintes [5]:

- Controlo da operação do rectificador, através do controlo da corrente de carregamento da bateria e limitação da corrente de saída garantindo que a tensão de saída é estabilizada;
- Controlo do inversor, para garantir o fornecimento de tensão alternada estabilizada com limitação da corrente à saída;
- Monitorização da tensão de saída do inversor e de entrada da fonte de reserva (bypass) e da carga;
- Controlo dos comandos inseridos no painel de controlo;
- Apresentação de alarmes e indicadores relativos ao funcionamento da UPS.

6. Contactores

Os contactores são aparelhos de corte destinados à abertura/ fecho de circuitos em carga. Nas UPS em estudo, estes dispositivos encontram-se situados à entrada do rectificador e à saída do inversor.

7. Disjuntores

Os disjuntores são aparelhos de corte, comando e protecção dotados de poder de corte contra sobreintensidades. Estes dispositivos encontram-se situados à entrada da linha de bypass e do rectificador e à saída do inversor.

Os esquemas relativos às UPS Aros e Siel estudadas encontram-se nos anexos B e C respectivamente.

2.3.2 - STS

O STS (*Static Transfer Switch*) é um interruptor que permite o aumento de redundância do sistema e, consequentemente, da disponibilidade das cargas (dotadas apenas de uma fonte de alimentação). Tal é conseguido, pois este procede à sensorização de falhas no grupo de UPS ao qual se encontra ligado e garante a transferência automática da carga para o outro grupo (se este estiver operacional) [6]. Assim que a falha for corrigida o interruptor retorna à sua posição inicial.

No sistema em estudo, o STS faz a ligação entre os grupos UPS existentes na FUT e as cargas C1. Este dispositivo é programado de forma a utilizar preferencialmente o grupo de 160kVA Siel e, em caso de falha deste, comutar para o grupo de 15kVA Aros.

Em caso de avaria deste dispositivo é possível colocá-lo, manualmente, em bypass retirando-o assim do circuito, isto é ligar directamente um dos grupos UPS à carga.

Na figura 2.5 podem-se ver três dos STS utilizados na refinaria.



Figura 2.5 - STS utilizados na refinaria

Capítulo 3

Análise Qualitativa

O objectivo desta dissertação, como referido anteriormente, concentra-se em avaliar a disponibilidade do sistema de alimentação ininterrupta da FUT. Tal análise pressupõe um conhecimento pormenorizado do funcionamento do sistema e os seus constituintes, bem como das consequências e modo de funcionamento que advêm da ocorrência de avarias. Após alguma pesquisa optou-se pela utilização de dois métodos de análise, a Análise dos Modos e Efeitos de Avaria (FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*), e a Análise por Árvore de Falhas (FTA - *Fault Tree Analysis*).

A FMEA permitiu listar diversos modos de avaria para cada componente do sistema, enumerar possíveis causas para a sua ocorrência e descrever os efeitos no componente/subsistema/sistema por eles provocados. Como complemento a esta análise foi utilizada uma outra, a Análise por Árvores de Falhas (FTA), a qual permitiu superar uma das grandes limitações da FMEA, a análise de modos de avaria combinados. Ambas as análises não só permitiram um conhecimento mais profundo do sistema como também a realização de uma listagem completa de modos de avaria que os componentes do sistema podem experimentar, podendo vir a ser uma mais-valia na análise de futuras avarias do mesmo.

Neste capítulo será feita uma descrição das referidas análises, da metodologia utilizada e serão apresentados os resultados obtidos bem como algumas conclusões inerentes.

3.1 - FMEA- *Failure Mode and Effect Analysis*

A FMEA é um método de análise qualitativa que permite avaliar potenciais modos de avaria de um processo e/ou produto e determinar as suas causas e efeitos, possibilitando assim propostas de acções de melhoria de modo a aumentar o desempenho do processo/produto em análise.

A FMEA foi desenvolvida pelo Exército Americano como uma técnica de análise formal, no final dos anos 40, com a introdução do standard MIL- P- 1629, actualmente designado por MIL-

Assim o primeiro passo para a realização desta análise consiste na hierarquização do sistema, isto é, à sua divisão em subsistemas e/ou componentes, o que facilitará a análise, uma vez que esta divisão deverá realçar as suas funções essenciais.

A fase seguinte diz respeito à análise funcional do sistema. Nesta são listadas as funções, requisitos e especificações dos diferentes subsistemas/componentes.

Após a listagem dos requisitos funcionais, é feito um levantamento dos potenciais modos de avaria e são identificados os efeitos da sua ocorrência, bem como as possíveis causas que podem ter dado origem ao seu aparecimento.

Uma extensão desta análise é denominada FMECA, Análise de Modos de Avaria, Efeitos e Criticidade (FMECA- *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), na qual é feita uma análise mais profunda da criticidade dos modos de avaria com a introdução da análise de risco. Nesta são avaliadas a severidade, ocorrência e detecção dos potenciais modos de avaria, os quais permitem uma posterior análise do seu risco individual.

O índice de severidade avalia o impacto dos efeitos do modo de avaria em análise. Este indicador pode ser conseguido através da contabilização de ocorrências passadas ou, em alguns casos, estimado com base no conhecimento e experiência dos membros da equipa.

“O melhor método para a determinação do índice de ocorrência é a utilização de dados reais do processo” [8], os quais podem ser obtidos com recurso a históricos do sistema. No entanto, uma vez que os dados nem sempre estão disponíveis, é necessário proceder a uma estimação da probabilidade de ocorrência de um dado modo de avaria. Por este motivo recorre-se, por vezes, à utilização de uma escala na qual o índice mais baixo corresponde a um nível de ocorrência improvável, ao passo que o nível mais alto corresponderá a uma ocorrência muito frequente.

O índice de detecção dá-nos uma indicação da dificuldade de detecção de um dado modo de avaria. Numa fase inicial são identificados os métodos de detecção já existentes e, posteriormente, atribuídos os índices de detecção a cada modo de avaria.

Após a atribuição dos índices de severidade, ocorrência e detecção é feita a determinação do Número de Prioridade do Risco, RPN (*Risk Priority Number*), através da seguinte equação:

$$RPN = S \times O \times D \quad (3.1)$$

onde S, O e D são respectivamente os índices de severidade, ocorrência e detecção atribuídos aos diferentes modos de avaria.

Através da determinação deste número de risco é possível definir a prioridade dos modos de avaria permitindo a sua hierarquização, por ordem de necessidade de tomada de acções de correcção. Assim, considera-se que para valores de RPN muito elevados, o risco é intolerável sendo necessária a aplicação de medidas de correcção e mitigação.

No entanto, por vezes, embora os valores de RPN sejam baixos, o índice de severidade de um determinado modo de avaria é muito elevado pelo que devem ser tomadas medidas correctivas. Por este motivo são, normalmente, utilizados procedimentos adicionais para

garantir que os modos de avaria com elevados índices de severidade (9 ou 10) têm maior prioridade. Uma possível técnica de análise é a utilização de uma Matriz de Risco, a qual nos indica qual o tipo de risco associado a cada modo de avaria (tolerável, intolerável, etc.) em função do seu nível de severidade e da sua frequência de ocorrência.

A fase seguinte da FMEA corresponde à proposta de acções de prevenção e detecção dos modos de avaria listados, com vista a uma melhoria do sistema em termos de segurança e fiabilidade, eliminando e/ou diminuindo a sua ocorrência.

Após a aplicação das novas acções de prevenção, os índices de severidade, ocorrência e detecção, são novamente determinados para verificar se estas acções produziram alguma melhoria na fiabilidade do sistema. Caso tal não se verifique novas acções deverão ser propostas e analisadas.

Nesta dissertação a supracitada análise de criticidade não foi realizada uma vez que os dados disponíveis eram bastante reduzidos. Também não foi realizada a proposta de acções de prevenção e detecção, uma vez que o intuito da realização desta análise era a listagem dos modos, causas e efeitos de avaria dos componentes do sistema e conhecimento mais aprofundado do mesmo.

As fases de desenvolvimento da FMEA que serão realizadas neste trabalho encontram-se esquematizadas na figura 3.1.

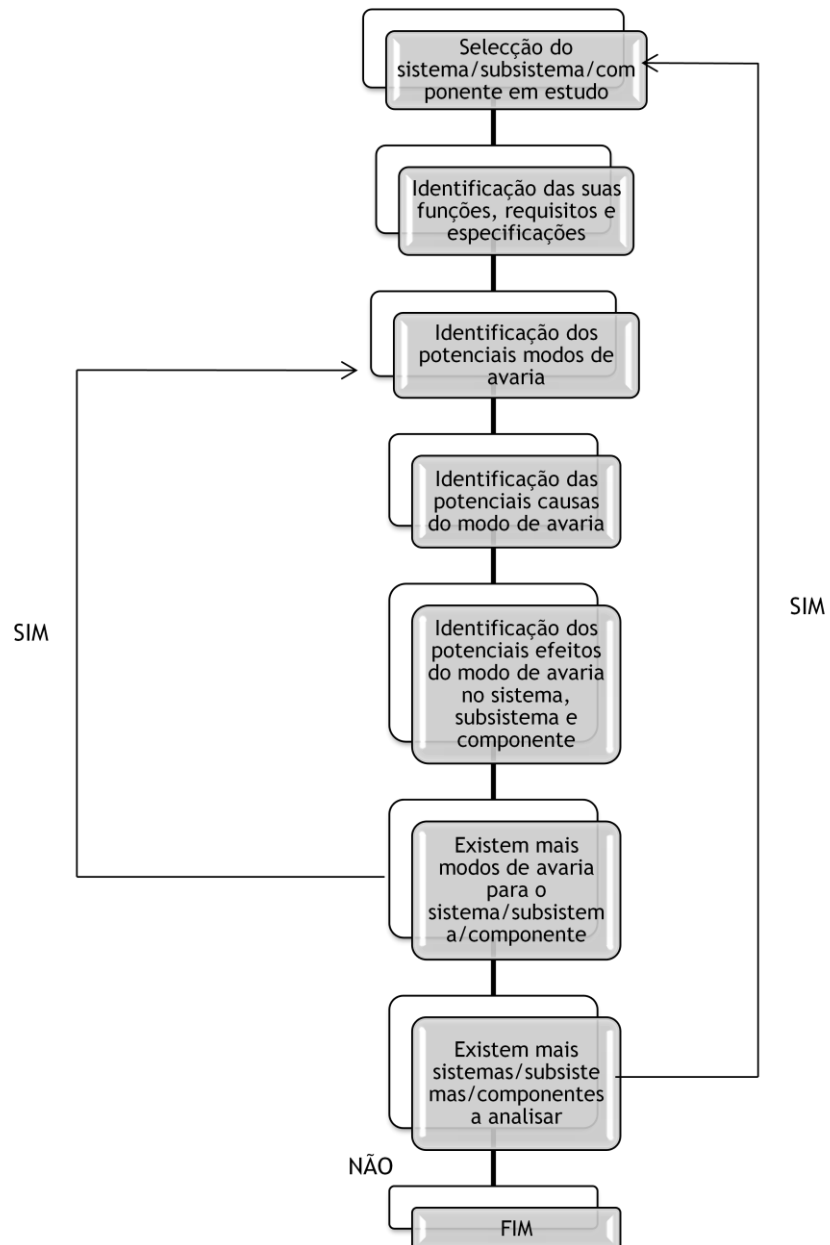


Figura 3.1 - Diagrama de fluxo FMEA

3.1.2- FMEA do Sistema

Uma vez que a realização da FMEA pressupõe o conhecimento profundo do sistema, de forma a garantir uma análise rigorosa e exaustiva, recorreu-se aos manuais das UPS e STS, esquemas eléctricos e à experiência de elementos da refinaria, para a sua realização.

Assim, após um estudo do funcionamento do sistema, foi feita a sua divisão em três subsistemas, os dois grupos UPS e o STS. Cada grupo UPS por sua vez divide-se em duas UPS, as quais se dividem em diversos componentes. Estes elementos foram analisados e os seus modos de avaria listados. Na figura 3.2 é apresentada a hierarquia do sistema Grupo UPS a qual é igual tanto para o grupo UPS Siel como para o Aros.

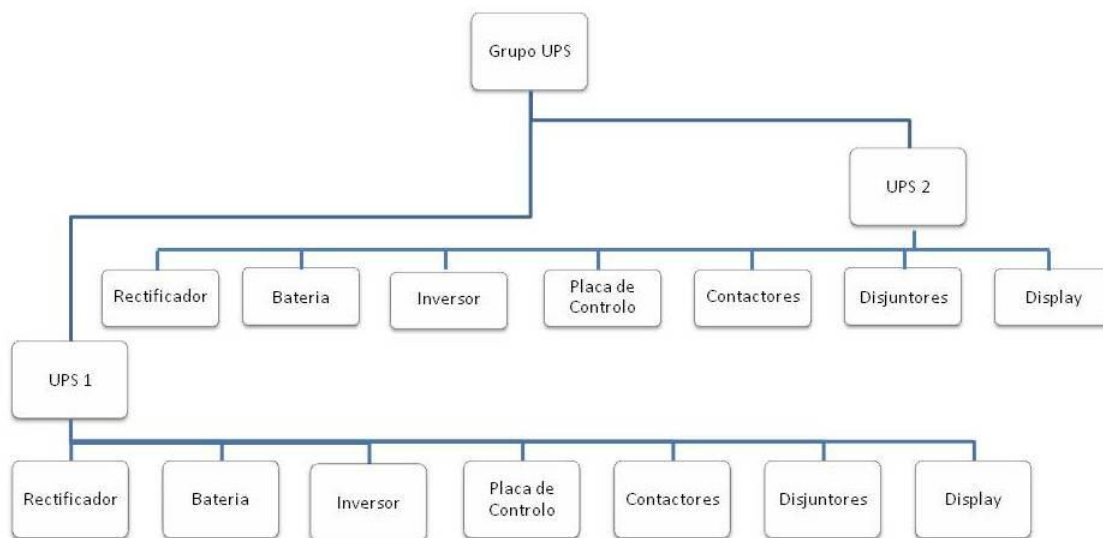


Figura 3.2 - Hierarquia do sistema Grupo UPS Aros e Siel

Foram realizadas diversas tabelas FMEA para contemplar todos os elementos constituintes do sistema em estudo: Grupo UPS Aros, Grupo UPS Siel, UPS Aros, UPS Siel, Componentes UPS Aros, Componentes UPS Siel e STS, as quais podem ser consultadas no anexo D.

Na tabela 3.2 é apresentado um extracto da FMEA referente ao grupo Aros, na qual apenas constam alguns modos de avaria da UPS 1, no entanto, como se pode verificar consultando as tabelas completas em anexo, os modos de avaria para todas as UPS do sistema são iguais uma vez que o seu funcionamento é idêntico.

Tabela 3.2- Extracto FMEA Grupo Aros

Componente	Função	Modo (s) de Avaria	Causa (s)	Efeito (s) no subsistema	Efeito (s) no sistema
UPS 1 Aros	Fornecer tensão às cargas em caso de falha da rede de alimentação eléctrica	Tempo de autonomia reduzido	- Sobrecarga - Bateria em descarga - Bateria em fim de vida	- Não existe qualquer efeito imediato no grupo - Caso a UPS 1 fique sem autonomia, a UPS 2 passa a fornecer tensão - Caso a UPS 2 também falhe, o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha da rede, a UPS 1 pode não conseguir garantir a alimentação ininterrupta da carga, caso no qual a UPS 2 passa a alimentar todas as cargas - Caso a UPS 2 também falhe, a alimentação ininterrupta das cargas não é garantida
		Não fornece tensão	- Bateria descarregada - Bateria danificada - Curto-circuito a jusante (a UPS sai do circuito para se proteger) - Sem tensão de entrada - Falha no rectificador - Falha no inversor - Falha na placa de controlo	- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 2 - Em caso de falha da UPS 2, o grupo deixa de fornecer tensão	- Não existe qualquer efeito imediato nas cargas, uma vez que estas passam a ser alimentadas pela UPS 2 - Caso a UPS 2 também falhe, as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo

Através da FMEA referente aos componentes da UPS, analisando os efeitos dos modos de avaria no sistema pode concluir-se que o inversor e a bateria da UPS são os elementos mais críticos da UPS, uma vez que o funcionamento incorrecto dos mesmos pode levar ao dano da carga ou à falha de alimentação da mesma (em caso de falha da rede de alimentação eléctrica).

A análise FMEA permitiu um conhecimento mais profundo do sistema e a listagem de diversos modos de avaria, os quais foram posteriormente combinados na FTA.

Como foi anteriormente referido não se efectuou a análise de criticidade nem foram propostas acções de prevenção e detecção. Tal deveu-se ao facto de os dados disponibilizados serem em número reduzido e pouco descritivos, mais especificamente no caso dos componentes das UPS não se encontram descritos quais os modos de avaria que levaram à falha do componente.

3.2 - FTA - *Fault Tree Analysis*

A FTA é uma metodologia que permite analisar o modo como as falhas do sistema podem ser alcançadas através da combinação lógica de eventos primários. Como é referido em [10]:

“ A árvore de falhas é por si só um modelo gráfico de várias combinações sequenciais e paralelas de falhas que irão resultar na ocorrência de um evento indesejado predefinido.”

Esta ferramenta foi desenvolvida em 1962, nos laboratórios *Bell*, para a Força Aérea Americana, para avaliação do sistema de controlo de lançamento do míssil *Minuteman*. Foi posteriormente adoptada e extensamente aplicada pela *Boeing Company*.

Em 1965, a *Boeing* juntamente com a Universidade de Washington patrocinaram a primeira *Safety System Conference*, onde as primeiras apresentações de publicações técnicas sobre FTA foram apresentadas, elevando o interesse desta ferramenta ao nível mundial.

Após o fracasso de *Apollo 1* em 1967, a NASA contratou a *Boeing* para implementar um novo programa de segurança para o projecto *Apollo*, a qual utilizou árvores de falha no desenvolvimento do novo sistema. Este projecto enalteceu esta ferramenta e tornou-a nacionalmente conhecida.

Após o acidente na *Three Mile Island Nuclear Generating Station*, em 1979, tal como a indústria aeroespacial, também a indústria nuclear adoptou esta ferramenta, podendo até considerar-se, por diversos motivos, que foi esta a que mais contribui no desenvolvimento da FTA.

O uso das Árvores de Falhas foi abrangendo assim diversas áreas e indústrias como a de processos químicos, a automóvel, transportes ferroviários, robótica, entre outros [11], [12].

3.2.1- Metodologia

A FTA é uma ferramenta que toma como evento inicial um efeito indesejado no sistema/subsistema/componente e, a partir deste, tenta chegar aos eventos individuais que o causaram.

Para o desenvolvimento de uma FTA, segundo [11], são seguidas as seguintes etapas:

a) Identificação do objectivo

A identificação do objectivo da FTA é crucial para o seu sucesso. Este deve ser expresso em termos de falha do sistema em estudo, conduzindo-nos assim à etapa seguinte, a definição do evento de topo.

b) Definição do evento de topo

Após a definição do objectivo da FTA, é definido o evento de topo. Este define o modo de avaria do sistema que será analisado.

c) Definição do âmbito

Nesta etapa são definidas as falhas e componentes que devem ser incluídas e/ou desprezadas na análise. São definidas as condições fronteira, as quais incluem o estado inicial dos componentes e as entradas assumidas para o sistema.

d) Definição da resolução

A resolução da FTA refere-se ao seu nível de detalhe, isto é, o detalhe que será dado ao desenvolvimento das causas das falhas do evento de topo.

e) Definição das regras base

As regras base definem os procedimentos e nomenclatura utilizados na FTA, podendo também especificar a forma como as falhas serão modeladas, o que se torna relevante uma vez que proporciona consistência no seu desenvolvimento.

f) Construção

Esta etapa diz respeito à construção da FTA. A partir do evento de topo é construído um diagrama lógico que esquematiza a sequência e a relação dos eventos que a originam.

g) Avaliação

A avaliação qualitativa e quantitativa da FTA são a etapa seguinte.

A avaliação qualitativa permite a representação da ocorrência de uma avaria (evento de topo) através de um diagrama lógico que ilustra as combinações de eventos básicos que lhe dão origem.

Por sua vez, a avaliação quantitativa fornece a probabilidade de ocorrência do evento de topo, partindo da probabilidade dos eventos básicos. Os eventos com probabilidade muito reduzida são geralmente retirados, reduzindo assim a complexidade da árvore e facilitando a sua análise.

h) Interpretação e apresentação de resultados

Após a avaliação da FTA, procede-se à interpretação dos dados obtidos qualitativa e quantitativamente e são propostas eventuais medidas de melhoria do sistema em estudo.

Na figura 3.3 é representado um diagrama de fluxo correspondente aos passos acima descritos para a realização da FTA.

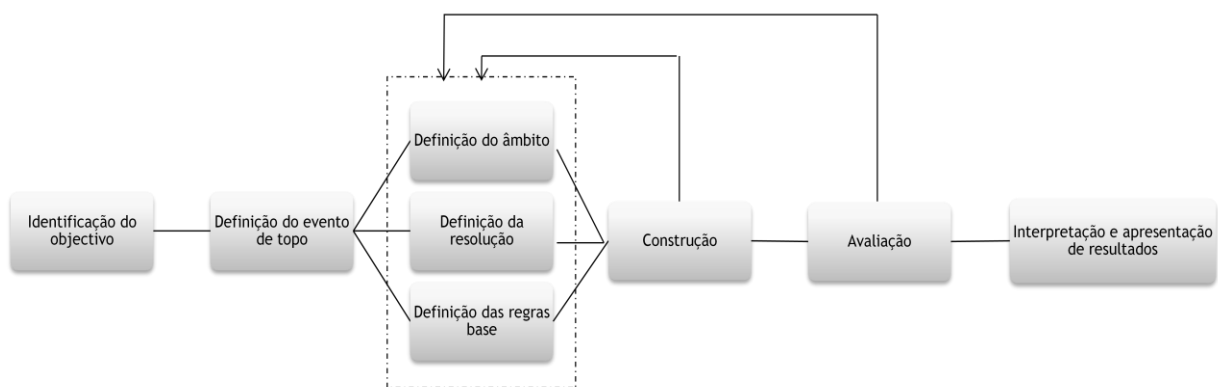


Figura 3.3 - Diagrama de fluxo FTA [10]

Para a construção de uma FTA são utilizados diversos símbolos, representativos de eventos básicos e de portas lógicas, os quais se encontram descritos, respectivamente, na tabela 3.3 e 3.4.

O último símbolo apresentado na primeira tabela, transferência, é utilizado diversas vezes e tem como principal objectivo indicar que a análise do evento ao qual se encontra associado continuará noutra parte da árvore, proporcionando uma alternativa à apresentação da FTA e tornando-a mais aprazível graficamente.

Tabela 3.3 - Alguns Símbolos utilizados na construção de uma FTA [12]

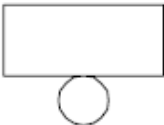
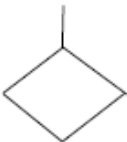
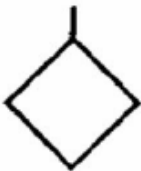
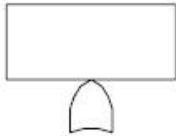
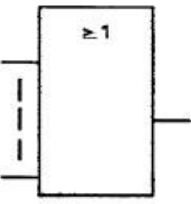
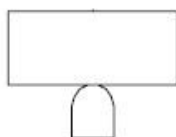
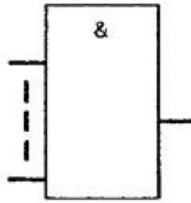
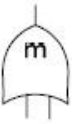
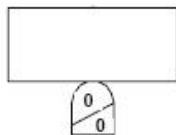
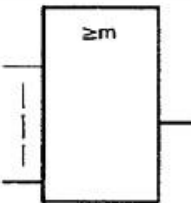
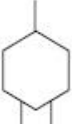
	Símbolo		Nome	Descrição
			Evento Básico	Evento de menor nível para a qual a informação da probabilidade de ocorrência ou da fiabilidade estão disponíveis
			Evento não desenvolvido	Evento primário que representa uma parte do sistema que ainda não foi desenvolvido
		 Transfer OUT  Transfer IN 	Transferência	Porta que indica que a parte do sistema à qual está ligada é desenvolvida noutra parte ou página do diagrama

Tabela 3.4 - Algumas portas lógicas utilizadas na construção de uma FTA [12]

	Símbolo		Nome	Descrição
			Porta OR (ou)	Evento de saída ocorre se algum dos eventos de entrada ocorrer
			Porta AND (e)	Evento de saída ocorre apenas se ambos os eventos de entrada ocorrerem
			Porta Votadora	A saída ocorre se m ou mais entradas de um total de n ocorrerem
			Porta Inibidora	O evento de saída só ocorre quando ambos os eventos de entrada ocorrerem, um deles condicional

3.2.2- FTA do Sistema

A FTA foi realizada para complementar a FMEA realizada, uma vez que com esta é possível avaliar avarias que tenham origem em eventos combinados.

Foram assim realizadas três árvores de falhas distintas relativas aos diferentes tipos de carga, uma vez que estas experimentam diferentes configurações. Estas árvores foram, por sua vez, repartidas em árvores mais pequenas de forma a facilitar a sua consulta e pelo facto de, nas diferentes cargas, existirem elementos comuns, não sendo necessária a replicação destas.

Na figura 3.4 é apresentada parte da FTA das cargas C1. Nela pode ser visto que o evento de topo “Ausência de tensão nas cargas C1” pode ser provocado por avaria de ambos os grupos UPS em simultâneo com a rede de alimentação eléctrica, situação expressa através da utilização de uma porta AND, ou devido à interrupção do fluxo de tensão entre as UPS e a carga, por actuação dos dispositivos de protecção ou falha do STS.

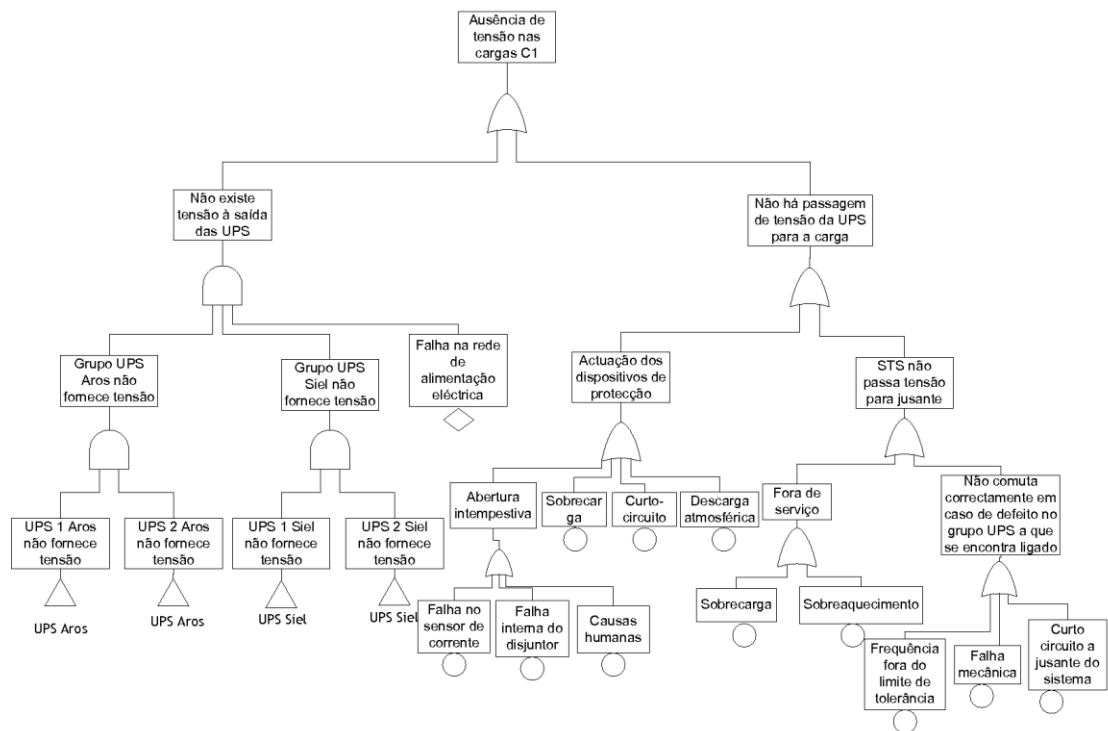


Figura 3.4- Árvore de falhas das cargas C1

A FTA referente às cargas C2 encontra-se na figura 3.5. Para este tipo de cargas a ausência de tensão pode ser provocada pela avaria de ambos os grupos UPS em simultâneo com a rede de alimentação eléctrica ou pela actuação dos dispositivos de protecção.

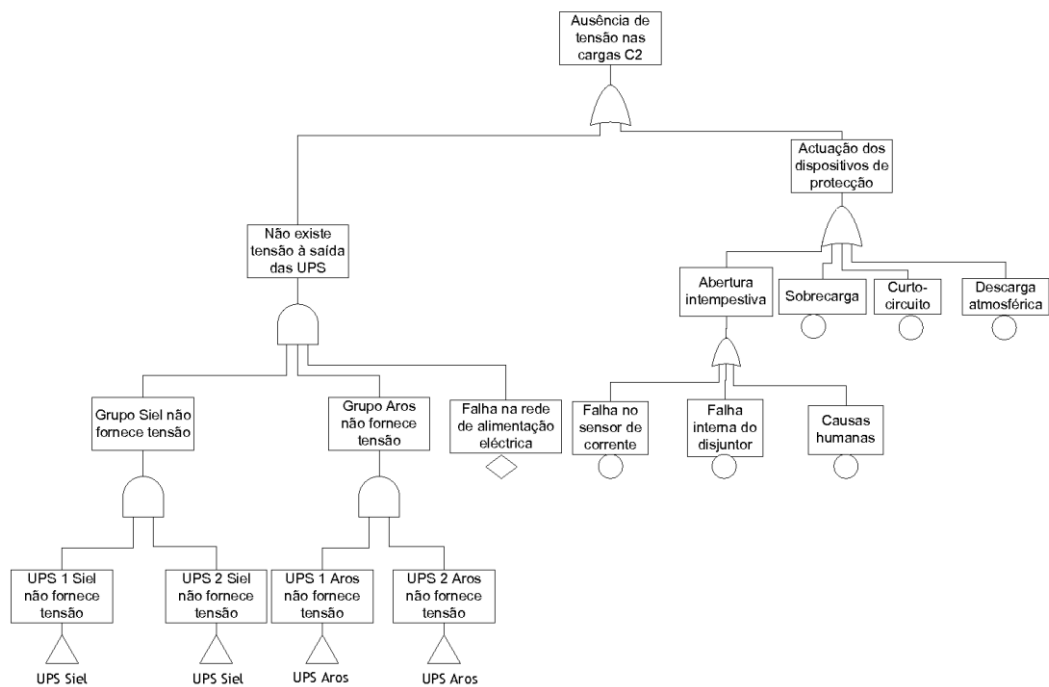


Figura 3.5 - Árvore de falhas das cargas C2

Por fim, como se pode observar na figura 3.6, a “ausência de tensão nas cargas C3”, é provocada pela avaria do grupo UPS Siel em simultâneo com a rede de alimentação eléctrica ou por actuação dos dispositivos de protecção.

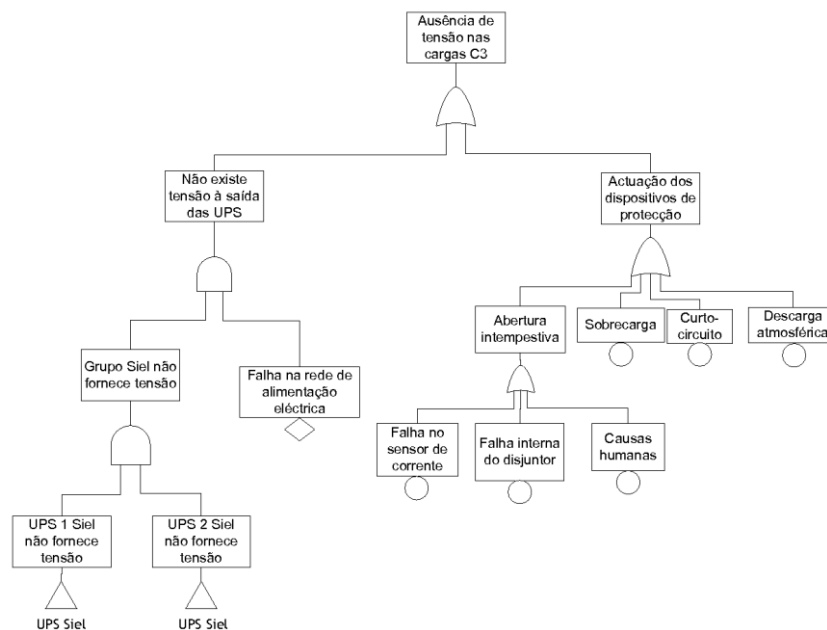


Figura 3.6 - Árvore de falhas das cargas C3

A falha no fornecimento de tensão de cada grupo UPS ocorre quando ambas as UPS do grupo avariaram. O evento “UPS Aros não fornece tensão”, esquematizado na figura 3.7, pode ocorrer devido a:

1. Tempo de autonomia da UPS reduzido, evento que pode derivar da sobrecarga desta, levando à descarga mais rápida da bateria, ou por falha da bateria. A última tem como árvore de falhas a apresentada na figura 3.8.
2. UPS não fornecer tensão. Este evento pode ter origem na falha da bateria, conjugada com a ausência de tensão de entrada da UPS ou falha no rectificador. Outros factores dos quais pode derivar este evento são a falha do inversor, falha da lógica de controlo ou curto-circuito a jusante da UPS, este último faz com que a UPS se coloque, automaticamente, fora de serviço de forma a não ser danificada.
3. Tensão de saída da UPS encontra-se fora dos limites admissíveis, o que pode ocorrer devido à existência de um excesso de tensão de entrada na UPS sem actuação correcta dos dispositivos de corte e protecção da mesma, falha no rectificador, falha na bateria, falha no inversor ou falha na lógica de controlo.

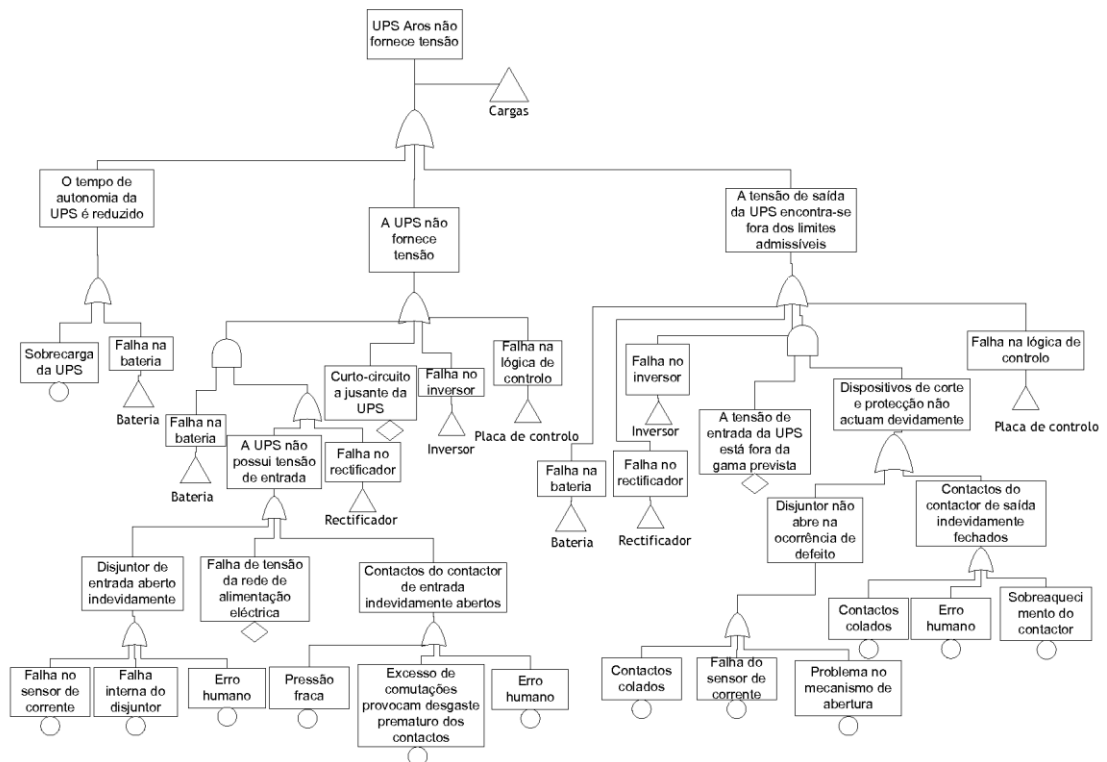


Figura 3.7 - Árvore de falhas das UPS Aros

A FTA referente às UPS Siel é idêntica à supracitada, podendo, ser consultada no anexo E. A falha na bateria, rectificador, inversor e lógica de controlo, encontram-se respectivamente esquematizadas nas figuras 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11.

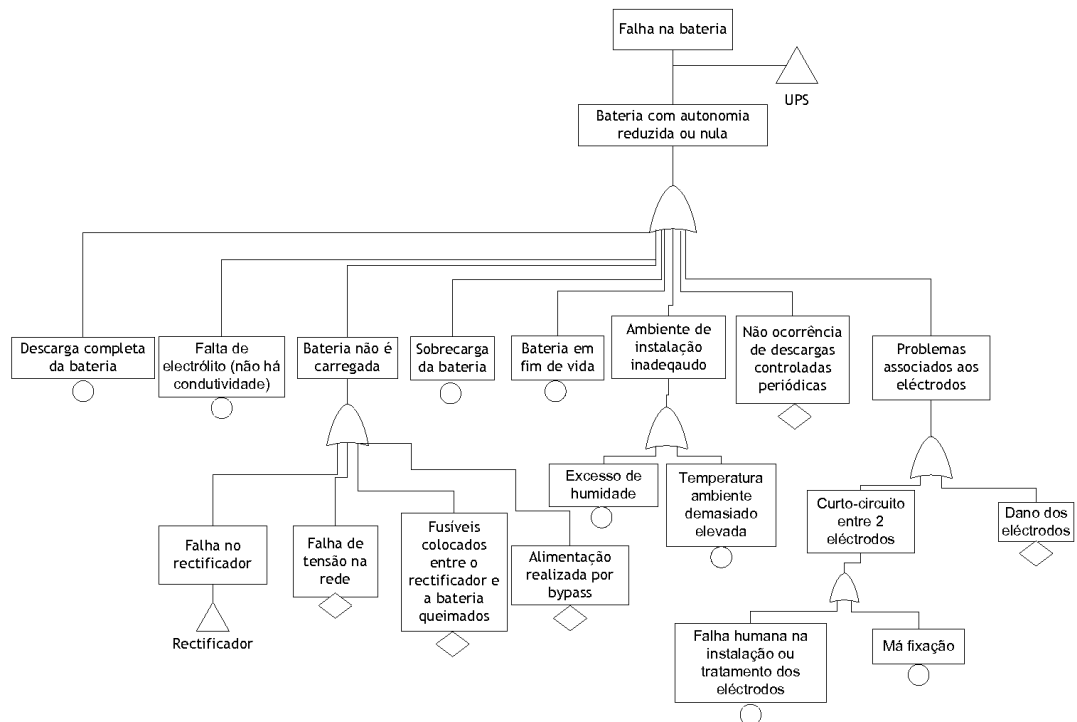


Figura 3.8 - Árvore de falhas da bateria

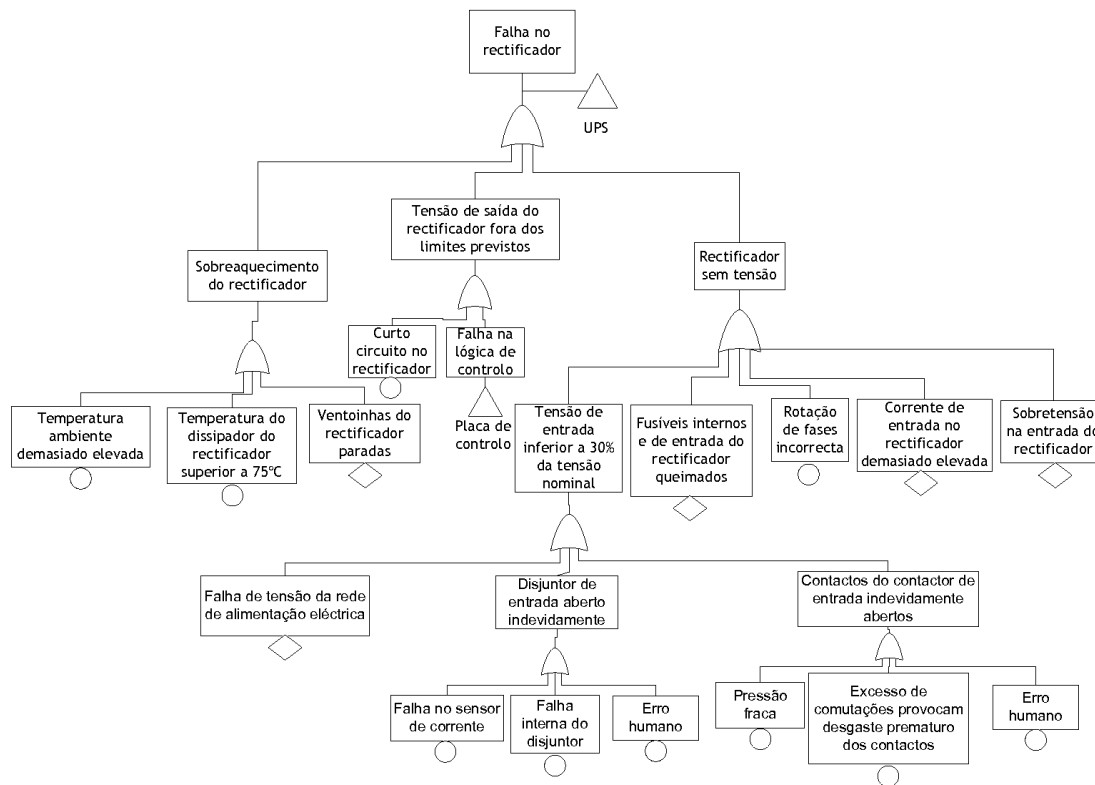


Figura 3.9 - Árvore de falhas do rectificador

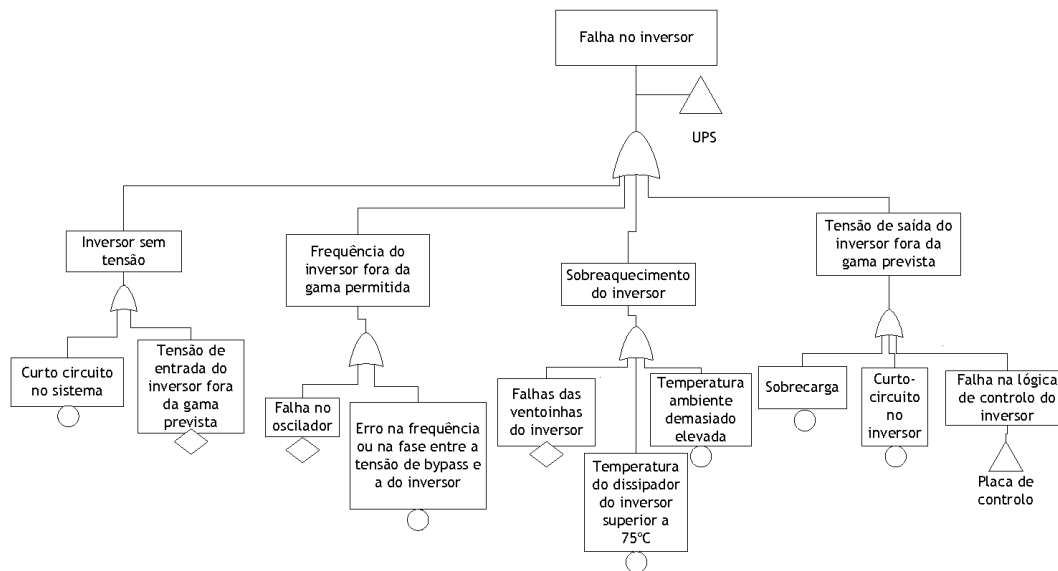


Figura 3.10 - Árvore de falhas do inversor

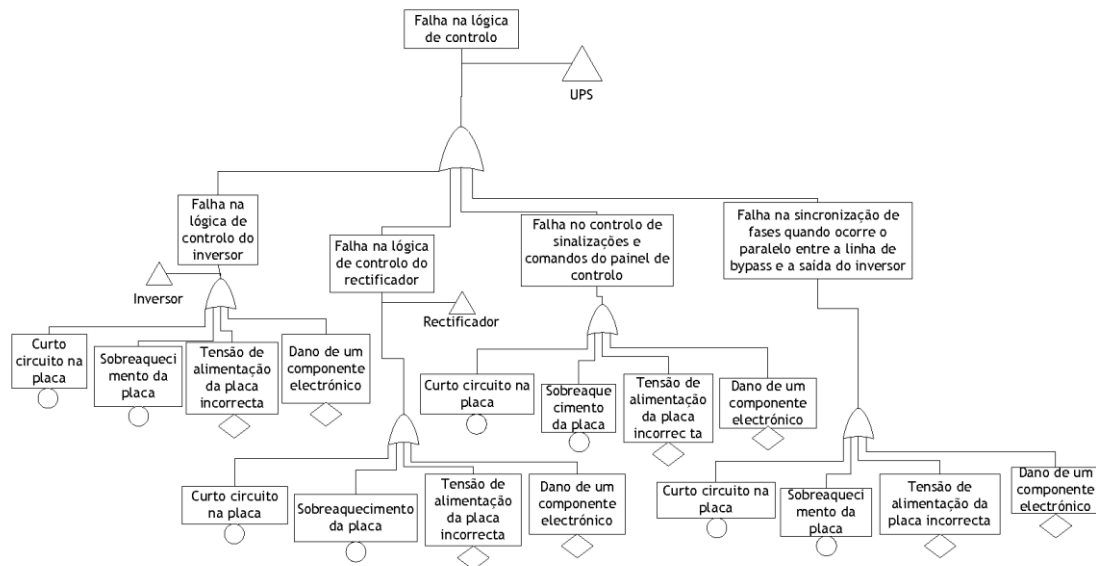


Figura 3.11 - Árvore de falhas da lógica de controlo

O número elevado de eventos básicos que originam a falha da bateria levam a concluir que este é um dos componentes mais críticos das UPS do sistema. A lógica de controlo deve também ser considerada crítica uma vez que o seu funcionamento incorrecto leva ao mau funcionamento dos restantes componentes da UPS e, por conseguinte do sistema.

3.3- Conclusões

Neste capítulo foi realizada uma análise qualitativa do sistema em estudo. Através da realização da FMEA, adquiriu-se um conhecimento mais profundo do sistema. Esta metodologia permitiu uma análise exaustiva dos modos de avaria dos diferentes componentes, das suas causas e dos efeitos que provocam no componente e no sistema em que este se encontra inserido.

Com a FTA, pelo facto de permitir a análise de avarias com origem na combinação de eventos, obteve-se a combinação de falhas que leva a avaria do sistema, isto é, a combinação de falhas que dão origem ao evento de topo das árvores de falhas realizadas - a ausência de tensão nas diferentes cargas. Assim, foi possível concluir que, para todas as cargas, os dispositivos de protecção são *single points of failure* (SPOF)⁶, isto é elementos cuja falha individual provoca a avaria do sistema. O sistema de alimentação das cargas C1 possui, para além do referido, outro SPOF, o interruptor estático (STS). Concluiu-se também que a falha de todas as UPS só provoca a avaria do sistema se ocorrer juntamente com a falha da rede de alimentação eléctrica.

⁶ O *single point of failure* passará a ser referido através da sigla SPOF.

Desta análise poder-se-iam ter obtido expressões relativas à combinação de eventos básicos que resultam na avaria do sistema, para o cálculo da probabilidade de ocorrência do mesmo. No entanto esta tarefa foi deixada para o capítulo seguinte.

É importante frisar o facto de a análise qualitativa não ter sido realizada numa perspectiva de proposta de melhoria do sistema. Realizou-se com o intuito de fornecer uma listagem dos modos de avaria dos componentes do sistema, podendo vir a ser uma mais-valia em futuras análises. Permitiu também obter um conhecimento alargado do funcionamento do sistema perante a ocorrência, individual e/ou conjunta, de diferentes falhas.

Capítulo 4

Análise Quantitativa

A análise quantitativa realizada na presente dissertação tem por objectivo a avaliação da disponibilidade do sistema de alimentação ininterrupta da FUT.

Para a realização desta análise torna-se necessário o desenvolvimento de modelos de avaliação de disponibilidade referentes às diferentes configurações existentes deste sistema. Tais modelos pressupõem não só um conhecimento profundo do sistema, adquirido através da análise qualitativa, mas também a existência de dados relativos às taxas de avaria e de reparação dos componentes.

Uma vez que as taxas de avaria e de reparação dos componentes não eram conhecidas optou-se por estimar as mesmas de forma a ter dados suficientes para o modelo de avaliação de disponibilidade. Assim, as taxas de avaria foram calculadas através de estimação pontual. Foram também realizados um conjunto de testes estatísticos com o objectivo de validar o pressuposto de utilizar taxas de avaria constantes.

Em seguida realizaram-se, com recurso a Redes de Petri Estocásticas, modelos de avaliação do sistema.

Com esta análise foi possível, analisando a sensibilidade em relação a alguns parâmetros desconhecidos, proceder à análise da indisponibilidade do sistema no pior e no melhor caso.

Neste capítulo será, numa fase inicial, realizada uma abordagem teórica à análise de disponibilidade e, posteriormente, apresentada a metodologia utilizada, os resultados obtidos e as conclusões inerentes.

4.1 - Fundamentos Teóricos

4.1.1. Conceitos

Considere-se um componente que é colocado em funcionamento em $t=0$, instante no qual se encontra operacional. Quando este componente avaria, passando a um estado inoperacional, é iniciada a sua reparação para que retorne ao seu estado operacional. Estes componentes são denominados “reparáveis”. O seu comportamento encontra-se ilustrado na figura 4.1.



Figura 4.1- Comportamento de um sistema reparável

Aos diferentes estados em que o componente se encontra, estão associados um conjunto de tempos médios, durante os quais o componente se encontra no respectivo estado. Na figura 4.2 encontram-se esquematizados estes tempos médios.

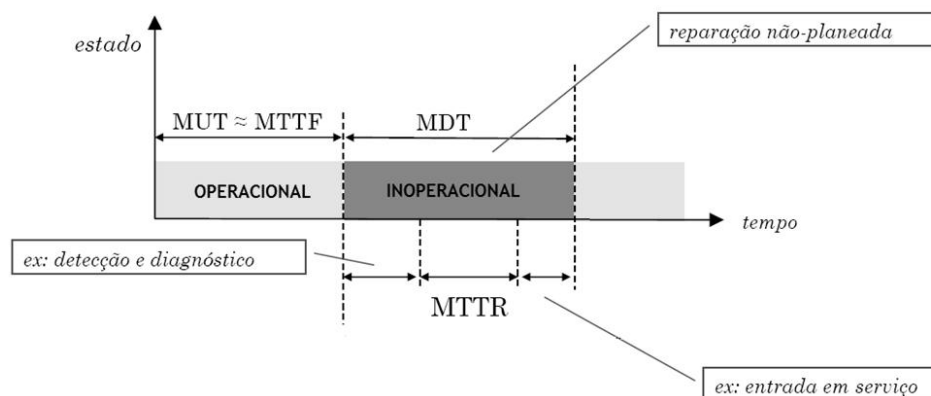


Figura 4.2 - Comportamento de um sistema reparável e tempos médios associados

Como se pode verificar, o tempo médio no qual o componente se encontra operacional é denominado MUT (Mean Up Time) e pode ser aproximado pelo tempo médio para que o componente avarie MTTF (Mean Time to Failure).

O tempo médio em que o componente se encontra inoperacional (MDT- Mean Down Time) é obtido através do somatório de um conjunto de tempos, que para além do tempo médio de reparação (MTTR- Mean Time to Repair) engloba também tempos referentes, por exemplo, à detecção e diagnóstico e à entrada em serviço do componente. É no entanto comum aproximar o tempo em que o componente se encontra inoperacional pelo tempo médio de reparação ($MDT \approx MTTR$).

4.1.2. Avaria e Reparação

A avaria de um componente é um fenómeno estocástico, cuja taxa nos fornece o número de avarias por unidade de tempo que este sofreu. A taxa de avaria, λ , de um componente é variável ao longo do tempo função de diversos factores, sendo a sua curva típica a apresentada na figura 4.3.

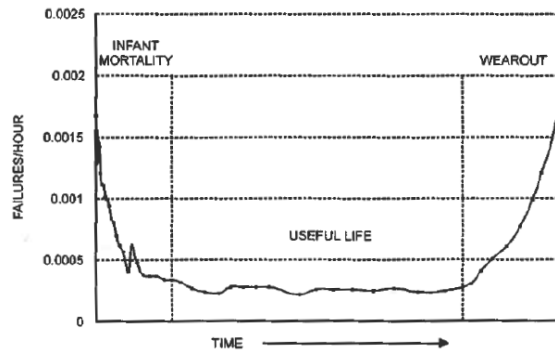


Figura 4.3 - Curva típica da taxa de avaria (Curva da Banheira)

Definindo a probabilidade de um sistema avariar no intervalo $(t, t+\Delta t)$, sabendo que está operacional em t , como:

$$\Pr\{(t < T \leq t + \Delta t) | T > t\} = \frac{\Pr\{t < T \leq t + \Delta t\}}{\Pr\{T > t\}} = \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{1 - F(t)} \quad (4.1)$$

onde T é uma variável aleatória que representa o tempo até o sistema avariar, a qual tem como uma função distribuição $F(t)$ e densidade de probabilidade $f(t)$, onde

$$F(t) = \Pr(T < t) \quad (4.2)$$

e

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad , \quad (4.3)$$

a taxa de avaria pode ser obtida como

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr\{(t < T \leq t + \Delta t) | T > t\}}{\Delta t} = \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (4.4)$$

Na zona de vida útil, a taxa de avaria pode considerar-se aproximadamente constante. Neste caso, os intervalos entre avarias seguem uma distribuição exponencial negativa⁷, cuja função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4.5)$$

e a função distribuição de probabilidade:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.6)$$

Esta distribuição possui a particularidade de não ter memória, isto é, a probabilidade de avaria num determinado intervalo de tempo ($t+\Delta t$) não depende do tempo durante o qual o componente já esteve a funcionar.

Neste caso demonstra-se que o tempo médio até o componente avariar, isto é o valor esperado (“médio”) da variável aleatória T , é dado pelo inverso da taxa de avaria:

$$MTTF = E[T] = \int_0^\infty 1 - F(t)dt = \int_0^\infty e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (4.7)$$

As reparações dos componentes são também processos estocásticos, cujo tempo associado pode ser modelado por uma variável aleatória, tal como no caso da avaria. Considerar que esta taxa é constante (μ) não é muito realista, uma vez que, neste caso estaríamos a assumir que esta segue uma distribuição exponencial, a qual, como já foi referido, não possui memória, pelo que por vezes são utilizadas outras distribuições que não a exponencial.

Demonstra-se no entanto que, quando o tempo de reparação é muito menor do que o tempo que decorre entre avarias, assumir que μ é constante não implica um erro muito elevado. Neste caso, pode também assumir-se que a taxa de reparação dos componentes segue uma distribuição exponencial. Tem-se assim que:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (4.8)$$

⁷ A distribuição exponencial negativa passará a ser apenas referida como distribuição exponencial

4.1.3. Disponibilidade

Na análise de componentes reparáveis, uma medida importante representativa do sucesso do componente é a disponibilidade.

Define-se disponibilidade $A(t)$ como a probabilidade de um componente reparável se encontrar operacional num determinado instante de tempo t . Definindo o estado do componente no instante t através da variável de estado $X(t)$ onde:

$$X(t) = \begin{cases} 1 & \text{se o sistema está operacional no instante } t \\ 0 & \text{se o sistema está inoperacional no instante } t \end{cases} \quad (4.9)$$

temos que

$$A(t) = \Pr(X(t)) = 1 \quad . \quad (4.10)$$

Em geral, a disponibilidade do componente é muito próxima de 100% pelo que se torna mais interessante analisar o complementar desta, isto é, a indisponibilidade,

$$U(t) = 1 - A(t) \quad (4.11)$$

Demonstra-se que a disponibilidade de um dado componente se encontrar, no instante t , em funcionamento (disponibilidade pontual) é dada por:

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (4.12)$$

No entanto, como é geralmente mais importante estimar os impactos a longo prazo é normalmente calculada a disponibilidade assintótica (ou estacionária). Esta é obtida calculando o limite quando $t \rightarrow \infty$ de $A(t)$:

$$A_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (4.13)$$

4.2 - Estimação da taxa de avaria e reparação

4.2.1. Recolha de dados

A recolha de dados foi realizada recorrendo a um histórico do SAP (ERP utilizado pela empresa) e a relatórios de inspeção. Concluiu-se, no entanto que estes dados não eram suficientes para a referida análise, pelo que se tornou necessário complementar os mesmos com informação recolhida recorrendo a experiência interna (da empresa).

Após a referida recolha de dados, obtiveram-se os seguintes valores:

Tabela 4.1 - Dados recolhidos

Equipamento	Nº de equipamentos	Nº de avarias	Tempo Total (h)	Tempo em funcionamento (h)	Tempo fora de serviço (h)
UPS 1 Siel	1	4	19056	19024	32
UPS 2 Siel	1	3	19056	19032	24
UPS 1 Aros	1	2	17520	17504	16
UPS 2 Aros	1	2	17520	17504	16
STS	10	2	17520	17518	2

As avarias das UPS Siel foram contabilizadas através do SAP num período entre Março de 2004 e Maio de 2006.

Tendo em conta que as UPS Aros e os STS apenas se encontram instalados desde Outubro de 2007, em caso de avaria, estas eram reparadas pelo fabricante, não existindo por isso qualquer informação disponível ao nível do histórico ou de relatórios de inspecção relativa a estes casos. Assim, esta informação foi obtida recorrendo a um supervisor de electricidade do Departamento de Fiabilidade.

Uma vez que as UPS Aros e os STS apenas foram instalados, como já foi referido, em Outubro de 2007, o período utilizado para as mesmas foi entre a referida data e Outubro de 2009.

O tempo em que o equipamento se encontra fora de serviço foi também um valor obtido de forma subjectiva e aproximado. Na realidade, este tempo deveria corresponder ao somatório de um conjunto de tempos correspondentes à detecção e diagnóstico, à reparação e à entrada em serviço (MDT), multiplicado pelo número de avarias que o componente sofreu. No entanto, considerou-se por aproximação, que o MDT correspondia apenas ao tempo de reparação (MTTR), o qual compreende acções como a recolha de material do armazém (caso este esteja disponível), o pedido de uma autorização de trabalho, etc. Assim o tempo de reparação considerado para cada avaria da UPS é de aproximadamente 8 horas e do STS de 2 horas.

4.2.2. Taxas de avaria

As taxas de avaria dos componentes constituintes do sistema eram desconhecidas.

Considerou-se que o tempo entre avarias segue uma distribuição exponencial (equações (4.5) e (4.6)).

Torna-se então necessário estimar o parâmetro desta distribuição, isto é, a taxa de avaria. O método de estimação utilizado foi a estimação pontual. Designa-se por estimador pontual de um parâmetro, uma estatística amostral cujos valor particulares constituam

estimativas do parâmetro em causa [15]. Através deste método foi então possível obter, através dos dados recolhidos, uma estimativa da taxa de avaria dos diferentes componentes.

Na norma, IEC 60605-4 [16], é feito um resumo da aplicação de um conjunto de métodos estatísticos para a estimação pontual de taxas de avaria cujo tempo entre avarias segue uma distribuição exponencial, tal como no caso em estudo. Esta define, consoante o tipo de teste realizado, duas formas para o cálculo dos parâmetros da referida distribuição.

Existem dois tipos de teste os quais são definidos em função do critério de paragem a eles associado. Assim, os testes podem terminar quando um tempo pré-determinado de teste é alcançado (teste limitado pelo tempo) ou quando um número r de avarias é atingido (teste limitado pelas avarias). No caso em estudo, o teste em questão é limitado pelas avarias (*failure terminated*).

Para este tipo de testes a norma define a taxa de avaria, através de estimação pontual, como:

$$\lambda = \frac{r}{T^*} \quad , \quad (4.14)$$

onde T^* corresponde ao tempo no qual o componente se encontrou operacional durante o teste, (tempo em funcionamento da tabela 4.1) e r o número de avarias observadas.

A partir dos valores obtidos para as taxas de avaria foi possível calcular o MTTF, uma vez que este é dada pelo inverso daquela (expressão (4.7)).

Os valores obtidos para as taxas de avaria e MTTF são apresentados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Taxas de avaria e MTTF dos componentes

Equipamento	Taxa de avaria (h^{-1})	MTTF (h)
UPS 1 Siel	$2,10260723 \times 10^{-04}$	4756
UPS 2 Siel	$1,57629256 \times 10^{-04}$	6344
UPS 1 Aros	$1,14259598 \times 10^{-04}$	8752
UPS 2 Aros	$1,14259598 \times 10^{-04}$	8752
STS fora de serviço	$1,14181320 \times 10^{-05}$	87580

As taxas de avaria das fontes de alimentação das cargas e da rede são valores desconhecidos e impossíveis de estimar uma vez que não existem dados relativos às suas avarias. Assim, na análise de indisponibilidade, estes vão ser considerados parâmetros variáveis.

Verifica-se que o equipamento com maior taxa de avaria é a UPS 1 Siel cujo tempo médio até o sistema avariar (MTTF) é de aproximadamente 6,5 meses, segue-se a UPS 2 Siel com um MTTF de 8,7 meses, as UPS Aros com MTTF de aproximadamente 1 ano e o STS, com a menor taxa de avaria, tem um MTTF de cerca de 10 anos.

4.2.3. Intervalos de confiança

Através dos métodos de estimação pontual não é possível obter qualquer informação relativa ao rigor ou à confiança das estimativas que são obtidas através deles. Esta dificuldade pode ser ultrapassada através de métodos de estimação por intervalo, cujo conceito fundamental é o de intervalo de confiança [15].

Tendo isto em conta, o passo seguinte desta análise consistiu no cálculo dos intervalos de confiança para o MTTF e, consequentemente, para as taxas de avaria.

Neste caso, em vez de especificarmos um valor para a taxa de avaria do componente, estimamos um intervalo, com um determinado nível de confiança. Este intervalo irá, com uma probabilidade igual ao nível de confiança estipulado, conter o verdadeiro valor deste parâmetro.

Este cálculo, permitiu verificar o quão fiáveis são os resultados obtidos, sendo que quanto maior for um intervalo de confiança menor é a sua fiabilidade.

Na distribuição exponencial, para a estimação do intervalo de confiança de um dado parâmetro pode ser aplicada a distribuição qui - quadrado, χ^2 . No caso em estudo esta distribuição possui $2r$ graus de liberdade, onde r é igual ao número de avarias que o componente sofreu durante o teste.

Novamente a norma, IEC 60605-4 [16] contém um resumo do cálculo de intervalos de confiança para as taxas de avaria cujo tempo entre avarias segue uma distribuição exponencial.

Assim, o intervalo com $100 (1-\alpha) \%$ de confiança para MTTF, para testes limitados pelo número de avarias é dado por:

$$MTTF \in \left(\frac{2T^*}{\chi^2_{\alpha/2, 2r}}, \frac{2T^*}{\chi^2_{1-\alpha/2, 2r}} \right) \quad (4.15)$$

Assim, para um intervalo de confiança de 95%, obtiveram-se os intervalos de confiança, para o MTTF e, consequentemente, para λ , apresentados na tabela 4.3.

Tabela 4.3- Intervalos de confiança de λ e MTTF

Equipamento	T^* (h)	λ (h^{-1})	MTTF(h)	Limite de confiança inferior		Limite de confiança superior	
				λ (h^{-1})	MTTF(h)	λ (h^{-1})	MTTF(h)
UPS 1 Siel	19024	$2,10260723 \times 10^{-4}$	4756	$4,60865223 \times 10^{-4}$	2169,83	$5,72960471 \times 10^{-5}$	17453,2
UPS 2 Siel	19032	$1,57629256 \times 10^{-4}$	6344	$3,79597520 \times 10^{-4}$	2634,37	$3,24978983 \times 10^{-5}$	30771,2
UPS 1 Aros	17504	$1,14259598 \times 10^{-4}$	8752	$3,18298675 \times 10^{-4}$	3141,7	$1,38254113 \times 10^{-5}$	72330,6
UPS 2 Aros	17504	$1,14259598 \times 10^{-4}$	8752	$3,18298675 \times 10^{-4}$	3141,7	$1,38254113 \times 10^{-5}$	72330,6
STS	17518	$1,14181320 \times 10^{-5}$	87580	$3,18080612 \times 10^{-5}$	31438,6	$1,38159397 \times 10^{-6}$	723802

4.2.4. Verificação de Taxa de Avaria Constante

Após o cálculo das taxas de avaria e pelo facto de estas terem sido consideradas constantes (pressuposto obrigatório da distribuição exponencial) foi necessário verificar a veracidade deste pressuposto.

Para tal realizou-se um Teste de Hipóteses. Este permite verificar, com base em valores recolhidos, a veracidade de uma dada hipótese. No caso em análise, a hipótese a ser verificada diz respeito à validade de considerar a taxa de avaria dos componentes constante.

Assim definiram-se duas hipóteses: a hipótese nula H_0 , a qual aceita como verdadeiro o pressuposto de taxa de avaria constante, e uma hipótese alternativa H_1 , que rejeita este pressuposto.

Tal como para as análises anteriores, existe uma norma que especifica os procedimentos a realizar para o teste de hipóteses associado à verificação de taxa de avaria constante, a IEC 60605 -6 [17].

Na situação em análise e tendo em conta que o teste é limitado pelo número de avarias, seguem-se, segundo [17], os seguintes passos:

1. Ordenar os tempos de avaria do componente por ordem crescente.

De $i=1$ até r calcular o tempo total acumulado através da expressão:

$$T_i = \sum_{k=1}^i t_k + (n - i)t_i \quad (4.16)$$

$$T_r = \sum_{k=1}^r t_k + (n - r)t_r \quad (4.17)$$

onde:

r : nº de avarias

n : tamanho da amostra

T_i : tempo acumulado para a avaria i

T_r : tempo acumulado para a avaria r

t_i : tempo correspondente à ocorrência da avaria i

2. Calcular a estatística de teste através da expressão:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{r-1} T_i - (r-1)\frac{T_r}{2}}{T_r \sqrt{\frac{r-1}{12}}} \quad ; \quad (4.18)$$

3. Especificar o nível de significância α , que neste caso será de 5%, o qual especifica o valor crítico $U_{\alpha}=1,96$;

4. Rejeitar a hipótese de taxa de avaria constante se o valor absoluto de U foi superior ao valor crítico considerado.

Obtiveram-se assim os resultados que se seguem:

Tabela 4.4 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 1 Siel

i	t	Ti	Tr
1	0	0	
2	10176	0	
3	17328	-7152	
4	19056	-10608	-10608

$$U = -1,65158 \approx -1,65 \leftrightarrow |U| < 1,96 \Rightarrow \text{Taxa de avaria constante}$$

Tabela 4.5 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 2 Siel

i	t	Ti	Tr
1	0	0	
2	9648	0	
3	17328	-7680	-7680

$$U = -2,44949 \approx -2,45 \leftrightarrow |U| > 1,96 \Rightarrow \text{Taxa de avaria não constante}$$

Tabela 4.6 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 1 Aros

i	t	Ti	Tr
1	4380	4380	
2	4548	4380	4380

$$U = 1,732051 \approx 1,73 \leftrightarrow |U| < 1,96 \Rightarrow \text{Taxa de avaria constante}$$

Tabela 4.7 - Tempos associados à ocorrência de avarias da UPS 2 Aros

i	t	Ti	Tr
1	4380	4380	
2	4548	4380	4380

$$U = 1,732051 \approx 1,73 \leftrightarrow |U| < 1,96 \Rightarrow \text{Taxa de avaria constante}$$

Tabela 4.8- Tempos associados à ocorrência de avarias do STS

i	t	Ti	Tr
1	11616	92928	
2	11736	93768	93768

$$U = 1,701018 \approx 1,70 \leftrightarrow |U| < 1,96 \Rightarrow \text{Taxa de avaria constante}$$

Não foi realizado o teste à taxa de avaria das fontes de alimentação, uma vez que não foram recolhidos dados referentes a este componente, e portanto o pressuposto de taxa constante foi mantido.

Como se pode verificar pelos resultados obtidos, a hipótese nula, a qual aceita o pressuposto de que a taxa de avaria é constante, é aceite para todos os componentes com a excepção da UPS 2 Siel. Embora o mais correcto, para este componente, fosse a utilização de uma distribuição como a de Weibull, devido ao número de dados existentes ser muito reduzido optou-se por utilizar a distribuição exponencial, isto é considerar a taxa de avaria constante. Deve ser também tido em conta o facto de que, para aplicação correcta deste teste, dever-se-ia utilizar uma amostra de n componentes com n maior do que 1 e um número mais elevado de dados.

4.2.5. Taxa de Reparação

Por fim, calcularam-se a taxa de reparação e o MTTR. Neste ponto, considerou-se que a taxa de reparação dos componentes era constante, por falta de dados.

Embora este pressuposto não seja o mais correcto, como foi referido na secção inicial deste capítulo, uma vez que implica que o tempo que o componente demora a ser reparado segue uma distribuição exponencial. Esta distribuição não tem memória, o que não é realista nas reparações. No entanto prova-se que, quando o tempo de reparação é muito pequeno quando comparado com o tempo entre avarias, assumir que a taxa de reparação é constante não implica um erro elevado.

Assim, uma vez que os dados recolhidos eram em número reduzido e não existia informação referente ao tempo de reparação dos componentes, assumiu-se que o tempo médio no qual o sistema se encontrava inoperacional (MDT) correspondia ao tempo médio de reparação (MTTR) e que este era independente do tipo de avaria que o componente sofria.

Assim, através da expressão (4.8), para o cálculo de μ , obtiveram-se os valores da tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Taxas de reparação e MTTR dos componentes

Equipamento	MTTR (h)	Taxa de reparação (h^{-1})
UPS 1 Siel	8	0,125
UPS 2 Siel	8	0,125
UPS 1 Aros	8	0,125
UPS 2 Aros	8	0,125
STS fora de serviço	2	0,5

As taxas de reparação da rede e das fontes de alimentação das cargas, bem como a taxa referente à colocação em bypass do STS em caso de avaria do mesmo, são valores desconhecidos. Assim, na análise de indisponibilidade, estes serão considerados parâmetros variáveis.

4.3 - Modelação do sistema

Uma vez que os dados disponibilizados eram demasiado reduzidos e alguns não possuíam precisão suficiente para o estudo relativo aos componentes constituintes da UPS, a avaria desta foi considerada como fronteira do sistema. Considerou-se também que a falha de qualquer um dos componentes da UPS, conduziria à avaria da mesma.

Outra simplificação realizada diz respeito a retirar os dispositivos de protecção da análise. Embora fosse mais correcto a consideração destas avarias optou-se, devido à falta de dados, por considerar que teriam uma taxa de avaria muito pequena, pelo que não teriam grande influência nos resultados desta análise.

As cargas C1 possuem um princípio de exploração ligeiramente diferente das restantes, devido à existência do interruptor estático (STS). Para a contabilização do número de avarias assumiram-se duas situações: a saída de serviço do STS ou a sua incorrecta comutação, uma vez que ambas impossibilitam a passagem de tensão para a carga. No entanto, sempre que o STS avaria, é possível, sem proceder à sua reparação, colocar o sistema novamente em funcionamento, ligando directamente o grupo UPS às cargas (bypass).

4.3.1. Redes de Petri Estocásticas

Para o funcionamento do sistema de alimentação ininterrupta das diferentes cargas foram utilizadas Redes de Petri Estocásticas.

A escolha desta ferramenta de modelação foi devida a diversos factores, entre eles:

- O facto de ferramentas como as Árvore de Falhas e os Blocos de Fiabilidade assumirem que, no processo de reparação dos componentes, existem tantas equipas de reparação quanto o número de avarias simultâneas que o sistema sofre. As RdP permitem modelar o sistema com o número de reparadores pretendidos e, se necessário, atribuir prioridades às reparações.
- Em sistemas complexos, como o sistema em estudo, a utilização de cadeias de Markov no desenvolvimento de modelos torna-se difícil uma vez que haverá uma explosão de estados e pelo facto de ser necessário determinar as taxas de transição para todas as transições, obrigando a uma análise cuidada das características de cada estado, tarefa bastante exaustiva em modelos com elevado número de estados. As RdP estocásticas têm um comportamento equivalente a uma cadeia de Markov contínua, mas permitem a modelação de sistemas complexos de uma forma bastante compacta.
- Nas RdP estocásticas, as transições temporizadas têm associado um tempo de disparo definido através de uma distribuição exponencial, o que permite manter o pressuposto assumido de taxas de avaria constantes.

A Rede de Petri (RdP) consiste num grafo direccionado bipartido [18]. É constituída por um conjunto de posições, arcos, transições, imediatas ou temporizadas, e testemunhos tal como se encontra esquematizado na figura 4.4.

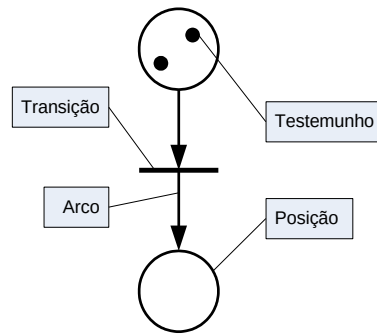


Figura 4.4- Elementos estruturais de uma Rede de Petri

No caso em estudo, as posições correspondem aos diversos estados nos quais os componentes se podem encontrar, ao passo que os testemunhos simulam a presença dos componentes em determinado estado/posição.

As transições, ligadas através de arcos às posições, representam actividades ou eventos. Neste caso às transições temporizadas encontram-se associadas as taxas de avaria e reparação dos componentes.

A mudança de estado do sistema dá-se quando ocorre o disparo de uma/várias transições, de acordo com um conjunto de regras bem definidas, provocando a migração de um/vários testemunhos entre posições. Os arcos, por sua vez, podem ser direccionados ou inibidores. Os primeiros permitem a activação de uma transição caso a posição da qual saem possua um testemunho, os outros pelo contrário activam a transição se a posição se encontrar vazia.

4.3.2. Ferramenta de Modelação

Para a análise quantitativa realizada, após a simplificação e modelação em Redes de Petri do sistema e o cálculo das taxas de avaria e reparação dos diferentes componentes que o constituem, procedeu-se à simulação do seu funcionamento. Para este efeito foi utilizado a ferramenta de modelação SHARPE [19].

Esta ferramenta permite ao utilizador o desenvolvimento de um modelo do sistema através de Árvores de Falhas, Blocos de Fiabilidade, Redes de Petri, Cadeias de Markov, etc. Após a construção do modelo, são atribuídos parâmetros às diferentes transições, estados, etc. tendo em conta a análise e modelos em questão.

O passo seguinte diz respeito à análise do modelo. Esta ferramenta permite analisar/avaliar o funcionamento de um determinado sistema, fornecendo ao utilizador dados como a probabilidade de uma determinada posição se encontrar vazia, do número de testemunhos que se encontram numa determinada posição num instante t , etc. Outra funcionalidade interessante desta ferramenta é o esboço de gráficos relativos a algumas medidas num intervalo de tempo definido pelo utilizador.

4.4- Análise de Disponibilidade

Nesta secção serão apresentados e explicados os modelos utilizados para a análise do sistema, bem como os resultados obtidos.

4.4.1. Modelos

Para a realização dos modelos do sistema para as diferentes cargas, foi necessário algum cuidado adicional de forma a considerar todas as hipóteses existentes que levam à ausência de tensão nos diferentes tipos de carga.

Todos os modelos serão em seguida explicados sucintamente. Inicialmente, explicar-se-á como foram modelados os diferentes componentes do sistema e, em seguida, serão apresentadas as condições utilizadas em cada situação para determinar a indisponibilidade do sistema.

1. Componentes

1.1. UPS

As UPS do sistema são todas iguais no que diz respeito aos estados em que se podem encontrar durante o funcionamento do sistema. Assim será apenas apresentado um modelo genérico, aplicado a cada uma, sendo que os restantes são réplicas deste.

O modelo aplicado às UPS é o apresentado na figura 4.5.

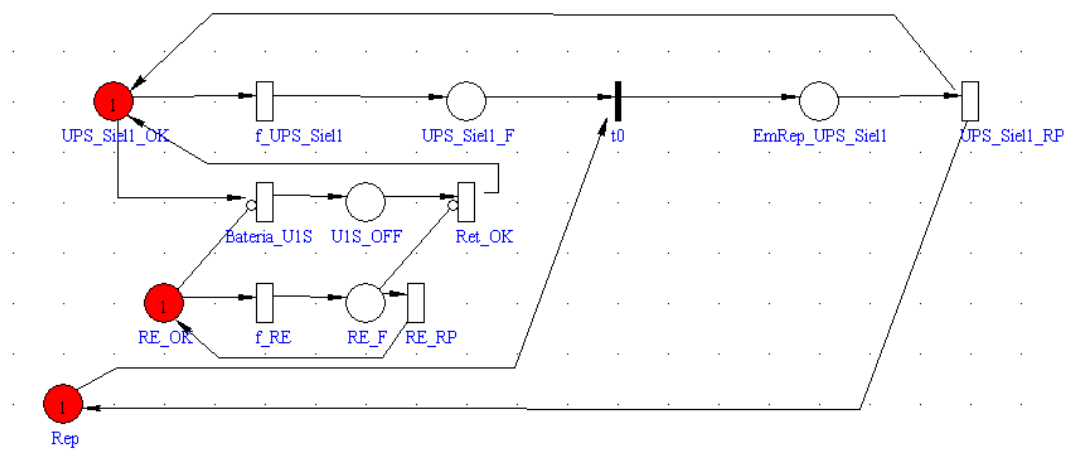


Figura 4.5- Modelo da UPS

A UPS encontra-se inicialmente em funcionamento, o que é representado pela existência de um testemunho no estado “UPS_Siel1_OK”. Deste estado ela pode transitar para um de dois estados:

- Para o estado “UPS_Siel1_F”, representativo da situação de avaria da UPS, com uma taxa de avaria representada através da transição temporizada “f_UPS_Siel1”;
- Para o estado “U1S_OFF”, estado alcançado quando, em caso de avaria da rede de energia eléctrica, a bateria da UPS fica sem autonomia. A avaria da rede eléctrica ocorre com uma taxa “f_RE” e pode ser verificada através de um arco inibidor. Para a autonomia da bateria, associada à transição temporizada “BateriaU1S”, considerou-se um tempo de 2 horas, isto é uma taxa igual a 0.5 h^{-1} (situação à plena carga).

Após o estado de falha da UPS ser alcançado, assim que existir um reparador disponível, é iniciada a sua reparação, situação na qual o testemunho transita para a posição “EmRep_UPS_Siel1”. A reparação é efectuada com uma determinada taxa. Esta encontra-se associada à transição temporizada “UPS_Siel1_RP”. Quando a reparação termina, isto é quando a transição temporizada dispara, o testemunho associado ao reparador é devolvido e a UPS volta a estar operacional.

Quando o testemunho se encontra na posição “UPS_OFF” (posição associada ao estado no qual a UPS não possui autonomia) e a rede eléctrica é reparada (o que ocorre com uma taxa de reparação associada à transição “RE_RP”), é necessário ligar manualmente a UPS, situação modelada através da transição temporizada “Ret_OK”. Considerou-se que esta operação demora, no pior caso 1 hora e que, após ser realizada, as baterias da UPS carregam instantaneamente.

É importante referir que todo o sistema possui apenas um reparador, situação modelada através da existência de um único testemunho na posição “Rep”. A única excepção diz respeito à rede de energia eléctrica que possui um reparador independente do resto do sistema.

O funcionamento das restantes UPS é igual ao apresentado com a excepção da taxa associada à sua avaria, a qual varia de umas UPS para as outras. A taxa de reparação e a autonomia das baterias é igual em todas as situações.

As taxas associadas às transições “f_RE” e “RE_RP” são parâmetros desconhecidos aos quais serão atribuídos diferentes valores como se explicará posteriormente neste capítulo.

1.2. STS

O interruptor estático (STS) utilizado para a ligação entre as cargas C1 e os grupos de UPS encontra-se modelado como é esquematizado na figura 4.6.

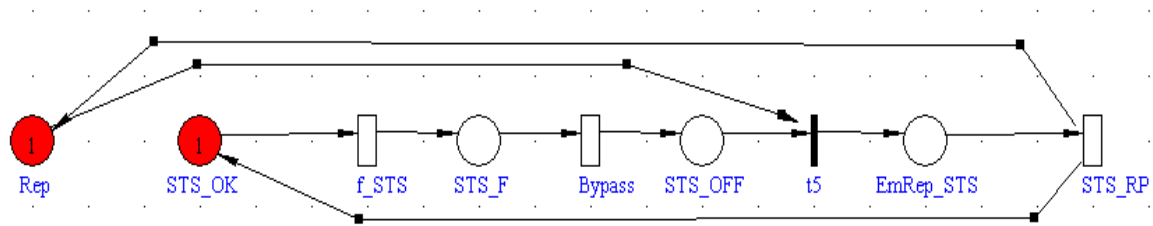


Figura 4.6- Modelo do STS

Quando o STS se encontra operacional, situação representada pela existência de um testemunho na posição “STS_OK” pode avariar com uma taxa associada à transição temporizada “f_STS”, representativa da taxa de avaria deste componente. Quando esta transição dispara, o STS passa para um a posição de avaria “STS_F”.

Em geral, sempre que ocorre uma avaria no STS este é colocado manualmente em bypass, isto é, a carga é ligada directamente a um grupo UPS. A taxa associada a esta operação foi considerada um parâmetro desconhecido do modelo e atribuída à transição temporizada “Bypass”. Quando este elemento é colocado em bypass, passa a estar desligado (“STS_OFF”). Neste ponto, desde que o reparador do sistema esteja disponível, é iniciada a reparação do STS e o testemunho transita para a posição “EmRep_STS”. A reparação termina quando a transição temporizada associada a taxa de reparação deste componente, “STS_RP”, dispara. Quando isto acontece, o reparador é devolvido à sua posição inicial, “Rep”, e o STS volta ao estado operacional.

Deve notar-se que o reparador considerado é o mesmo que para as UPS e para as fontes de alimentação.

1.3. Fontes de Alimentação

O modelo utilizado para as fontes de alimentação encontra-se esquematizado na figura 4.7.

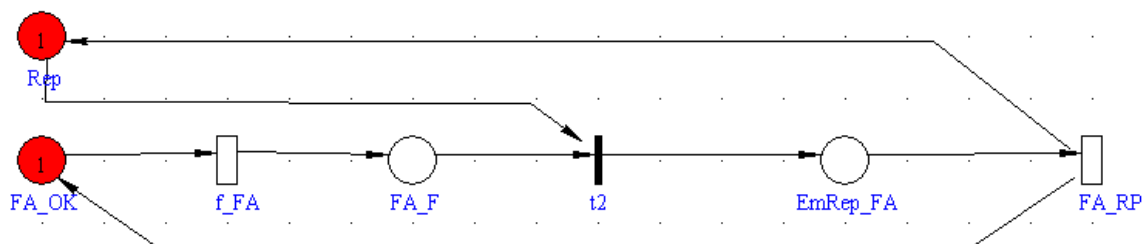


Figura 4.7- Modelo da fonte de alimentação

Quando a fonte de alimentação se encontra operacional, estado representado pela posição “FA_OK”, pode avariar com uma taxa associada à transição temporizada “f_FA”. Assim que esta transição dispara, o testemunho representativo da fonte de alimentação passa para a posição “FA_F”, representativa do estado de avaria da fonte. Nesta posição, logo que o reparador do sistema estiver disponível, é iniciada a reparação do componente a qual é representada pela posição “EmRep_FA”.

Assim que a reparação do componente termina, isto é, quando a transição temporizada “FA_RP”, associada à taxa de reparação do mesmo, dispara, a fonte de alimentação retorna ao estado operacional e o reparador é novamente disponibilizado para reparar outras falhas do sistema.

2. Condições Aplicadas

Nesta secção, serão apresentadas as condições necessárias para a avaria do sistema ser alcançada e para este recuperar da mesma. Os modelos apresentados são uma representação resumida dos diagramas finais. As posições representadas são provenientes dos modelos apresentados na secção anterior.

Em todos os modelos aplicados, teve-se em conta o facto de que sempre que uma UPS avaria é colocada em bypass, sendo que a sua falha não provoca a avaria do sistema. Assim para os sistemas saírem do estado de avaria, basta a reposição da alimentação proveniente da rede uma vez que:

- Quando a UPS está em modo de avaria, é colocada em bypass, pelo que a rede alimentará a carga;
- Quando a UPS não está em modo de avaria, mas encontra-se desligada devido à descarga das suas baterias, a reposição da rede de energia eléctrica carregará instantaneamente as suas baterias e esta passará ao estado operacional.

Nos esquemas relativos às condições utilizadas para verificar a indisponibilidade do sistema, os arcos inibidores verificam a ausência de testemunhos na posição em questão, isto é se o componente não se encontra naquele estado. Os arcos direccionados bidireccionais representam uma condição de teste. Neste caso, verificam a existência de testemunhos na posição à qual estão associados, isto é, se o componente se encontra no estado respectivo.

2.1. Cargas C1

As cargas do tipo C1 apresentam o diagrama funcional apresentado na figura 4.8.

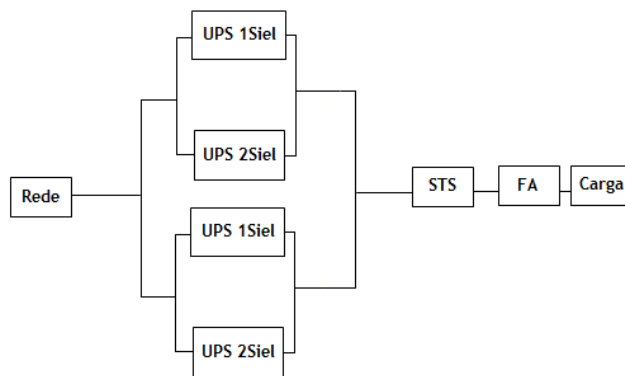


Figura 4.8 - Diagrama funcional das cargas C1 com fontes de alimentação

Analisando esta configuração, verifica-se que para o sistema se encontrar inoperacional três situações podem ocorrer:

- Todas as UPS do sistema falharem juntamente com a rede de energia eléctrica;
- O STS falhar;
- A fonte de alimentação da carga falhar.

Assim, para o sistema sair do estado inoperacional basta que se verifique que o STS, a rede de energia eléctrica e a fonte de alimentação da carga voltem ao estado operacional.

Estas condições são apresentadas no modelo, através de testes de verificação da marcação das posições representativas destes estados do sistema, como se verifica na figura 4.9.

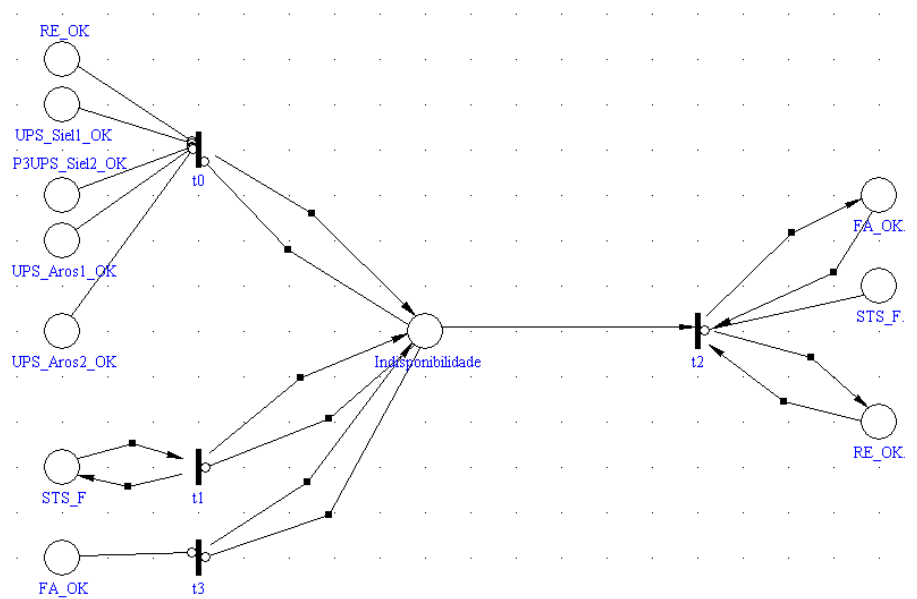


Figura 4.9- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C1 com FA

2.2. Cargas C2

As cargas do tipo C2 apresentam o diagrama funcional apresentado nas figuras 4.10.

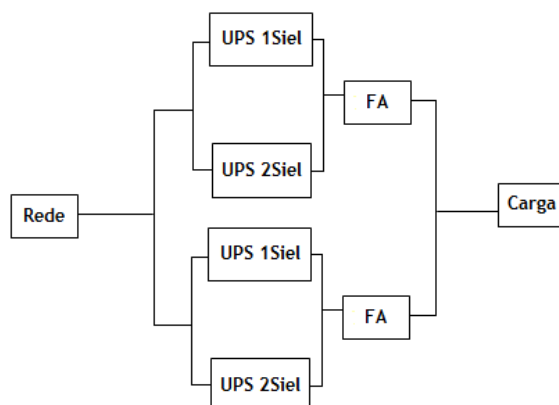


Figura 4.10- Diagrama funcional das cargas C2 com fontes de alimentação

Para esta configuração do sistema, verifica-se que as cargas ficam inoperacionais se as seguintes condições se verificarem:

- a falha da rede de energia eléctrica juntamente com o grupo de UPS Aros e com a falha da fonte de alimentação à qual se encontra ligado o grupo de UPS Siel;
- a falha da rede de energia eléctrica juntamente com o grupo de UPS Siel e com a falha da fonte de alimentação à qual se encontra ligado o grupo de UPS Aros;
- a falha de ambos os grupos de UPS e da rede de energia eléctrica simultaneamente;
- a falha de ambas as fontes de alimentação das cargas.

Para estas cargas voltarem a estar operacionais, em caso de avaria, duas situações podem ocorrer:

- a rede de energia eléctrica voltar a estar operacional juntamente com a fonte a que se encontra ligado o grupo de UPS Siel;
- a rede de energia eléctrica voltar a estar operacional juntamente com a fonte a que se encontra ligado o grupo de UPS Aros.

Estas condições encontram-se esquematizadas na figura 4.11.

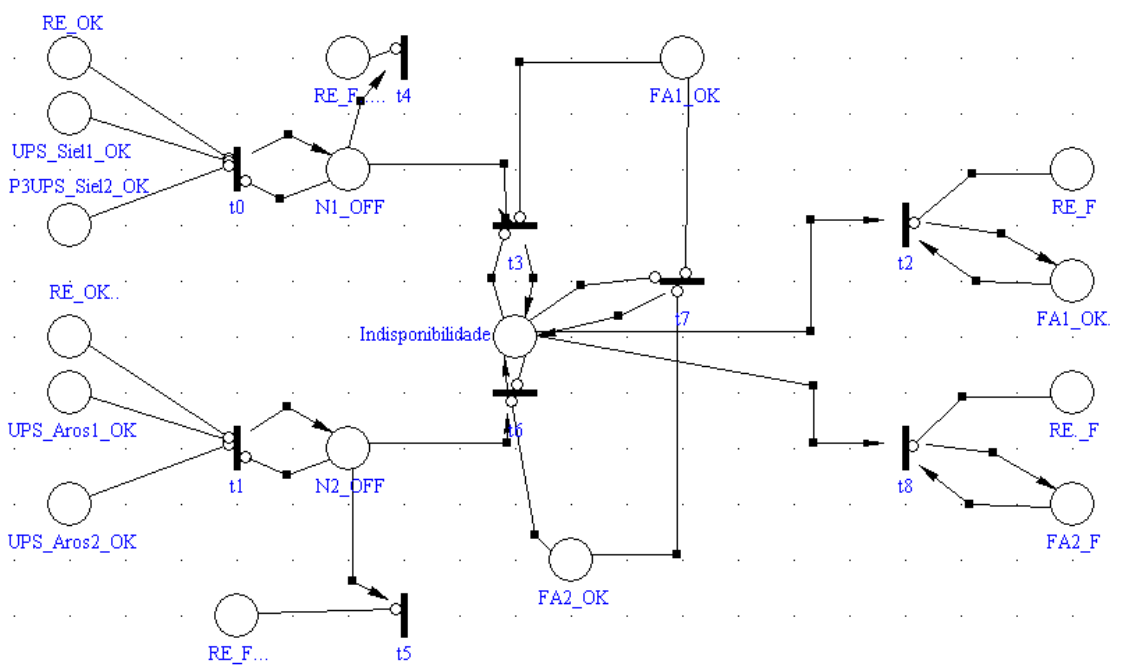


Figura 4.11- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C2 com FA

As posições “N1_OFF” e “N2_OFF”, representativas da falha da rede juntamente com um dos grupos de UPS, possuem memória. Quando o sistema se encontra numa destas posições, se estas não ocorrerem simultaneamente, o sistema continua em funcionamento e, caso a rede de energia eléctrica seja reparada, mesmo que a fonte do outro grupo falhe, a carga continua a ser alimentada.

2.3. Cargas C3

As cargas C3 são as com a configuração mais simples, possuindo apenas um grupo de UPS. O seu diagrama funcional encontra-se esquematizado na figura 4.12.

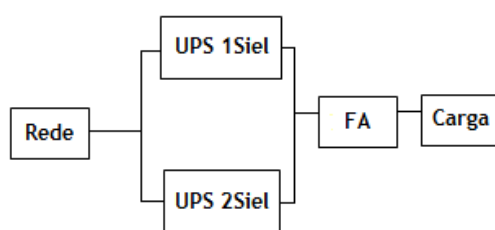


Figura 4.12- Diagrama funcional das cargas C3 com fontes de alimentação

A avaria deste sistema pode ocorrer devido a duas situações:

- falha conjunta da rede de energia eléctrica e do grupo UPS Siel;
- falha da fonte de alimentação da carga.

Assim, para o sistema sair do estado de avaria, basta que a rede de energia eléctrica e a fonte de alimentação da carga voltem a estar operacionais.

A figura 4.13 representa a situação supracitada.

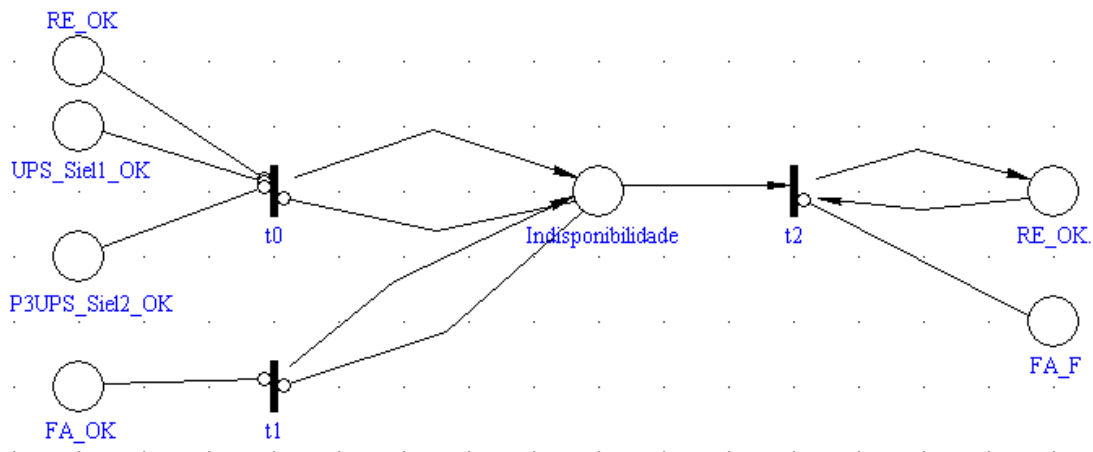


Figura 4.13- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C3 com FA

4.4.2. Indisponibilidade

Para a realização desta análise, foram utilizados os modelos e a ferramenta de modelação já descritos. Uma vez que a informação relativa às taxas de avaria e reparação da rede de alimentação eléctrica e das fontes de alimentação das cargas não se encontrava disponível, bem como o tempo referente à colocação do STS em bypass, optou-se por considerar estes valores como parâmetros variáveis da análise.

Assim, procedeu-se a uma análise de sensibilidade, variando o valor dos parâmetros supracitados e verificando qual a sua influência na indisponibilidade das cargas.

Na tabela 4.10, são apresentados os valores das taxas de avaria e reparação dos componentes do sistema associados às transições temporizadas já referidas. Na tabela 4.11, são apresentados os valores que serão considerados para a variação dos parâmetros desconhecidos.

Tabela 4.10 - Taxas de avaria e reparação dos componentes

Equipamento	Taxa de avaria (h^{-1})	Taxa de reparação (h^{-1})
UPS 1 Siel	$2,10260723 \times 10^{-04}$	0,125
UPS 2 Siel	$1,57629256 \times 10^{-04}$	0,125
UPS 1 Aros	$1,14259598 \times 10^{-04}$	0,125
UPS 2 Aros	$1,14259598 \times 10^{-04}$	0,125
STS fora de serviço	$1,14181320 \times 10^{-05}$	0,5

Tabela 4.11 - Variação dos parâmetros⁸

MTTF da Rede		
1avaria/ano	1avaria/2anos	1avaria/10anos
MTTR da Rede		
5 minutos	15 minutos	30 minutos
MTTR Bypass do STS (colocação em)		
30 minutos	45 minutos	1 hora
Taxa de Avaria da Fonte de Alimentação (h^{-1})		
$0,1 \times \lambda_{STS}$	$1 \times \lambda_{STS}$	$10 \times \lambda_{STS}$
MTTR da Fonte de Alimentação		
30 minutos	60 minutos	120 minutos

Para a escolha dos valores para a variação dos parâmetros, foi recolhida informação através de experiência interna da empresa e, a partir desta, arbitrou-se uma ordem de variação para cada parâmetro.

O resultado da indisponibilidade para os diversos sistemas foi obtido através do número esperado de testemunhos na posição “Indisponibilidade” do modelo, o qual se demonstra ser é igual à probabilidade de o sistema se encontrar nesta mesma posição.

Como referido, procedeu-se então à análise de sensibilidade do sistema através da variação destes parâmetros, utilizando os valores apresentados na tabela 4.11. Assim, para analisar influência desta variação na indisponibilidade do sistema, fixou-se o valor das restantes variáveis no valor central considerado na tabela, fazendo variar cada componente individualmente.

Por fim, utilizaram-se o pior e o melhor valor de cada parâmetro, isto é, o valor com o qual se obtém maior e menor indisponibilidade, respectivamente, para as diferentes cargas, para obter a sua indisponibilidade no pior e no melhor caso.

Nas secções seguintes serão apresentados os resultados obtidos para os diferentes tipos de carga e algumas conclusões inerentes.

⁸ Todos os valores indicados na tabela foram utilizados em h^{-1} nos modelos de avaliação, isto é, sob a forma de taxa de avaria e reparação.

1. Cargas C1

Através da variação dos referidos parâmetros obtiveram-se os resultados de indisponibilidade para as cargas C1 apresentados nas figuras 4.14 a 4.18.

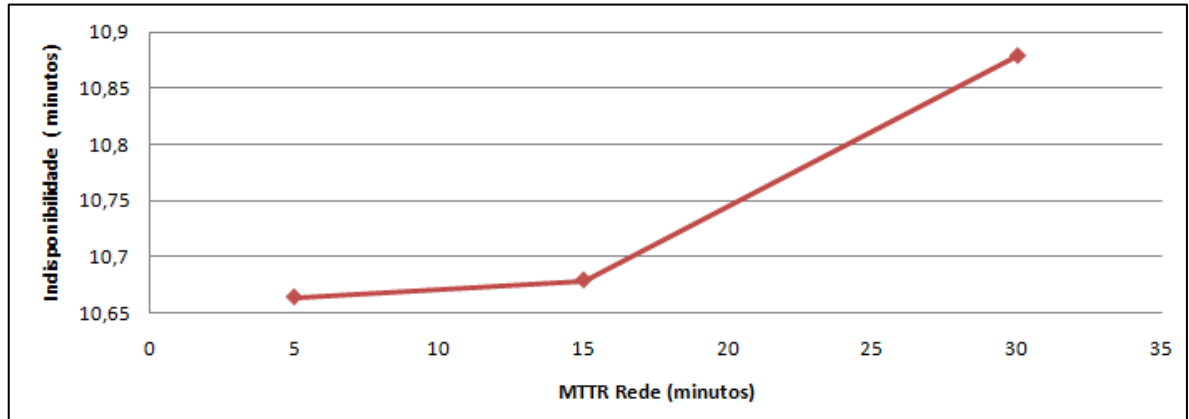


Figura 4.14- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do MTTR da rede

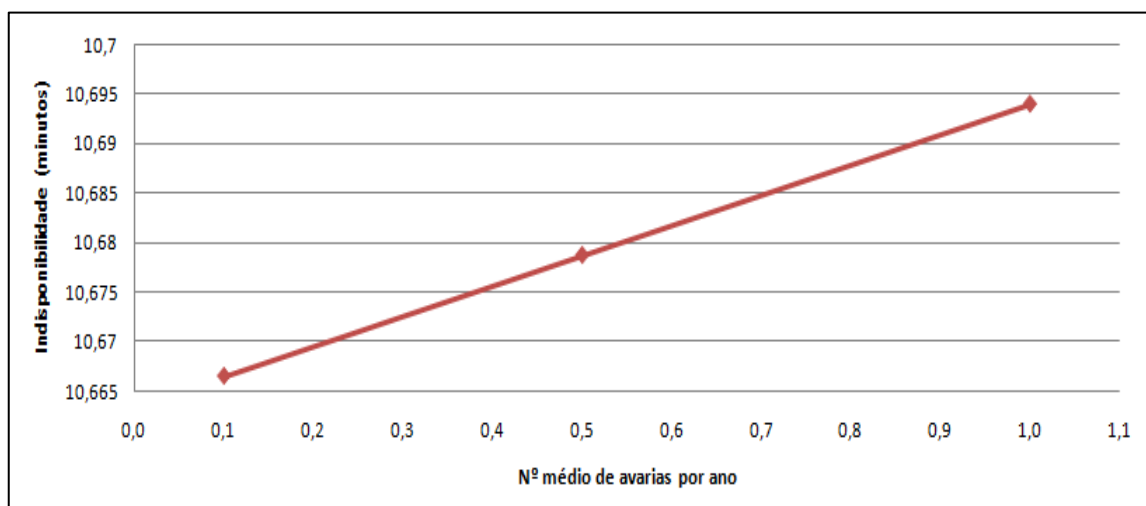


Figura 4.15- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do número médio de avarias por ano da rede

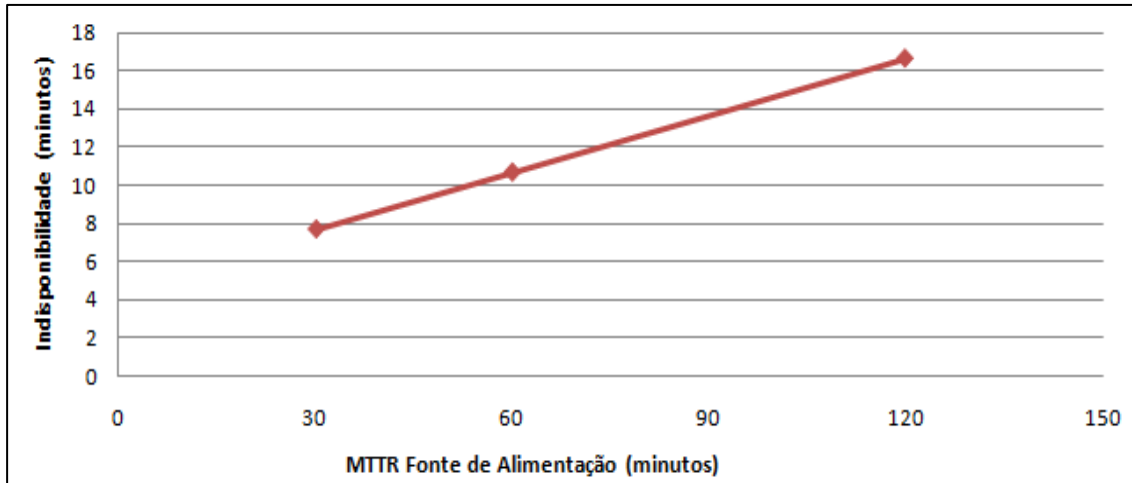


Figura 4.16- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do MTTR das fontes de alimentação das cargas

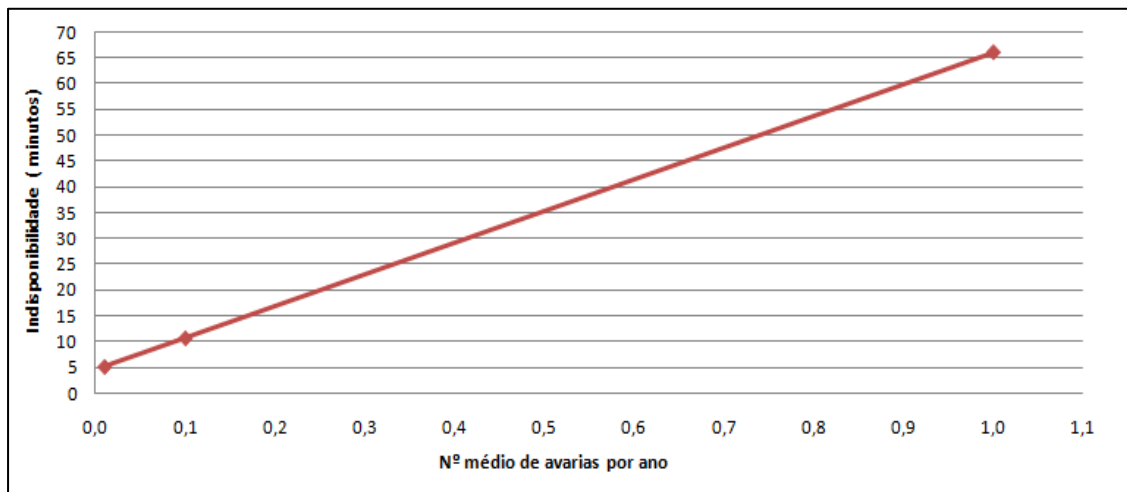


Figura 4.17- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do número médio de avarias por ano das fontes de alimentação das cargas

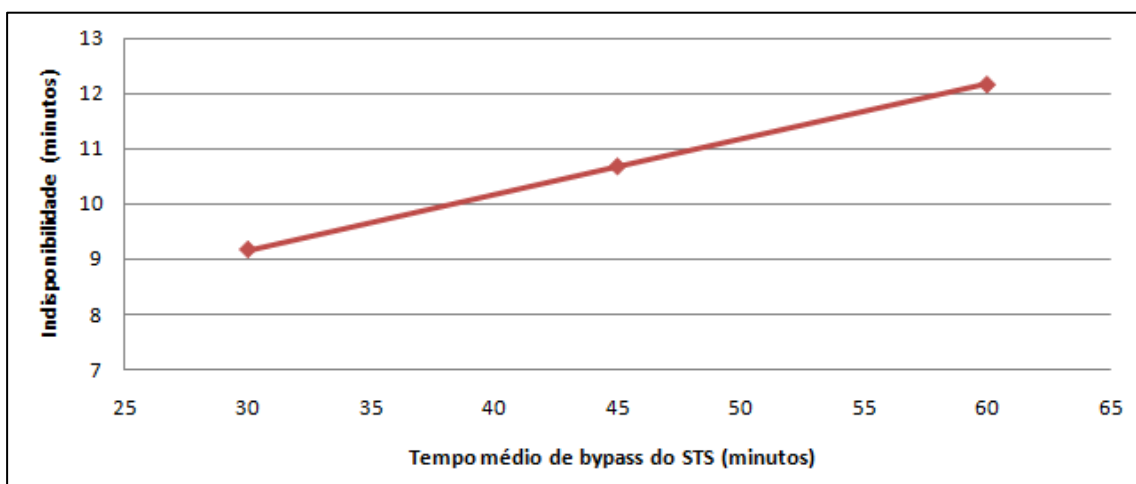


Figura 4.18- Indisponibilidade do sistema das cargas C1 em função do tempo de colocação em bypass do STS

Constatou-se que os valores mais elevados de indisponibilidade das cargas ocorrem para os maiores valores de taxa de avaria e de MTTR, ou analogamente, para menores valores de MTTF e de taxas de reparação.

É importante verificar que a variação das taxas de avaria e reparação das fontes de alimentação e da colocação em bypass do STS provocaram uma variação significativa na indisponibilidade destas cargas. Tal deve-se ao facto de, para estas cargas, ambos os componentes serem pontos singulares de avaria (SPOF).

Assim, para obter o pior caso para a indisponibilidade destas cargas, atribuíram-se estes valores à taxa dos respectivos parâmetros do modelo. Obteve-se então uma indisponibilidade assintótica de:

127,93 minutos por ano ,

o que equivale a uma disponibilidade de 99,9757%.

Para o melhor caso, obtido através dos valores menores da taxa de avaria e do tempo de reparação, obteve-se uma indisponibilidade assintótica de:

3,32 minutos por ano ,

o que equivale a uma disponibilidade de 99,9994%.

2. Cargas C2

Para as cargas do tipo C2, obtiveram-se os resultados das figuras 4.19 a 4.22.

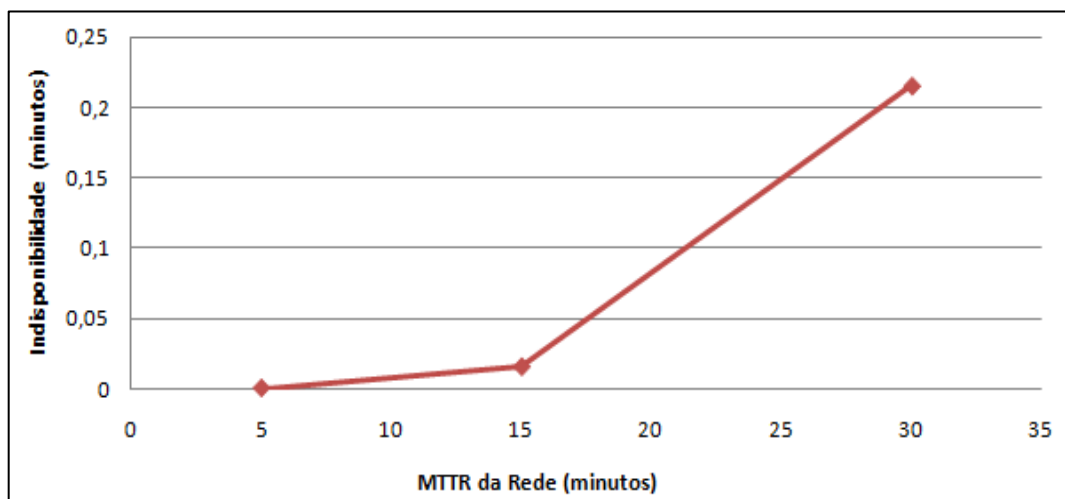


Figura 4.19- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do MTTR da rede

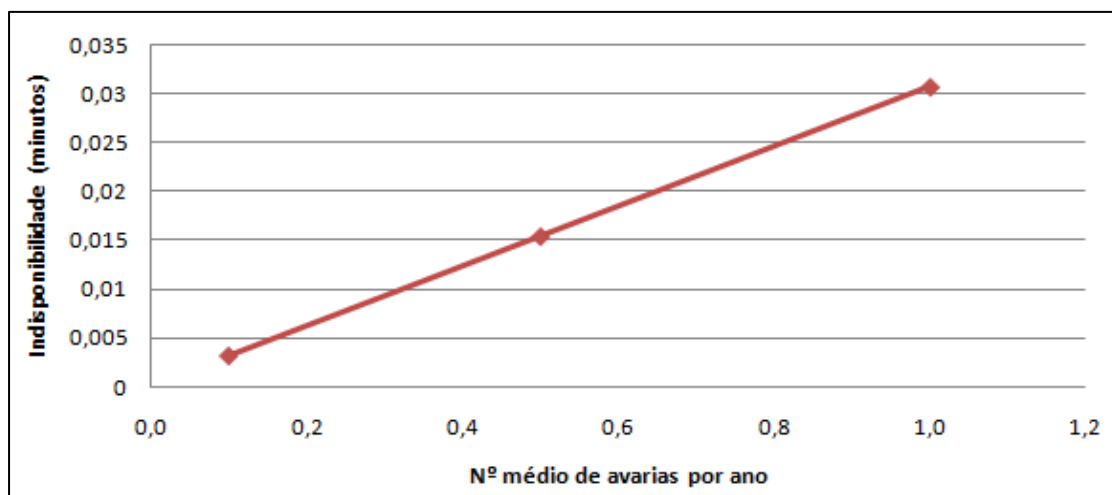


Figura 4.20- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do número médio de avarias por ano da rede

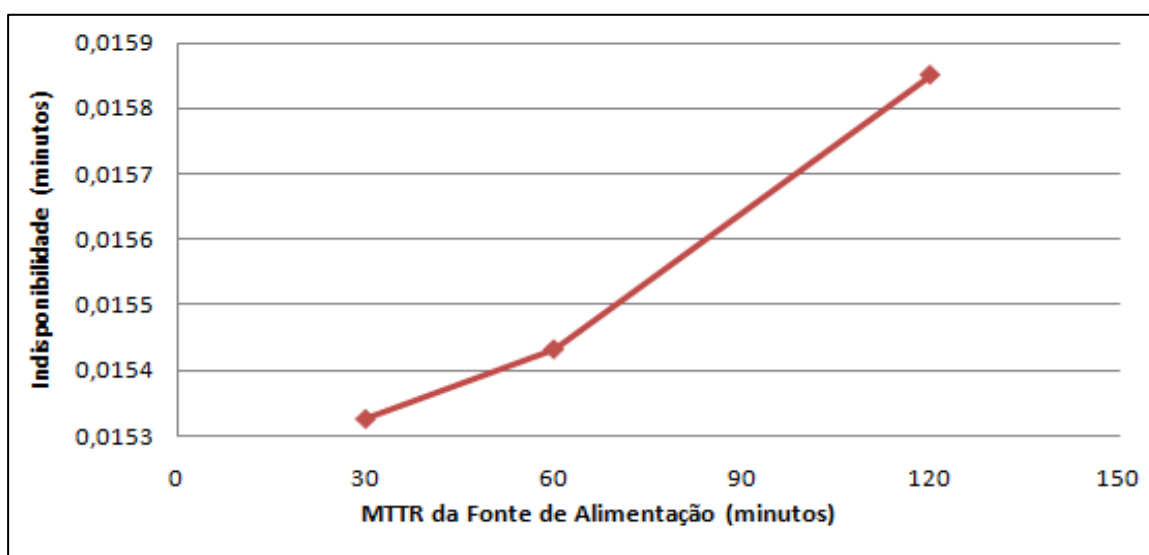


Figura 4.21- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do MTTR das fontes de alimentação das cargas

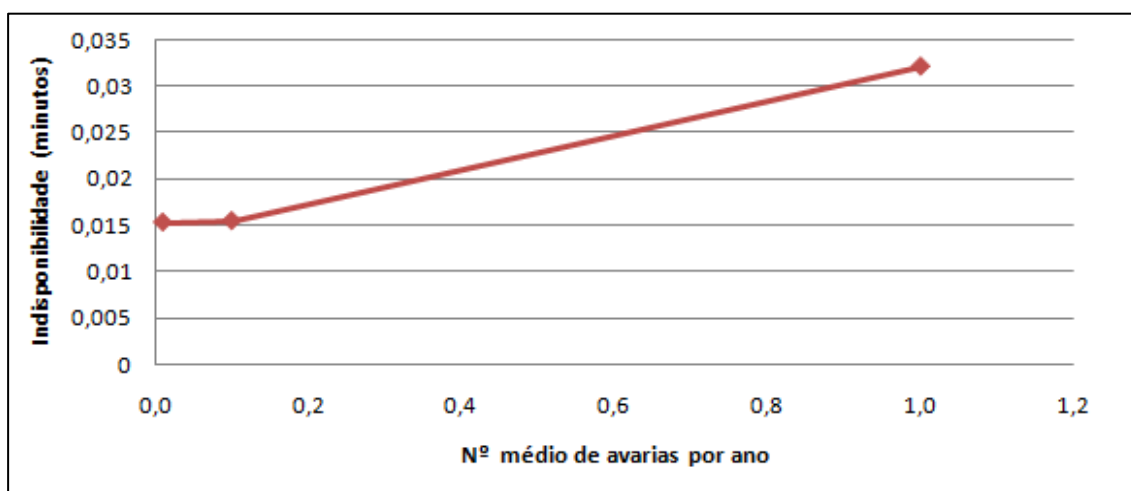


Figura 4.22- Indisponibilidade do sistema das cargas C2 em função do número médio de avarias por ano das fontes de alimentação das cargas

Verificou-se que, tal como para as cargas C1, o pior caso para a indisponibilidade destas cargas é obtido através dos maiores valores das taxas de avaria e dos MTTR dos diversos parâmetros.

Note-se que, neste caso, a variação das taxas de avaria e reparação das fontes de alimentação, não provocou uma variação tão significativa na indisponibilidade das cargas, como no caso das cargas C1. Tal deve-se provavelmente ao facto de, nas cargas C2, as fontes de alimentação serem redundantes entre si, isto é a avaria de uma não implica a avaria do sistema.

Assim obteve-se uma indisponibilidade assintótica anual para o pior caso de:

0,49 minutos por ano ,

o que equivale a uma disponibilidade de 99,9999 %.

Para o melhor caso, obteve-se a indisponibilidade de:

$2,56 \times 10^{-5}$ minutos por ano ,

o que equivale a uma disponibilidade de aproximadamente 100 %.

3. Cargas C3

Por fim, a mesma análise foi realizada para as cargas C3. Obtiveram-se os seguintes resultados:

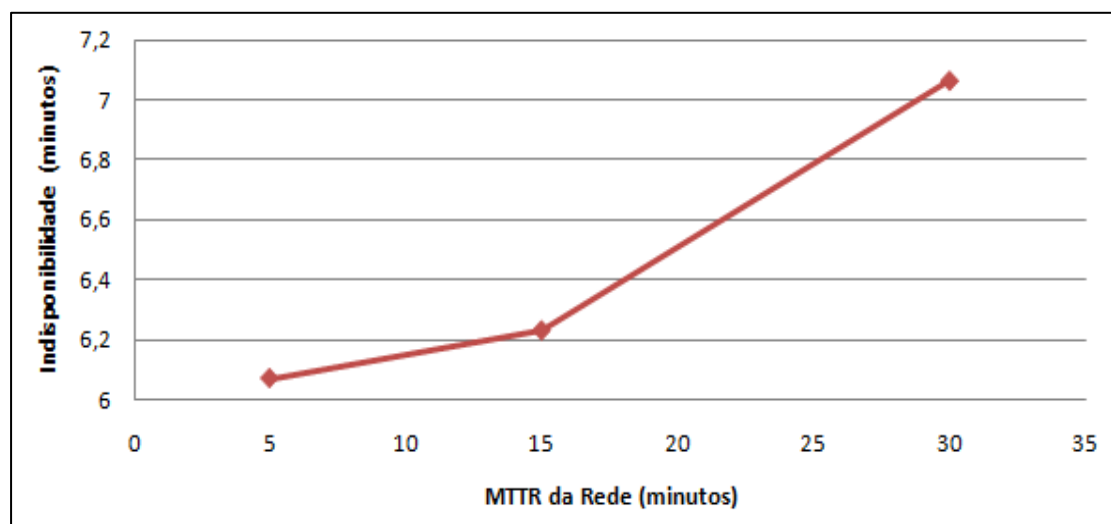


Figura 4.23- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do MTTR da rede

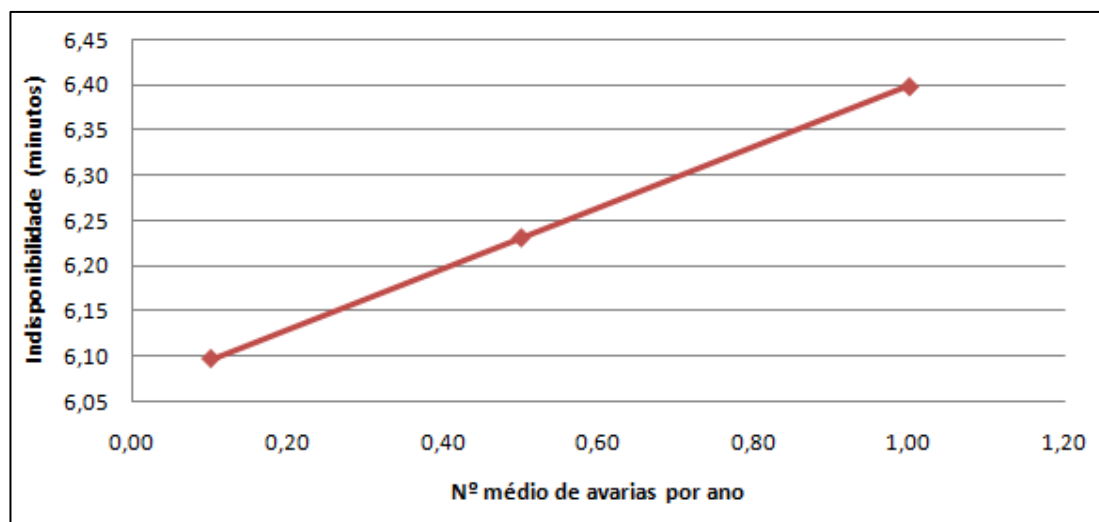


Figura 4.24- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do número médio de avarias por ano da rede

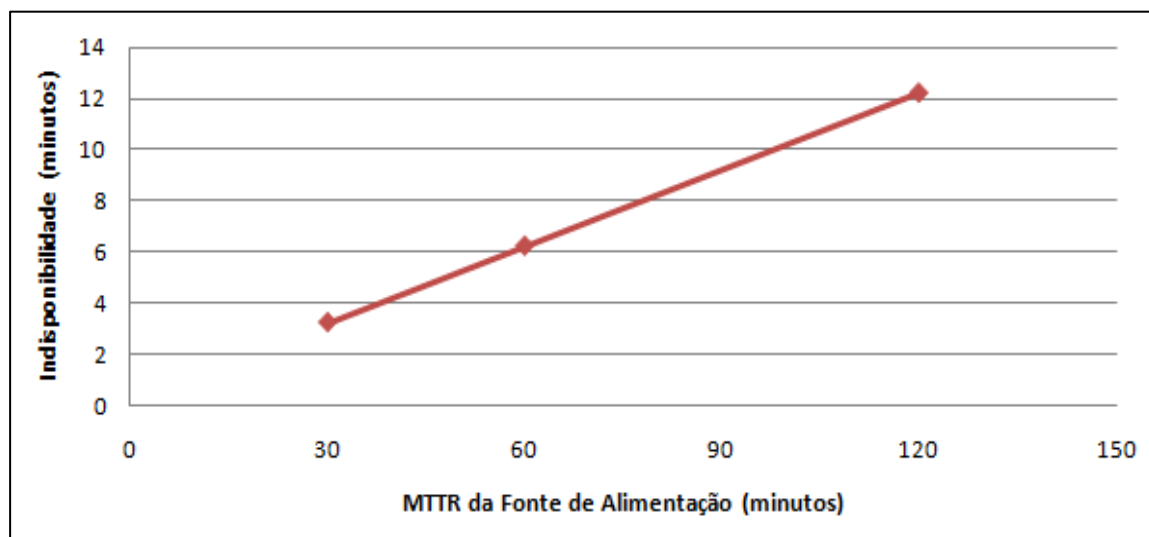


Figura 4.25- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do MTTR das fontes de alimentação das cargas

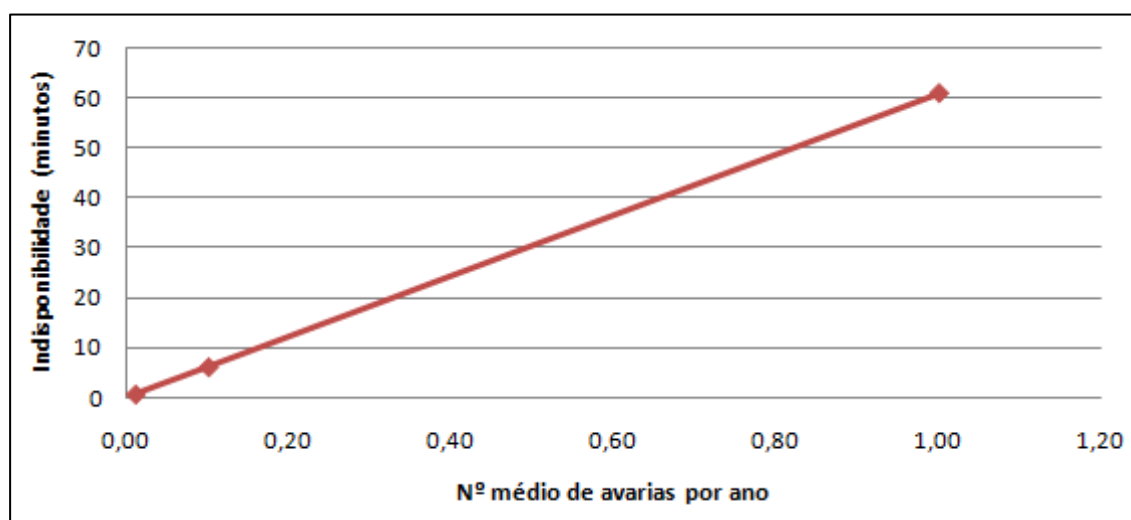


Figura 4.26- Indisponibilidade do sistema das cargas C3 em função do número médio de avarias por ano das fontes de alimentação das cargas

Novamente foram retiradas as mesmas conclusões relativamente ao valor das taxas de avaria e reparação da rede e das fontes de alimentação, para o pior caso. Maiores valores da taxa de avaria e menores da taxa de reparação produzem maiores tempos de indisponibilidade das cargas.

Neste caso, verifica-se que a variação das taxas associadas às fontes de alimentação das cargas provoca uma variação significativa na sua indisponibilidade das cargas. Isto deve-se ao facto de estes componentes serem SPOF do sistema das cargas C3.

A indisponibilidade assintótica, no pior caso, para este tipo de cargas é de:

122,62 minutos por ano ,

o que equivale a uma disponibilidade de 99,9767%.

Para o melhor caso, obtido novamente através dos valores menores da taxa de avaria e do tempo de reparação, obteve-se uma indisponibilidade assintótica de:

0,31 minutos por ano ,

o que equivale a uma disponibilidade de 99,9999%.

Na tabela 4.12 é feito um resumo dos resultados obtidos para as diferentes cargas.

Tabela 4.12- Resultados obtidos para a indisponibilidade das cargas

Indisponibilidade Cargas	Pior Caso	Melhor Caso
C1	127,93 minutos	3,32 minutos
C2	0,49 minutos	$2,56 \times 10^{-5}$ minutos
C3	122,62 minutos	0,31 minutos

Através dos gráficos traçados para a análise de sensibilidade pode verificar-se que, para todas as cargas, a variação das taxas de avaria e reparação da rede não provoca uma variação muito significativa na indisponibilidade das cargas. Este resultado está de acordo com o esperado.

Na realidade, a falha individual da rede de alimentação não leva à avaria do sistema. Como já foi referido, as cargas apenas ficam inoperacionais se, juntamente com a rede, os grupos de UPS também falharem, pelo que a variação da taxa de avaria da rede e do tempo em que se encontra em reparação não produzirá uma variação muito elevada na indisponibilidade.

Note-se no entanto, que a variação da indisponibilidade com o tempo de reparação da rede não é linear, tendo tendência a, quando o tempo de reparação tende para infinito, isto

é, quando a taxa de reparação diminui, aumentar mais significativamente. Para tempos pequenos, não é verificada grande variação na indisponibilidade das cargas.

Com estes resultados é também possível verificar que as taxas associadas às fontes têm uma influência elevada na indisponibilidade das cargas, em especial, das do tipo C1 e C3. Este resultado está também de acordo com o esperado, uma vez que para estas cargas este componente é um *single point of failure*.

Analisando a diferença existente entre o melhor e o pior caso para a indisponibilidade das cargas, verifica-se que esta é bastante elevada para todas as situações. Este resultado reforça a conclusão de que as taxas de avaria e reparação destes componentes têm uma influência significativa na indisponibilidade das cargas.

Deve, no entanto, ter-se em conta que estes resultados possuem alguma incerteza, não só pelo facto de os valores utilizados para as taxas de avaria e reparação dos componentes serem estimados uma vez que os dados existentes eram limitados, mas também por algumas considerações feitas ao longo deste trabalho, entre as quais:

- O facto de as avarias contabilizadas para o STS não terem sido na realidade avarias do próprio equipamento, mas sim de equipamento(s) a montante deste que o levaram a disparar provocando a interrupção do circuito de alimentação das cargas do tipo C1;
- As avarias contabilizadas para as UPS Siel terem ocorrido antes da instalação das UPS Aros (reestruturação do sistema de alimentação ininterrupta que ocorreu em 2007). Embora esta contabilização tenha permitido a estimativa das taxas de avaria e reparação destes componentes, aumentou a indisponibilidade do sistema.

4.4.3- Análise comparativa de indisponibilidade com o sistema antigo

O sistema de alimentação ininterrupta que tem vindo a ser analisado existe na refinaria apenas desde 2007. Assim realizou-se uma análise comparativa da indisponibilidade das cargas deste, com o existente anteriormente na Refinaria de Matosinhos.

Antes da referida reestruturação as cargas críticas tinham a sua alimentação assegurada apenas pelo grupo UPS Siel. A configuração deste sistema encontra-se esquematizada na figura 4.27.

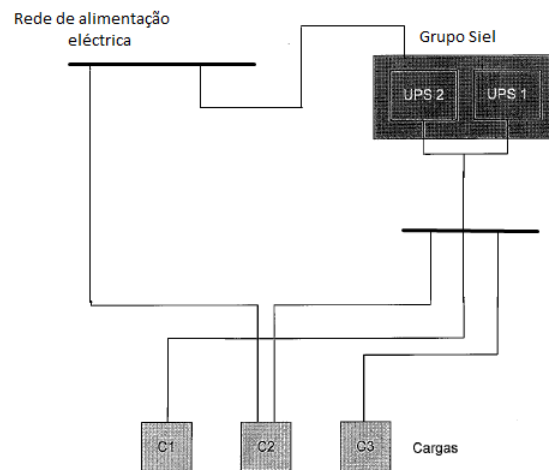


Figura 4.27 - Esquema de configuração do sistema de alimentação ininterrupta da RM anterior a 2007

Como se pode verificar, as cargas C1 e C3 eram alimentadas da mesma forma, isto é através do grupo UPS Siel, situação idêntica à actualmente utilizada para as cargas C3. As cargas C2, pelo facto de possuírem duas fontes de alimentação, eram alimentadas através da rede e do grupo Siel.

Verifica-se então que o sistema para as cargas C1 e C3 do sistema de alimentação ininterrupta antigo é o mesmo que para as cargas C3 do sistema actual, obtendo-se um modelo igual para as duas situações (modelo da figura 4.13). Para as cargas C2 o sistema passa a ser constituído apenas por duas UPS Siel, pela rede e pelas fontes de alimentação. Assim, para as cargas se encontrarem indisponíveis é necessário que ambas as UPS falhem simultaneamente com a rede de alimentação, ou que as duas fontes de alimentação falhem em simultâneo.

Para o sistema voltar a estar operacional, basta que a rede de alimentação volte a estar operacional juntamente com uma das fontes de alimentação.

Obtém-se assim, o conjunto de condições esquematizado na figura 4.28.

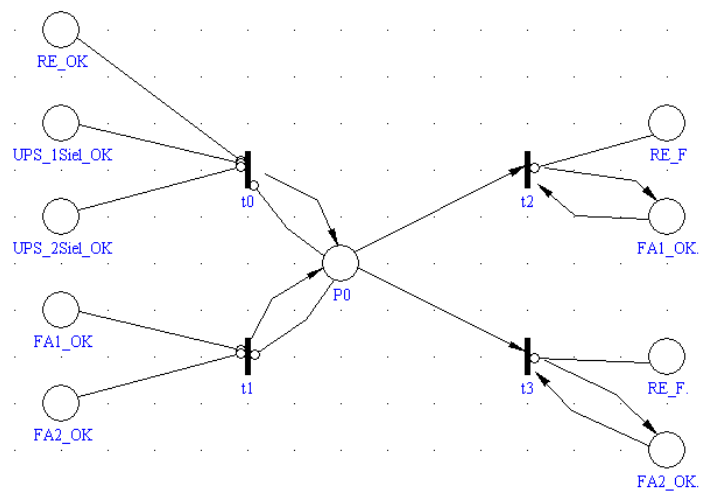


Figura 4.28- Condições utilizadas para obter a indisponibilidade do sistema das cargas C2 para o sistema de alimentação ininterrupta antigo

Para esta análise utilizaram-se os valores que, na secção anterior, se provaram ser o pior caso para as taxas de avaria e reparação da rede e das fontes de alimentação das cargas.

Assim, para as cargas C1 obteve-se uma indisponibilidade no pior caso assintótica de:

122,62 minutos por ano ,

e no melhor caso de:

0,31 minutos por ano .

Para as cargas C2, no pior caso, obteve-se uma indisponibilidade de:

2,03 minutos por ano ,

e no melhor caso,

$1,57 \times 10^{-3}$ minutos por ano .

A indisponibilidade das cargas C3 manteve-se igual à do sistema actual, uma vez que a configuração do seu sistema não sofreu qualquer alteração.

Na tabela 4.13 encontra-se a comparação entre os resultados de indisponibilidade obtidos para o melhor e o pior caso antes e depois da reestruturação.

Tabela 4.13- Resultados obtidos para a indisponibilidade das cargas antes e depois da reestruturação

Indisponibilidade Cargas	Pior Caso (min.)		Melhor Caso (min.)	
	Antes 2007	Actual	Antes 2007	Actual
C1	122,62	127,93	0,31	3,32
C2	2,03	0,49	$1,57 \times 10^{-3}$	$2,56 \times 10^{-5}$
C3	122,62	122,62	0,31	0,31

Verifica-se assim que a indisponibilidade das cargas C1 aumentou com a reestruturação do sistema. No que diz respeito às cargas C2 houve uma diminuição de indisponibilidade. Nas cargas C3 não se verifica qualquer alteração.

Através destes resultados pode concluir-se que a adição do STS ao sistema das cargas C1 aumentou a indisponibilidade das cargas, uma vez que este componente é um SPOF do sistema. Já no caso das cargas C2, esta reestruturação foi positiva, tendo aumentado a disponibilidade destas.

Para esta análise foram, novamente, utilizadas as taxas de avaria e reparação estimadas no início do presente capítulo, o que introduz alguma incerteza nos resultados obtidos.

4.5- Conclusões

No decorrer do presente capítulo foram obtidas as taxas de avaria dos componentes constituintes do sistema em análise, bem como a indisponibilidade associada às diversas cargas críticas.

Variando os parâmetros as taxas de avaria e reparação da rede e das fontes de alimentação das cargas, e a taxa relativa à colocação do STS em bypass verificou-se que os valores que produziam o maior valor de indisponibilidade do sistema eram os relativos às maiores taxas de avaria e menores taxas de reparação, tal como esperado. De facto, o sistema encontrar-se-á mais tempo indisponível se o número de falhas dos seus componentes for elevado, em especial se estes forem SPOF, tal como o STS. Quanto maior for o tempo de reparação das avarias também maior será o tempo no qual o sistema se encontra indisponível, uma vez que, durante este processo o componente não se encontra em funcionamento.

Com os resultados obtidos foi possível verificar que o sistema com menor indisponibilidade (maior disponibilidade) é o referente às cargas C2. Isto deve-se não só ao facto de possuir dois grupos de UPS e duas fontes de alimentação (ambos redundantes) mas também à ausência de um SPOF.

O sistema das cargas C1 possui uma indisponibilidade, embora maior, muito próxima do das cargas C3. Embora estas cargas, tal como as C3, possuam apenas uma fonte de alimentação, a qual é considerada um *single point of failure* em ambos, tem um outro componente crítico, o STS (também um SPOF) o que aumenta a sua indisponibilidade. Este resultado levou a concluir que o STS é o componente mais crítico do sistema.

Analizada a disponibilidade do sistema de alimentação ininterrupta verificou-se que a reestruturação, realizada em 2007, aumentou a disponibilidade das cargas do tipo C2. Concluiu-se também que a indisponibilidade das cargas C1 aumentou, o que confirma a conclusão retirada de que o STS é o elemento mais crítico do sistema.

Deve, no entanto, ser tido em atenção o facto de estes resultados terem alguma incerteza associada que advém do facto de as taxas de avaria e reparação utilizadas terem sido estimadas uma vez que os dados existentes eram limitados.

Capítulo 5

Conclusões

Com este trabalho, foi possível proceder a uma análise cuidada do sistema de alimentação ininterrupta da Refinaria de Matosinhos, tendo-se obtido alguns resultados e tirado conclusões que se consideram importantes relativas à indisponibilidade do mesmo.

A análise qualitativa, realizada inicialmente através da análise FMEA, permitiu examinar com elevada precisão quais os modos de avaria dos componentes que constituem o sistema, listar as causas que podem levar à sua ocorrência e analisar os seus efeitos tanto ao nível do próprio componente como do sistema global. No entanto, uma vez que a FMEA não permite a detecção de avarias com origem em eventos combinados, foi realizada a FTA. Considera-se que o uso conjunto destas metodologias, não só facilitou a compreensão do funcionamento do sistema e da forma como a sua avaria pode ser alcançada (para os diferentes tipos de cargas críticas), mas também permitiu o desenvolvimento de uma listagem detalhada dos modos de avaria dos seus componentes (anexo D).

A fase seguinte consistiu numa análise quantitativa, na qual foi possível obter a indisponibilidade do sistema para os diferentes tipos de cargas críticas. Nesta fase do trabalho foi necessário proceder a uma simplificação do sistema, assumir alguns pressupostos e estimar alguns valores relativos às taxas de avaria e reparação dos componentes do sistema. A partir dos resultados obtidos, realizaram-se alguns testes relativos às taxas de avaria, de forma a verificar a adequação do valor estimado e se, para todos os componentes, esta pode ser considerada constante.

Por fim, procedeu-se à avaliação do funcionamento do sistema em Redes de Petri Estocásticas, para os diferentes tipos de carga, através da ferramenta de modelação SHARPE, obtendo-se a indisponibilidade dos diferentes componentes do sistema.

Uma vez que não existiam dados relativos às taxas de avaria e reparação da rede e das fontes de alimentação das cargas, nem à taxa associada à colocação do STS em bypass, consideraram-se estes parâmetros como variáveis do modelo. Assim, verificando quais os valores de cada taxa, dentro do gama de valores estabelecida, que resultavam na maior e na

menor indisponibilidade do sistema, calculou-se o pior e o melhor caso, respectivamente, para a indisponibilidade dos diferentes tipos de carga.

Com os resultados obtidos foi possível verificar que o sistema com menor indisponibilidade (maior disponibilidade) é o referente às cargas C2. Os sistemas das cargas C1 e das C3 possuem indisponibilidade muito próximas, sendo no entanto o primeiro o que possui um valor mais elevado. Este resultado levou a concluir que o STS é o componente mais crítico do sistema consistindo num *single point of failure* para as referidas cargas.

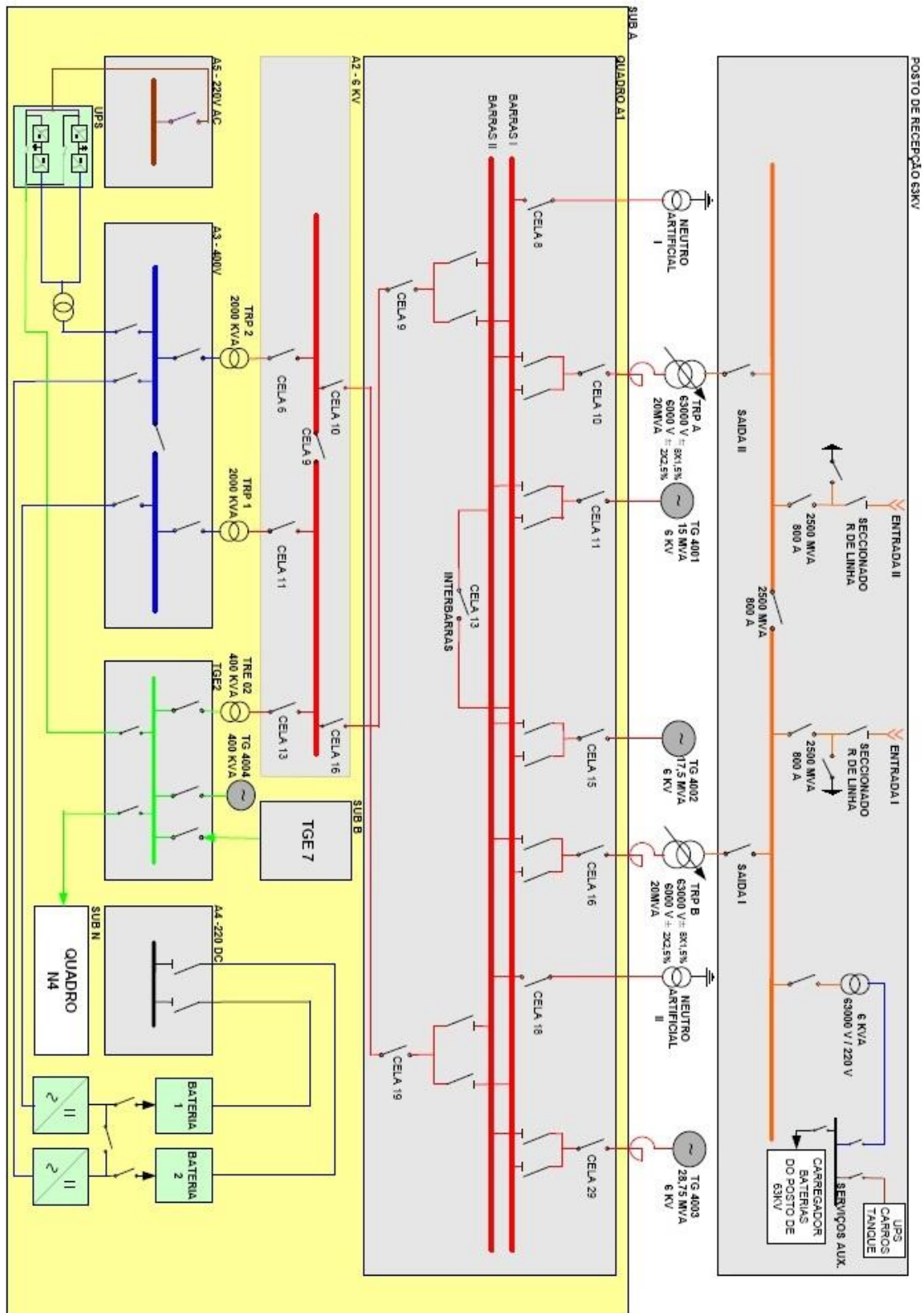
Analisada a disponibilidade do sistema de alimentação ininterrupta verificou-se que a reestruturação, realizada em 2007, aumentou a disponibilidade das cargas do tipo C2. Concluiu-se também que a indisponibilidade das cargas C1 aumentou, confirmando a conclusão retirada de que o STS é o elemento mais crítico do sistema.

Embora o intuito deste trabalho não fosse a proposta de melhorias do sistema, visto julgar-se que este se encontra bem estruturado, pensa-se que foi útil numa perspectiva de verificar o seu comportamento ao nível de disponibilidade e determinar quais os seus elementos mais críticos. Considera-se também que a listagem completa dos modos de avaria dos grupos UPS, UPS, componentes UPS e do STS poderá vir a ser uma mais-valia na prevenção, diagnóstico e mitigação de futuras avarias.

Anexo A

Esquema de interligações do posto de recepção de 63kV e subestação A

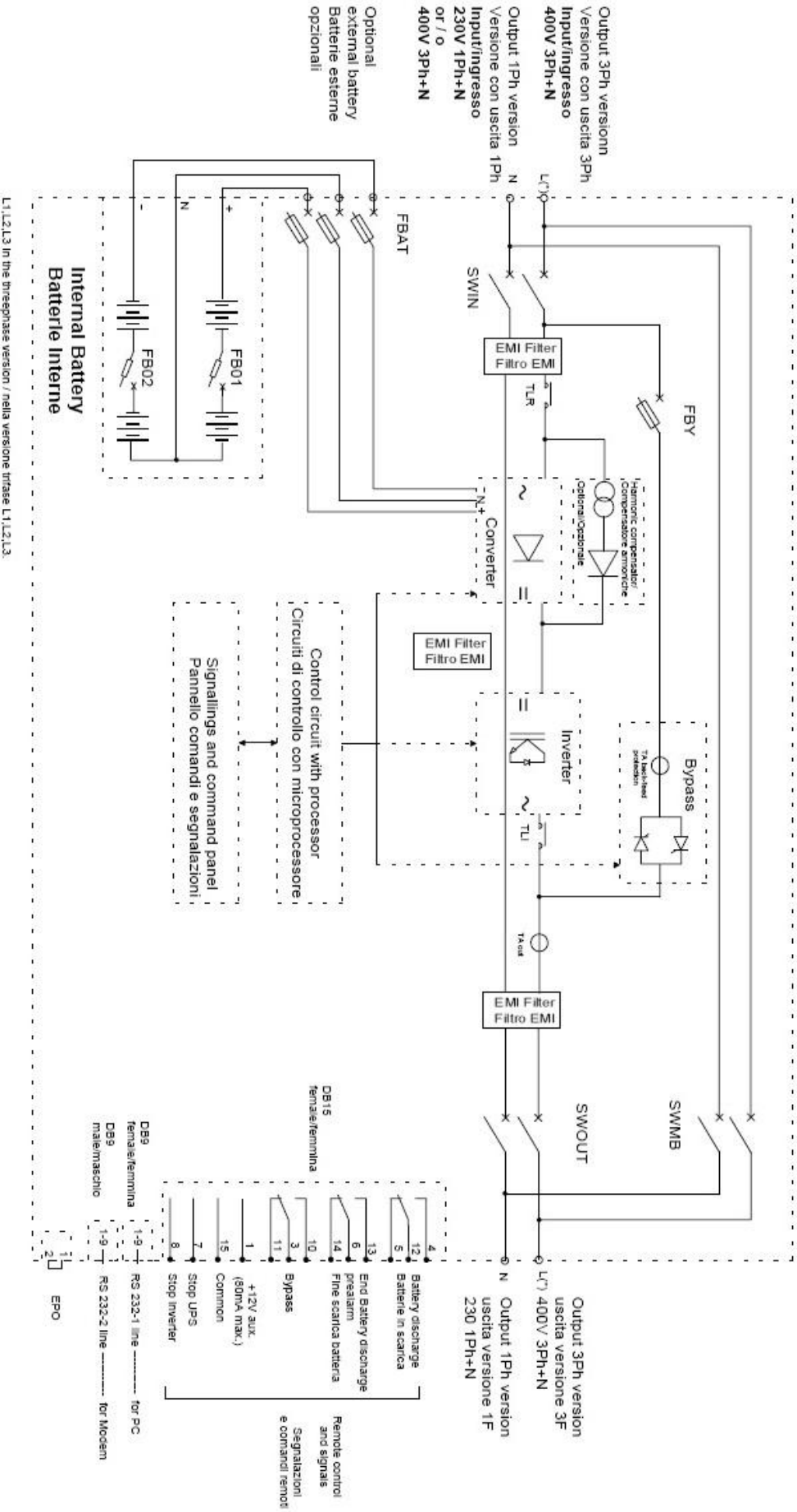
(esquema encontra-se na página seguinte)



Anexo B

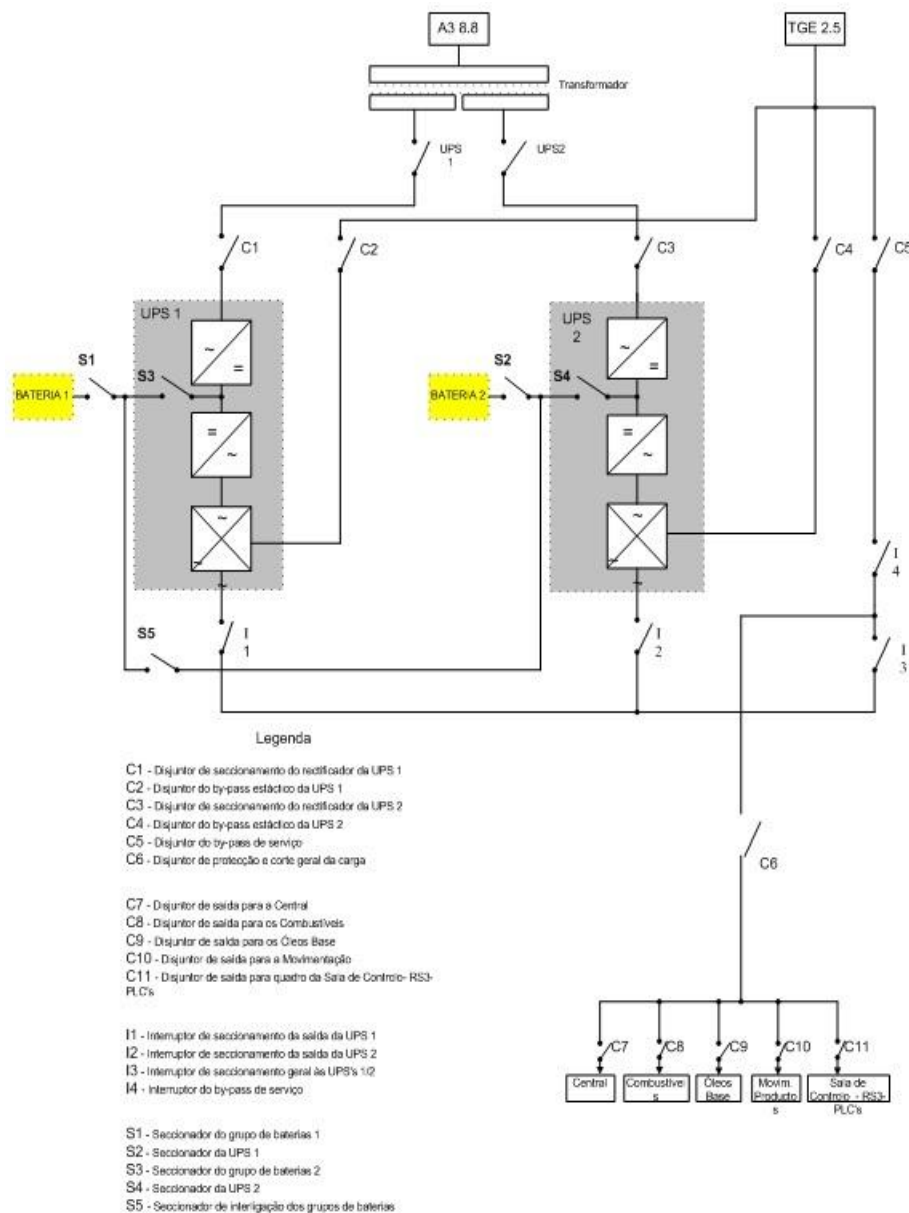
Esquema eléctrico da UPS Aros

(esquema encontra-se na página seguinte)



Anexo C

Esquema de configuração do grupo UPS Siel



Anexo D

Tabelas FMEA

Grupo UPS Aros

Componente	Função	Modo (s) de Avaria	Causa (s)	Efeito (s) no subsistema	Efeito (s) no sistema
UPS1 Aros	Fornecer tensão às cargas em caso de falha da rede de alimentação eléctrica	Tempo de autonomia reduzido	- Sobrecarga - Bateria em descarga - Bateria em fim de vida	- Não existe qualquer efeito imediato no grupo - Caso a UPS 1 fique sem autonomia a UPS 2 passa a fornecer tensão - Caso a UPS 2 também falhe o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha da rede a UPS 1 pode não conseguir garantir a alimentação ininterrupta da carga, situação na qual a UPS 2 passa a alimentar todas as cargas - Caso a UPS 2 também falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo
		Não fornece tensão	- Bateria descarregada - Bateria danificada - Curto-circuito a jusante (a UPS sai do circuito para se proteger) - Sem tensão de entrada - Falha no rectificador - Falha no inversor - Falha na placa de controlo	- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 2 - Em caso de falha da UPS 2 o grupo deixa de fornecer tensão	- Não existe qualquer efeito imediato nas cargas uma vez que estas passam a ser alimentadas pela UPS 2 - Caso a UPS 2 também falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo

		Fornece tensão superior à gama prevista	- Falha no inversor - Falha no rectificador - Falha na placa de controlo - Falha nos dispositivos de protecção - Tensão da bateria fora da gama prevista - Tensão de entrada fora da gama prevista	- Caso a falha seja detectada pelos dispositivos de protecção da UPS esta é automaticamente transferida para bypass e o grupo passa a fornecer tensão através da UPS 2 - Caso a falha seja detectada e a UPS 2 falhe o grupo não fornece tensão - Caso a falha não seja detectada o grupo UPS fornece uma tensão superior à gama prevista	- Se os dispositivos de protecção da UPS 1 actuarem devidamente não se verifica qualquer efeito imediato na carga, uma vez que passa a ser alimentada pela UPS 2. - Caso a falha seja detectada e a UPS 2 também falhe, o grupo deixa de alimentar as cargas - Caso a falha passe para jusante poderá ou não ser detectada pelos dispositivos de protecção do quadro de distribuição o que faz com que as cargas deixem de ser alimentadas pelo grupo ou possam ficar danificadas (respectivamente)
		Fornece tensão inferior à gama prevista		- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 2 - Caso a UPS 2 falhe o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Caso a UPS 2 falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo
UPS 2 Aros	Fornecer tensão às cargas em caso de falha da rede de alimentação eléctrica	Tempo de autonomia reduzido	- Sobrecarga - Bateria em descarga - Bateria em fim de vida	- Não existe qualquer efeito imediato no grupo - Caso a UPS 2 fique sem autonomia a UPS 1 passa a fornecer tensão - Caso a UPS 1 também falhe o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha da rede a UPS 2 pode não conseguir garantir a alimentação ininterrupta da carga, situação na qual a UPS 1 passa a alimentar todas as cargas - Caso a UPS 1 também falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo
		Não fornece tensão	- Bateria descarregada - Bateria danificada - Curto-circuito a jusante (a UPS sai do circuito para se proteger) - Sem tensão de entrada - Falha no rectificador - Falha no inversor - Falha na placa de controlo	- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 1 - Em caso de falha da UPS 1 o grupo deixa de fornecer tensão	- Não existe qualquer efeito imediato nas cargas uma vez que estas passam a ser alimentadas pela UPS 1 - Caso a UPS 1 também falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo

		Fornece tensão superior à gama prevista	- Falha no inversor - Falha no rectificador - Falha na placa de controlo - Falha nos dispositivos de protecção - Tensão da bateria fora da gama prevista - Tensão de entrada fora da gama prevista	- Caso a falha seja detectada pelos dispositivos de protecção da UPS esta é automaticamente transferida para bypass e o grupo passa a fornecer tensão através da UPS 1 - Caso a falha seja detectada e a UPS 1 falhe o grupo não fornece tensão - Caso a falha não seja detectada o grupo UPS fornece uma tensão superior à gama prevista	- Se os dispositivos de protecção da UPS 2 actuarem devidamente não se verifica qualquer efeito imediato na carga, uma vez que passa a ser alimentada pela UPS 1. - Caso a falha seja detectada e a UPS 1 também falhe, o grupo deixa de alimentar as cargas - Caso a falha passe para jusante poderá ou não ser detectada pelos dispositivos de protecção do quadro de distribuição o que faz com que as cargas deixem de ser alimentadas pelo grupo ou possam ficar danificadas (respectivamente)
		Fornece tensão inferior à gama prevista		- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 1 - Caso a UPS 1 falhe o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Caso a UPS 1 falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo

Grupo UPS Siel

Componente	Função	Modo (s) de Avaria	Causa (s)	Efeito (s) no subsistema	Efeito (s) no sistema
UPS1 Siel	Fornecer tensão às cargas em caso de falha da rede de alimentação o eléctrica	Tempo de autonomia reduzido	- Sobrecarga - Bateria em descarga - Bateria em fim de vida	- Não existe qualquer efeito imediato no grupo - Caso a UPS 1 fique sem autonomia a UPS 2 passa a fornecer tensão - Caso a UPS 2 também falhe, o grupo deixa de fornecer tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha da rede a UPS 1 pode não conseguir garantir a alimentação ininterrupta da carga, caso no qual a UPS 2 passa a alimentar todas as cargas - Caso a UPS 2 também falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo
		Não fornece tensão	- Bateria descarregada - Bateria danificada - Curto-circuito a jusante (a UPS sai do circuito para se proteger) - Sem tensão de entrada - Falha no rectificador - Falha no inversor - Falha na placa de controlo	- Não existe qualquer efeito imediato no grupo - Caso a UPS 1 fique sem autonomia a UPS 2 passa a fornecer tensão - Caso a UPS 2 também falhe o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha da rede a UPS 1 pode não conseguir garantir a alimentação ininterrupta da carga, situação na qual a UPS 2 passa a alimentar todas as cargas - Caso a UPS 2 também falhe a alimentação ininterrupta das cargas não é garantida
		Fornecer tensão superior à gama prevista	- Falha no inversor - Falha no rectificador	- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 2 - Em caso de falha da UPS 2 o grupo deixa de fornecer tensão	- Não existe qualquer efeito imediato nas cargas uma vez que estas passam a ser alimentadas pela UPS 2 - Caso a UPS 2 também falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo
		Fornecer tensão inferior à gama prevista	- Falha no rectificador - Falha na placa de controlo - Falha nos dispositivos de protecção - Tensão da bateria fora da gama prevista - Tensão de entrada fora da gama prevista	- Caso a falha seja detectada pelos dispositivos de protecção da UPS esta é automaticamente transferida para bypass e o grupo passa a fornecer tensão através da UPS 2 - Caso a falha seja detectada e a UPS 2 falhe o grupo não fornece tensão - Caso a falha não seja detectada o grupo UPS fornece uma tensão superior à gama prevista	- Se os dispositivos de protecção da UPS 1 actuarem devidamente não se verifica qualquer efeito imediato na carga, uma vez que passa a ser alimentada pela UPS 2. - Caso a falha seja detectada e a UPS 2 também falhe, o grupo deixa de alimentar as cargas - Caso a falha passe para jusante poderá ou não ser detectada pelos dispositivos de protecção do quadro de distribuição o que faz com que as cargas deixem de ser alimentadas pelo grupo ou possam ficar danificadas (respectivamente)

UPS 2 Siel	Fornecer tensão às cargas em caso de falha da rede de alimentação eléctrica	Tempo de autonomia reduzido	- Sobrecarga - Bateria em descarga - Bateria em fim de vida	- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 2 - Caso a UPS 2 falhe o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Caso a UPS 2 falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo
		Não fornece tensão	- Bateria descarregada - Bateria danificada - Curto-circuito a jusante (a UPS sai do circuito para se proteger) - Sem tensão de entrada - Falha no rectificador - Falha no inversor - Falha na placa de controlo	- Não existe qualquer efeito imediato no grupo - Caso a UPS 2 fique sem autonomia a UPS 1 passa a fornecer tensão - Caso a UPS 1 também falhe o grupo deixa de fornecer tensão	- Não há qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha da rede a UPS 2 pode não conseguir garantir a alimentação ininterrupta da carga, situação na qual a UPS 1 passa a alimentar todas as cargas - Caso a UPS 1 também falhe a alimentação ininterrupta das cargas não é garantida
		Fornecer tensão superior à gama prevista		- O grupo passa a fornecer tensão através da UPS 1 - Em caso de falha da UPS 1 o grupo deixa de fornecer tensão	- Não existe qualquer efeito imediato nas cargas uma vez que estas passam a ser alimentadas pela UPS 1 - Caso a UPS 1 também falhe as cargas deixam de ser alimentadas pelo grupo
		Fornecer tensão inferior à gama prevista	- Falha no inversor - Falha no rectificador - Falha na placa de controlo - Falha nos dispositivos de protecção - Tensão da bateria fora da gama prevista - Tensão de entrada fora da gama prevista	- Caso a falha seja detectada pelos dispositivos de protecção da UPS esta é automaticamente transferida para bypass e o grupo passa a fornecer tensão através da UPS 1 - Caso a falha seja detectada e a UPS 1 falhe o grupo não fornece tensão - Caso a falha não seja detectada o grupo UPS fornece uma tensão superior à gama prevista	- Se os dispositivos de protecção da UPS 2 actuarem devidamente não se verifica qualquer efeito imediato na carga, uma vez que passa a ser alimentada pela UPS 1. - Caso a falha seja detectada e a UPS 1 também falhe, o grupo deixa de alimentar as cargas - Caso a falha passe para jusante poderá ou não ser detectada pelos dispositivos de protecção do quadro de distribuição o que faz com que as cargas deixem de ser alimentadas pelo grupo ou possam ficar danificadas (respectivamente)

UPS

Componente	Função	Modo (s) de Avaria	Causa (s)	Efeito (s) no subsistema	Efeito (s) no sistema
UPS Aros	Fornecer tensão às cargas em caso de falha da rede de alimentação eléctrica	Tempo de autonomia reduzido	- Sobrecarga - Bateria em descarga - Bateria em fim de vida	- Não se verifica qualquer efeito imediato à saída da UPS - Em caso de falha de tensão da rede, a UPS deixa de fornecer tensão ao fim de algum tempo	- As cargas não sofrem qualquer efeito imediato - Em caso de falha de tensão da rede, a alimentação das cargas depende do tempo de autonomia da UPS
		Não fornece tensão	- Bateria descarregada - Bateria danificada - Curto-circuito a jusante (a UPS sai do circuito para se proteger) - Sem tensão de entrada - Falha no rectificador - Falha no inversor - Falha na placa de controlo	Não há tensão à saída da UPS	- As cargas não são alimentadas pela UPS em questão
		Fornecer tensão superior à gama prevista	- Falha no inversor - Falha no rectificador - Falha na placa de controlo	UPS fornece à saída uma tensão superior ao limite nominal	- Caso os dispositivos de protecção do quadro de distribuição actuem, as cargas deixam de ser alimentadas pela UPS em questão - Caso os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuem, as cargas podem ficar danificadas
		Fornecer tensão inferior à gama prevista	- Falha nos dispositivos de protecção - Tensão da bateria fora da gama prevista - Tensão de entrada fora da gama prevista	UPS fornece à saída uma tensão inferior ao limite nominal	- As cargas não são alimentadas pela UPS em questão

UPS Siel	Fornecer tensão às cargas em caso de falha da rede de alimentação eléctrica	Tempo de autonomia reduzido	- Sobrecarga - Bateria em descarga - Bateria em fim de vida	- Não é verificado nenhum efeito imediato à saída da UPS - Em caso de falha de tensão da rede, a UPS deixa de fornecer tensão ao fim de algum tempo	- As cargas não sofrem qualquer efeito imediato - Em caso de falha de tensão da rede, a alimentação das cargas depende do tempo de autonomia da UPS
		Não fornece tensão	- Bateria descarregada - Bateria danificada - Curto-circuito a jusante (a UPS sai do circuito para se proteger) - Sem tensão de entrada - Falha no rectificador - Falha no inversor - Falha na placa de controlo	Não há tensão ao limite nominal	- As cargas não são alimentadas pela UPS em questão
		Fornecer tensão superior à gama prevista	- Falha no inversor - Falha no rectificador - Falha na placa de controlo - Falha nos dispositivos de protecção - Tensão da bateria fora da gama prevista	UPS fornece à saída uma tensão superior à gama prevista	- Caso os dispositivos de protecção do quadro de distribuição actuem as cargas deixam de ser alimentadas pela UPS em questão - Caso os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuem as cargas podem ficar danificadas
		Fornecer tensão inferior à gama prevista	- Tensão de entrada fora da gama prevista	UPS fornece à saída uma tensão inferior ao limite nominal	- As cargas não são alimentadas pela UPS em questão

Componentes UPS Siel

Componente	Função	Modo (s) de Avaria	Causa (s)	Efeito (s) no componente	Efeito (s) no subsistema	Efeito (s) no sistema
Bateria	Dispositivo de armazenamento de energia eléctrica, que em caso de falha de alimentação, fornece energia às cargas	Sem tensão	- Falha na tensão de entrada - Sobrecarga - Falha no sistema de carga da bateria - Bateria em fim de vida - Alimentação realizada por bypass (bateria não é carregada) - Curto-circuito por junção dos 2 eléctrodos, devido a má fixação dos mesmos ou falha humana - Dano dos eléctrodos (por corrosão por exemplo) - Falta de electrólito (não há condutividade) - Temperatura ambiente do local de instalação superior a 35°C (sobreaquecimento) - Não ocorrência de descargas controladas periódicas - Descarga completa da bateria - Excesso de humidade relativa no local de instalação	Não há tensão nos terminais da bateria	- Não se verifica qualquer efeito imediato na saída da UPS - Em caso de falha de tensão da rede ou do rectificador a UPS deixa de fornecer tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha de tensão da rede, as cargas deixam de ser alimentadas
		Tensão inferior ao mínimo exigido		A tensão nos terminais da bateria é menor do que a necessária	- Não se verifica qualquer efeito imediato na saída da UPS - Em caso de falha de tensão da rede ou do rectificador a UPS deixa de fornecer tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha de tensão da rede, as cargas deixam de ser alimentadas

Rectificador	Converte a tensão alternada em tensão contínua para carregar a bateria e fornecer tensão ao inversor	Sobreaquecimento	- Temperatura ambiente superior a 40°C - Temperatura do dissipador do rectificador superior a 75°C - Ventoinhas do rectificador paradas	Rectificador desliga-se	- Não se verifica qualquer efeito imediato na UPS, uma vez que quando o rectificador está desligado, esta fornece tensão através da bateria - A bateria não é carregada o que faz com que a autonomia da UPS diminua ao longo do tempo	- Não se verifica qualquer efeito imediato na carga - A alimentação das cargas está dependente da autonomia da bateria
		Tensão de saída superior à gama prevista	- Falha na lógica de controlo - Curto-circuito	Rectificador fornece tensão superior ao limite nominal	- Se a sobretensão for detectada pelos dispositivos de protecção da UPS, esta passa a fornecer tensão através da linha de bypass, situação na qual, em caso de falha de tensão da rede ou da linha de bypass, a UPS deixa de fornecer tensão - Se a sobretensão não for detectada, a UPS vai fornecer tensão superior ao limite nominal	- Se a falha for detectada pela UPS não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas excepto se existir alguma falha na rede ou na linha de bypass, situação na qual estas deixam de ser alimentadas - Se a falha não for detectada pelos dispositivos de protecção da UPS nem pelos do quadro de distribuição as cargas podem sofrer danos - Se o quadro de distribuição detectar a falha, as cargas deixam de ser alimentadas
		Tensão de saída inferior à gama prevista		Rectificador fornece tensão inferior ao limite nominal	- Não se verifica qualquer efeito imediato na saída da UPS - A UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass - Em caso de falha de tensão da rede ou da linha de bypass, a UPS deixa de fornecer tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Se ocorrer alguma falha na linha de bypass ou de tensão da rede as cargas deixam de ser alimentadas

		Sem tensão	- Tensão de entrada inferior a 30% da tensão nominal - Sobretensão na entrada - Fusíveis internos e de entrada do rectificador queimados - Rotação de fases incorrecta - Corrente de entrada demasiado elevada	Rectificador encontra-se desligado não fornecendo tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato na saída da UPS - A UPS passa a fornecer tensão através das baterias	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - As cargas deixam de ser alimentadas se a autonomia das baterias se esgotar
Inversor	Converte a tensão contínua em tensão alternada regulada para alimentar as cargas	Tensão de saída superior à gama prevista	- Transformador interno de saída não converte a tensão para o valor nominal correcto para o sistema a jusante	Inversor fornece para jusante tensão superior à admitida	- Se os dispositivos de protecção da UPS não actuarem esta pode fornecer uma tensão superior à prevista - Caso os dispositivos actuem, a UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass, estando o fornecimento de tensão dependente do funcionamento da rede e da linha de bypass	- Caso a UPS forneça uma tensão superior à prevista e os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuem as cargas podem sofrer danos - Caso a UPS forneça tensão através do bypass não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas excepto se a tensão da rede falhar, situação na qual as cargas ficam sem alimentação
		Tensão de saída inferior à gama prevista	- Transformador interno de saída não converte a tensão para o valor nominal correcto para o sistema a jusante	Inversor fornece para jusante tensão inferior à admitida	- A UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha de tensão da rede as cargas deixam de ser alimentadas
		Sem tensão	- Curto-circuito - Tensão de entrada fora da gama prevista	Inversor fornece tensão nula à saída		
		Frequência fora da gama permitida	- Falha no oscilador - Erro na frequência ou na fase entre a tensão do inversor e a de bypass	Inversor é desligado. A conversão de tensão não é realizada		
		Sobreaquecimento	- Temperatura ambiente superior a 40°C - Ventoinhas do inversor paradas - Temperatura do dissipador do inversor superior a 75°C			

Interruptor estático	Permite a comutação instantânea, manual ou automática, da linha de saída do inversor para a linha de bypass (e vice versa)	Não procede á comutação de bypass para a fonte principal	- Sobrecarga - Falha na linha principal - Tensão da bateria fora da gama prevista	- Não há qualquer efeito imediato - Em caso de falha na linha de bypass ou da rede o interruptor deixa passar para jusante tensões inferiores ou superiores ao limite previsto dependendo da falha em questão	- Não se verifica qualquer efeito imediato na UPS - Em caso de falha de tensão da rede a UPS deixa de fornecer tensão para jusante - Em caso de sobretensão na linha de bypass, se os dispositivos de protecção da UPS não actuarem esta fornece tensões superiores ao limite previsto	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Caso a UPS forneça tensões superiores à gama prevista, se os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuarem a carga pode sofrer danos - Se os dispositivos de protecção do quadro de distribuição actuarem, em caso de falha na UPS a carga deixa de ser alimentada
		Não procede á comutação da linha principal para bypass	- Sequência de fases da linha de bypass incorrecta - Falha na linha de bypass - Falha da linha de bypass - Disjuntor da linha de bypass aberto	- Não se verifica qualquer efeito imediato - Em caso de falha na linha principal o interruptor deixa passar para jusante tensões inferiores ou superiores ao limite previsto dependendo da situação em questão	- Não se verifica qualquer efeito imediato na UPS - Em caso de falha na linha principal da UPS, o interruptor deixa passar para jusante tensões inferiores ou superiores ao limite previsto dependendo da situação em questão	
Placa de Controlo	Monitorização e controlo dos diferentes componentes da UPS (tensões, correntes, alarmes). Controlo de sinalizações e comandos do painel de controlo	Falha no controlo do rectificador	- Curto-circuito - Sobreaquecimento - Falha de um componente electrónico - Tensão de alimentação da placa incorrecta	Placa deixa de controlar os componentes respectivos bem como as sinalizações e comandos do painel de controlo	- Os componentes da UPS deixam de funcionar devidamente e esta pode não prestar o serviço adequado - O estado da UPS não é visualizado	As cargas podem ou não ser alimentadas dependendo do (s) componente (s) afectados
		Falha no controlo do inversor				
		Falha no controlo de sinalizações e comandos do painel de controlo				
		Falha na sincronização de fases quando ocorre o paralelo entre a linha de bypass e a saída do inversor				

Disjuntor	Aparelho de corte e protecção que actua em situação de defeito	Abre indevidamente, isto é, sem ocorrer qualquer defeito	- Falha no sensor de corrente - Falha interna do disjuntor - Causas humanas	Não há passagem de tensão para jusante	- Se o disjuntor em questão for o de entrada da linha de bypass esta deixa de receber tensão o que implica que, se a UPS estiver, por algum motivo, a fornecer tensão através desta linha deixa de o fazer - Se o disjuntor for o de entrada do rectificador a UPS passa a fornecer tensão através da bateria - Se o disjuntor for o de saída do inversor a UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass	- Se o disjuntor em questão for o de entrada da linha de bypass e a UPS estiver a fornecer tensão através desta linha as cargas deixam de ser alimentadas - Se o disjuntor for o de entrada do rectificador não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas uma vez que estas passam a ser alimentadas através das baterias - Se o disjuntor for o de saída do inversor não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas excepto se ocorrer alguma falha na linha de bypass
		Não abre na ocorrência de defeito	- Contactos colados - Falha no sensor de corrente - Problema no mecanismo de abertura	Caso ocorra um defeito o disjuntor deixa-o passar para jusante	- Não há qualquer efeito imediato na UPS - Se ocorrer algum defeito os componentes da UPS podem ficar danificados	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Se ocorrer algum defeito, caso os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuem, as cargas podem ficar danificadas

Contactor	Aparelho de corte destinado a abertura/ fecho de circuitos em carga	Curto-circuito na bobina	- Sobreaquecimento - Corte dos fios da bobina	Contactor não comuta		
		Circuito aberto	- Sobrecarga - Terminais desligados devido à vibração do circuito electromagnético			
		Contactos indevidamente abertos	- Falha humana - Pressão fraca - Excessos de comutações provocam desgaste prematuro dos contactos	Contactor não consegue fechar	- Se o contactor em falha for o de entrada da UPS esta passará a fornecer tensão através da bateria - Se o contactor em falha for o de saída do inversor a UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Se o contactor em questão for o de entrada do rectificador, a alimentação das cargas está dependente da autonomia das baterias - Se o contactor em questão for o de saída do inversor, a alimentação das cargas está dependente do funcionamento da linha de bypass e da rede
		Contactos indevidamente fechados	- Sobreaquecimento - Falha humana - Contactos colados	Contactor não consegue abrir	- Se o contactor em falha for o de entrada da UPS esta fornece tensão sempre através da linha principal (passando pelo rectificador) - Se o contactor em falha for o de saída do inversor a UPS apenas fornece tensão através do inversor	O efeito nas cargas está dependente da existência ou não de falhas na linha principal.
Display UPS	Visualização de estado do sistema	Inoperacional	- Falha da placa de interface de sinalização	Não permite a visualização do estado do sistema	UPS não fornece informação do seu estado e/ ou alarmes	O sistema continua o seu funcionamento normal

Componentes UPS Aros

Componente	Função	Modo (s) de Avaria	Causa (s)	Efeito (s) no componente	Efeito (s) no subsistema	Efeito (s) no sistema
Bateria	Dispositivo de armazenamento de energia eléctrica, que em caso de falha de alimentação, fornece energia às cargas	Sem tensão	- Falha na tensão de entrada - Sobrecarga - Falha no sistema de carga da bateria - Bateria em fim de vida - Alimentação realizada por bypass (bateria não é carregada) - Curto-circuito por junção dos 2 eléctrodos, devido a má fixação dos mesmos ou falha humana - Dano dos eléctrodos (por corrosão por exemplo)	Não há tensão nos terminais da bateria	- Não se verifica qualquer efeito imediato na UPS - Em caso de falha de tensão da rede ou do rectificador a UPS deixa de fornecer tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha de tensão da rede as cargas deixam de ser alimentadas
		Tensão inferior ao mínimo exigido	- Falta de electrólito (não há condutividade) - Temperatura ambiente do local de instalação superior a 35°C (sobreaquecimento) - Não ocorrência de descargas controladas periódicas - Descarga completa da bateria - Excesso de humidade relativa no local de instalação	A tensão nos terminais da bateria é menor do que a necessária	- Não se verifica qualquer efeito imediato na saída da UPS - Em caso de falha de tensão da rede ou do rectificador a UPS deixa de fornecer tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha de tensão da rede, as cargas deixam de ser alimentadas

Rectificador	Converte a tensão alternada em tensão contínua para carregar a bateria e fornecer tensão ao inversor	Sobreaquecimento	- Temperatura ambiente demasiado elevada - Temperatura do dissipador do rectificador demasiado elevada - Ventoinhas do rectificador paradas	Rectificador desliga-se e reinicia automaticamente	- Não se verifica qualquer efeito imediato na UPS uma vez que, quando o rectificador está desligado, esta fornece tensão através da bateria - A bateria não é carregada o que faz com que a autonomia da UPS diminua ao longo do tempo	- Não se verifica qualquer efeito imediato na carga - A alimentação das cargas está dependente da autonomia da bateria (quando o rectificador se encontra desligado)
		Tensão de saída superior à gama prevista	- Falha na lógica de controlo - Curto-circuito	Rectificador fornece tensão superior ao limite nominal	- Se a sobretensão for detectada pelos dispositivos de protecção da UPS esta passa a fornecer tensão através da linha de bypass - Se a sobretensão não for detectada a UPS vai fornecer tensão superior ao limite nominal	- Se a falha for detectada pela UPS não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas excepto se existir alguma falha na rede ou na linha de bypass situação na qual estas deixam de ser alimentadas - Se a falha não for detectada pelos dispositivos de protecção da UPS nem pelos do quadro de distribuição as cargas podem sofrer danos - Se o quadro de distribuição detectar a falha as cargas deixam de ser alimentadas
		Tensão de saída inferior à gama prevista		Rectificador fornece tensão inferior ao limite nominal	- Não se verifica qualquer efeito imediato na saída da UPS - A UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass - Em caso de falha de tensão da rede ou da linha de bypass, a UPS deixa de fornecer tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Se ocorrer alguma falha na linha de bypass ou de tensão da rede as cargas deixam de ser alimentadas

		Sem tensão	- Tensão de entrada inferior à nominal - Sobre tensão na entrada - Fusíveis internos e de entrada do rectificador queimados - Rotação de fases incorrecta - Corrente de entrada demasiado elevada	Rectificador encontra-se desligado não fornecendo tensão	- Não se verifica qualquer efeito imediato na saída da UPS - A UPS passa a fornecer tensão através das baterias	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - As cargas deixam de ser alimentadas se a autonomia das baterias se esgotar
Inversor	Converte a tensão contínua em tensão alternada regulada para alimentar a carga	Tensão de saída superior à gama prevista	- Curto- circuito - Falha na lógica de controlo - Carga superior ao valor nominal	Inversor fornece para jusante tensão superior à admitida	- Se os dispositivos de protecção da UPS não actuarem esta pode fornecer uma tensão superior à prevista - Caso os dispositivos actuem, a UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass, estando o fornecimento de tensão dependente do funcionamen to da rede e da linha de bypass	- Caso a UPS forneça uma tensão superior à prevista e os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuem as cargas podem sofrer danos - Caso a UPS forneça tensão através do bypass não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas excepto se a tensão da rede falhar, situação na qual as cargas ficam sem alimentação
		Tensão de saída inferior à gama prevista		Inversor fornece para jusante tensão inferior à admitida	A UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha de tensão da rede as cargas deixa de ser alimentada
		Sem tensão	Inversor fornece tensão nula à saída			
		Frequência fora da gama permitida	Inversor é desligado. A conversão de tensão não é realizada			
		Sobreaquecimento		- Falha no oscilador - Erro na frequência ou na fase entre a tensão do inversor e a de bypass - Temperatura ambiente demasiado elevada - Ventoinhas do inversor paradas - Temperatura do dissipador do inversor demasiado elevada		

Interruptor estático	Permite a comutação instantânea, manual ou automática, da linha de saída do inversor para a linha de bypass (e vice versa)	Não procede á comutação de bypass para a fonte principal	- Sobrecarga - Falha na linha principal - Tensão da bateria fora da gama prevista	- Não se verifica qualquer efeito imediato - Em caso de falha na linha de bypass ou da rede o interruptor deixa passar para jusante tensões inferiores ou superiores ao limite previsto dependendo da falha em questão	- Não se verifica qualquer efeito imediato na UPS - Em caso de falha de tensão da rede a UPS deixa - Em caso de sobretensão na linha de bypass, se os dispositivos de protecção da UPS não actuarem, esta fornece tensões superiores ao limite previsto	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Caso a UPS forneça tensões superiores à gama prevista, se os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuarem a carga pode sofrer danos
		Não procede á comutação da linha principal para bypass	- Sequência de fases da linha de bypass incorrecta - Falha na linha de bypass - Falha da linha de bypass - Disjuntor da linha de bypass aberto	- Não se verifica qualquer efeito imediato - Em caso de falha na linha principal o interruptor deixa passar para jusante tensões inferiores ou superiores ao limite previsto dependendo da situação em questão	- Não se verifica qualquer efeito imediato na UPS - Em caso de falha na linha principal da UPS o interruptor deixa passar para jusante tensões inferiores ou superiores ao limite previsto dependendo da situação em questão	- Se os dispositivos de protecção do quadro de distribuição actuarem, em caso de falha na UPS a carga deixa de ser alimentada
Placa de Controlo	Monitorizaçã o e controlo dos diferentes componentes da UPS (tensões, correntes, alarmes). Controlo de sinalizações e comandos do painel de controlo	Falha no controlo do rectificador	- Curto-circuito - Sobreaquecimento - Falha de um componente electrónico - Tensão de alimentação da placa incorrecta	Placa deixa de controlar os componentes respectivos bem como as sinalizações e comandos do painel de controlo	- Os componentes da UPS deixam de funcionar devidamente e esta pode não prestar o serviço adequado - O estado da UPS não é visualizado	As cargas podem ou não ser alimentadas dependendo do (s) componente (s) afectados
		Falha no controlo do inversor				
		Falha no controlo de sinalizações e comandos do painel de controlo				
		Falha na sincronização de fases quando ocorre o paralelo entre a linha de bypass e a saída do inversor				

Disjuntor	Aparelho de corte e protecção que actua em situação de defeito	Abre indevidamente, isto é, sem ocorrer qualquer defeito	- Falha no sensor de corrente - Falha interna do disjuntor - Causas humanas	Não há passagem de tensão para jusante	- Se o disjuntor em questão for o de entrada da linha de bypass esta deixa de receber tensão o que implica que, se a UPS estiver, por algum motivo, a fornecer tensão através desta linha deixa de o fazer - Se o disjuntor for o de entrada do rectificador a UPS passa a fornecer tensão através da bateria - Se o disjuntor for o de saída do inversor a UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass	- Se o disjuntor em questão for o de entrada da linha de bypass e a UPS a fornecer tensão através desta linha as cargas deixam de ser alimentadas - Se o disjuntor for o de entrada do rectificador não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas uma vez que estas passam a ser alimentadas através das baterias - Se o disjuntor for o de saída do inversor não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas excepto se ocorrer alguma falha na linha de bypass
		Não abre na ocorrência de defeito	- Contactos colados - Falha no sensor de corrente - Problema no mecanismo de abertura	Caso ocorra um defeito o disjuntor deixa-o passar para jusante	- Não há qualquer efeito imediato na UPS - Se ocorrer algum defeito os componentes da UPS podem ficar danificados	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Se ocorrer algum defeito, caso os dispositivos de protecção do quadro de distribuição não actuem, as cargas podem ficar danificadas

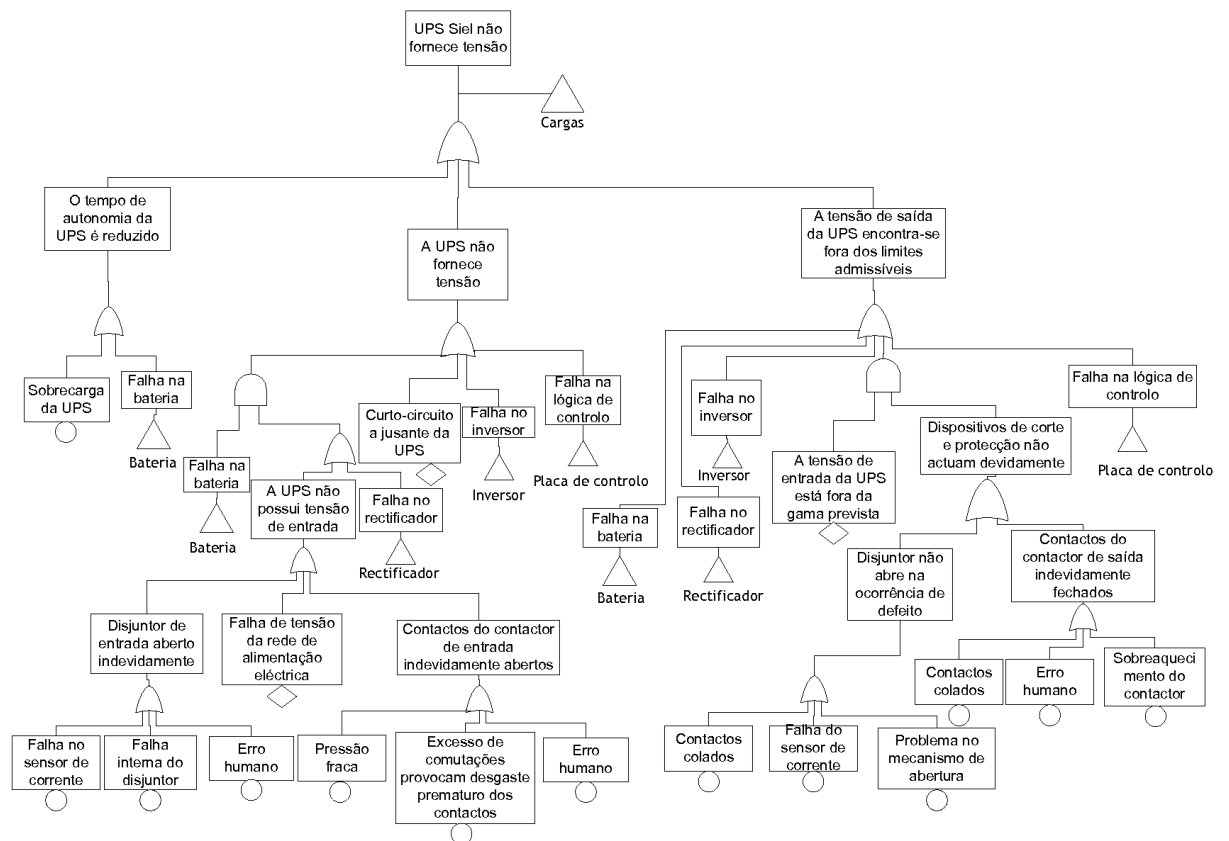
Contactor	Aparelho de corte destinado a abertura/ fecho de circuitos em carga	Curto-circuito na bobina	- Sobreaquecimento - Corte dos fios da bobina	Contactor não comuta		
		Circuito aberto	- Sobrecarga - Terminais desligados devido à vibração do circuito electromagnético			
		Contactos indevidamente abertos	- Falha humana - Pressão fraca - Excessos de comutações provocam desgaste prematuro dos contactos	Contactor não consegue fechar	- Se o contactor em falha for o de entrada da UPS esta passará a fornecer tensão através da bateria - Se o contactor em falha for o de saída do inversor a UPS passa a fornecer tensão através da linha de bypass	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Se o contactor em questão for o de entrada do rectificador, a alimentação das cargas está dependente da autonomia das baterias - Se o contactor em questão for o de saída do inversor, a alimentação das cargas está dependente do funcionamento da linha de bypass e da rede
		Contactos indevidamente fechados	- Sobreaquecimento - Falha humana - Contactos colados	Contactor não consegue abrir	- Se o contactor em falha for o de entrada da UPS esta fornece tensão sempre através da linha principal (passando pelo rectificador) - Se o contactor em falha for o de saída do inversor a UPS apenas fornece tensão através do inversor	O efeito nas cargas está dependente da existência ou não de falhas na linha principal.
Display UPS	Visualização de estado do sistema	Inoperacional	- Falha da placa de interface de sinalização	Não permite a visualização do estado do sistema	UPS não fornece informação do seu estado e/ ou alarmes	O sistema continua o seu funcionamento normal

Static Transfer Switch

Componente	Função	Modo (s) de Avaria	Causa (s)	Efeito (s) no subsistema	Efeito (s) no sistema
Static Transfer Switch	Dispositivo que faz a comutação entre duas fontes de alimentação distintas	Não procede à comutação da fonte principal para a secundária (transferência impossível)	- Tensão excessiva na fonte alternativa (secundária) - Frequência fora do limite de tolerância - Não concordância de fases entre as duas fontes (quando estas funcionam em modo síncrono) - Falha mecânica - Curto-circuito a jusante do sistema - Falha na fonte alternativa	- Em caso de falha da fonte principal, apresenta à saída o valor de tensão por esta fornecida - Caso a fonte principal não apresente qualquer defeito não se verifica qualquer efeito à saída do interruptor	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha na fonte principal as cargas podem ser alimentadas com tensões de valor superior ao previsto (dependendo do funcionamento dos dispositivos de protecção do quadro de distribuição) o que as poderá danificar - Caso a fonte principal deixe de fornecer tensão, ou forneça tensão de valor inferior ao nominal, as cargas C1 deixam de ser alimentadas
		Não procede a qualquer tipo de comutação	- Sobreaquecimento - Sobrecarga	Switch é desligado não havendo passagem de energia para jusante do sistema	Cargas C1 deixam de ser alimentadas
		Não procede à comutação da fonte secundária para a principal (transferência impossível)	- Fonte principal com defeito - Níveis de tensão da fonte principal errados - Falha mecânica - Fonte principal em sobrecarga	- Em caso de falha da fonte secundária, apresenta à saída o valor de tensão por esta fornecida - Caso a fonte secundária não apresente qualquer defeito não se verifica qualquer efeito à saída do interruptor	- Não se verifica qualquer efeito imediato nas cargas - Em caso de falha na fonte secundária as cargas podem ser alimentadas com tensões de valor superior aos previstos (dependendo do funcionamento dos dispositivos de protecção do quadro de distribuição) o que as poderá danificar - Caso a fonte secundária deixe de fornecer tensão, ou forneça tensão de valor inferior ao nominal, as cargas C1 deixam de ser alimentadas

Anexo E

Árvore de Falhas UPS Siel



Referências

- [1] *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications.*
- [2] Rodrigo de Queiroz Souza, Alberto José Álvares, “FMEA and FTA Analysis for Application of the Reliability- Centered Maintenance Methodology: Case Study on Hydraulic Turbines”, *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, Vol. 3, pp.803-812, 2008.
- [3] Sítio oficial da Galp Energia. Disponível em <http://www.galpennergia.com>. Acesso em Dezembro de 2009.
- [4] Manual UPS Aros: *Uninterruptable Power Supply- User Manual Threephase Output 10-30kVA*, Aros Sentry Multistandard.
- [5] Manual UPS Siel: *Technical Specification Uninterruptable Power Supplies TR200 Compact Three-Phase Series 140-160-180-200 kVA.*
- [6] Manual STS: IT-Switch Load Transfer Module User's Guide, Socomec Sicon UPS.
- [7] Clifton A. Ericson, *Hazard analysis techniques for system safety*, Capítulo 13, Edição de John Wiley & Sons, 2005.
- [8] Robin E. McDermott, Raymond J. Mikulak, Michael R. Beauregard, *The basics of FMEA*, New York: Quality Resources, 1996.
- [9] IEC 60812: 1985, *Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).*
- [10] W.E.Vesely, F.F., Goldberg, N.H.Roberts, and D.F.Haasi, *The Fault Tree Handbook*. US Nuclear Regulatory Commission, 1981.
- [11] Clifton A. Ericson “Fault Tree Analysis- A History”, *Proceedings of The 17th International System Safety Conference*, 1999.
- [12] NASA, *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*, NASA Office of Safety and Mission Assurance, Washington DC, 2002.
- [13] Roy Billinton, Roland N. Allan *Reliability Evaluation of Engineering Systems- Concepts and Techniques*, 2nd Edition, New York: Plenum, cop., 1983.
- [14] Patrick D.T. O' Connor, David Newton, Richard Bromley, *Practical Reliability Engineering*, 4th Edition, Chichester: John Wiley & Sons, 2002.
- [15] Rui Campos Guimarães, José A. Sarsfield Cabral, *Estatística*, Capítulos 9, 10 e 11, McGraw Hill, 1997.

- [16] IEC 60605-4: 2001, *Equipment reliability testing - Part 4: Statistical procedures for exponential distribution -Point estimates, confidence intervals, prediction intervals and tolerance intervals.*
- [17] IEC 60605-6: 2007, *Equipment reliability testing - Part 6: Tests for the validity and estimation of the constant failure rate and constant failure intensity.*
- [18] Winfrid G.Schneeweiss, *Petri Nets for Reliability Modeling*, LiLoLe-Verlag GmbH, Hagens, 1999.
- [19] Ferramenta de modelação SHARPE - *Symbolic Hierarchical Automated Reliability and Performance Evaluator*, Versão 1.3.1, Setembro de 2002.
- [20] IEC 61025: 2006, *Fault Tree Analysis (FTA).*
- [21] Mohd. Khairil Rahmat and Slobodan Jovanovic, "Reliability modeling of uninterruptable power supply systems using fault tree analysis method", *European Transactions on Electrical Power*, 19: 2568-273, Outubro 2007.
- [22] Robin E. McDermott, Raymond J.Mikilak, Michael R. Beauregard, *The basics of FMEA*. Edição de CRC Press, 2009.
- [23] Bilal M. Ayyub, *Risk Analysis in Engineering and Economics*, Capítulo 4, Boca Raton, Fla. : Chapman & Hall/CRC, 2003.
- [24] Marvin Rausand, Arnljot Hoyland, *Systems Reliability Theory: Models and Statistical Methods*, Capítulo 9, Edição de John Wiley & Sons, 2004.
- [25] Sheldon M. Ross, *Introduction to Probability and Statics for Engineers and Scientists*, Capítulos 7, 8 e 14, Edição de Elsevier Academic Press, 2004.