

Sistema de Gestão de Estudos e Ensaios Aplicado a Baterias da Rede Elétrica de Distribuição

FILIPE JOSÉ TEIXEIRA RIBEIRO

Julho de 2017

SISTEMA DE GESTÃO DE ESTUDOS E ENSAIOS APLICADO A BATERIAS DA REDE ELÉTRICA DE DISTRIBUIÇÃO

Filipe José Teixeira Ribeiro



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Filipe José Teixeira Ribeiro, Nº 1100417, 1100417@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Doutor Maurício Dias, fmd@isep.ipp.pt

Empresa: EDP Distribuição SA

Supervisão: Engenheiro David Lima, David.Lima@edp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

Para a minha Avó, Pais e Irmã.

Agradecimentos

Por mais palavras que aqui possa escrever, o sentimento de gratidão que levo comigo será sempre inexplicável. Todas as pessoas que contactaram comigo neste percurso inesquecível, de uma maneira ou de outra, contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e pessoal. Muito Obrigado a todas elas.

Pelo amor, ajuda e apoio incondicional, Muito Obrigado Maria Rui.

Por ter aceitado o meu pedido de orientação, pela disponibilidade, paciência e por me ter guiado nesta dissertação, um grande Obrigado ao Professor Doutor Maurício Dias.

Relativamente à EDP Distribuição, quero agradecer a todos os excelentes técnicos que tiveram a bondade e paciência de me levarem ao terreno nas suas intervenções. Obrigado pela resposta mesmo quando a pergunta era a mais básica.

Não relacionadas diretamente, mas de uma falta indispensável, quero agradecer à Dona Gracinda e à Dona Belinha que, sem quererem, enriqueceram a minha experiência.

Na partilha do mesmo departamento, um Agradecimento especial para o Engenheiro Alberto Pinto, o Engenheiro Hélder Heitor e o Engenheiro Fernando Moreira pelos conselhos, pela paciência, simpatia, companhia e, especialmente, por alegrarem os silêncios.

Pela ajuda que deu na possibilidade de realização deste estágio e por toda a ajuda que me ofereceu, um grande Obrigado ao Sr. Rui Ferreira.

Por último, quero prestar o maior e o mais especial dos agradecimentos ao meu orientador da EDP Distribuição, o Engenheiro David Lima. Muito Obrigado por toda a ajuda fornecida, pela completa disponibilidade, pela importante companhia e por, literalmente, mais do que ter sido meu orientador, ter sido meu amigo.

Resumo

A EDP Distribuição, como Operador da Rede Elétrica de Distribuição Portuguesa, necessita garantir a continuidade do fornecimento energético. As Subestações AT/MT, como um dos principais elementos na Rede Elétrica de Distribuição, incorporam sistemas que asseguram a proteção, o comando e o controlo dos seus equipamentos. A funcionalidade ininterrupta destes sistemas é suportada por Sistemas de Alimentação de Corrente Contínua que integram grupos de baterias. Em situação de falha da rede elétrica, o fornecimento de energia ao Sistema de Alimentação é interrompido, sendo o fornecimento de potência aos Sistemas de Serviços Auxiliares garantido sem qualquer interrupção pelo grupo de baterias.

O índice de estimação do estado de saúde de baterias é um dos indicadores quantitativos condicente com o desempenho destas. A EDP Distribuição garante o correto desempenho, quando necessário, de todos os seus grupos de baterias, através da sua manutenção com ensaios de autonomia periódicos e sistemáticos. A posterior análise quantitativa do resultado obtido nos ensaios é efetuada segundo um algoritmo de estimação do estado de saúde global do grupo de baterias.

Esta dissertação apresenta o estudo da metodologia de ensaios da EDP Distribuição, bem como da algoritmia adotada na estimação do estado de saúde de baterias. Como projeto prático, propostas de melhoria da algoritmia são estruturadas e descritas neste documento.

De modo a diminuir a componente manual na execução de processos de arquivo, estudos e algorítmicos, a dissertação contempla a estruturação, implementação e validação do desenvolvimento de um *software* de automatização de processos.

Palavras-Chave

Baterias; Sistema de Proteção, Comando e Controlo; Sistema de Alimentação de Corrente Contínua; Estimação do Estado de saúde; *Software*.

Abstract

The Portuguese Electric Power System Operator (*EDP Distribuição*) needs to ensure a continuous energy supply. As one of the most important elements in the Electric Power System, the HV/MV Substations have built-in systems that protect, command and control their equipment. The uninterrupted functionality of these systems is supported by Direct Current Power Systems that integrate battery packs. In the event of a power failure, the energy supply to the Direct Current Power System is interrupted, whereas power supply to the Auxiliary Services Systems is guaranteed, without interruption, by the battery pack.

The Health Condition estimation index is one of the quantitative indicators for the battery performance assessment. *EDP Distribuição* guarantees the correct performance, when needed, of all its battery groups, by maintaining these with periodic and systematic autonomy tests. The subsequent quantitative analysis of the tests result is carried out according to an algorithm to estimate the overall health condition of the battery pack.

This dissertation presents the study of the test methodology implemented by *EDP Distribuição*, as well as the algorithm adopted in the estimation of the health condition of batteries. As a practical project, algorithm-improvement proposals are structured and described in this document.

In order to reduce the manual component in the execution of archival, study and algorithmic processes, this dissertation contemplates the structuring, implementation and validation of the development of a process automation software.

Keywords

Batteries; Protection System, Command and Control; Direct Current Power System; Algorithm; State of health estimation; software.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
SIGLAS E ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJETIVOS	2
1.2.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	3
2. SISTEMAS DE SUBESTAÇÕES AT/MT	5
2.1.INTRODUÇÃO	5
2.2.SISTEMA DE PROTEÇÃO, COMANDO E CONTROLO	6
2.3.SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE CORRENTE CONTÍNUA	10
2.4.CONCLUSÕES	16
3. BATERIAS – TIPOS E TESTES APLICADOS À DISTRIBUIÇÃO	17
3.1.INTRODUÇÃO	17
3.2.TERMINOLOGIAS E FUNCIONALIDADES	21
3.3.ÍNDICADORES DE ESTADOS DE CARGA E SAÚDE	23
3.4.BATERIAS – EDP DISTRIBUIÇÃO.....	28
3.5.TESTES E MANUTENÇÃO	33
3.6.CONCLUSÕES	40
4. ANÁLISE E PROPOSTAS DE MELHORIA DA METODOLOGIA ADOTADA	43
4.1.ANÁLISE DOS ENSAIOS DE BATERIAS – METODOLOGIA EDP DISTRIBUIÇÃO.....	43
4.2.PROPOSTA DE MELHORIA DA METODOLOGIA	47
4.3.CONCLUSÕES	55
5. IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DA NOVA METODOLOGIA	57
5.1.PRESSUPOSTOS DO SOFTWARE	58
5.2.DESCRICÃO DO FUNCIONAMENTO DO <i>SOFTWARE</i>	58
5.3.VALIDAÇÃO DO SOFTWARE.....	70

5.4.VALIDAÇÃO PRÁTICA	73
5.5.CONCLUSÕES	74
6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....	77
6.1.CONCLUSÕES	77
6.2.CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	78
6.3.PERSPETIVAS PARA TRABALHO FUTURO	80
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	81
ANEXO A	85
ANEXO B	87
ANEXO C	89
ANEXO D	91

Índice de Figuras

Figura 1 – Cadeia de valor da distribuição de energia elétrica [2]	5
Figura 2 – Subestação AT/MT localizada na freguesia de Soutelo do Douro	6
Figura 3 – Níveis de dispositivos do SPCC	7
Figura 4 – Arquitetura genérica clássica do SACC	11
Figura 5 – Arquitetura genérica recente do SACC	11
Figura 6 – Diagrama genérico da constituição do SACC [8]	13
Figura 7 – Armário do Alimentador	14
Figura 8 – Armário do grupo de baterias	14
Figura 9 - Operação eletroquímica de descarga [10]	21
Figura 10 – Operação eletroquímica de recarga [10]	22
Figura 11 – Diversidade de Capacidades [15]	24
Figura 12 – Métodos de estimação do estado de saúde de baterias	25
Figura 13 – Efeito da temperatura na vida de baterias de Ni-Cd e chumbo-ácido [22]	30
Figura 14 – Baterias SAFT, modelos SCL, SCM e SCH [23]	31
Figura 15 – Bateria <i>Marathon</i> M12V105FT [27]	33
Figura 16 -Baterias SUNLIGHT [28]	33
Figura 17 – Gráfico de degradação ao longo do tempo de uma bateria de Ni-Cd [29]	35
Figura 18 – Supervisão centralizada dos SACC	36
Figura 19 – Software de supervisão FISOCROM	37
Figura 20 – EC2000 [32]	39
Figura 21 – Fluke BT521 [33]	40
Figura 22 – Degradação de baterias em função da idade	45
Figura 23 – Modelo elétrico simplificado de uma bateria [18]	48
Figura 24 – Ilustração exemplificativa de uma bateria sob condutância reduzida [34]	49
Figura 25 – Baterias desequilibradas [35]	49
Figura 26 – Fluxograma de análise do parâmetro homogeneidade	51
Figura 27 – Distribuição da média percentual de referência	53
Figura 28 – Distribuição do desvio padrão percentual de referência	54
Figura 29 – Estudo do desvio padrão percentual aplicado à tensão	55

Figura 30 – Ecrã inicial (CardioBat)	59
Figura 31 – Menu de partições (CardioBat)	59
Figura 32 – <i>Interface</i> de dados de referência (CardioBat)	60
Figura 33 – Configurações do relatório MPS (CardioBat)	62
Figura 34 – Configurações dos algoritmos EDPD-ISB (CardioBat)	63
Figura 35 – Partição “Relatórios MPS” (CardioBat)	64
Figura 36 – Configurações do formato “Movitrom 2017” (CardioBat)	65
Figura 37 – <i>Interface</i> algorítmica dos relatórios MPS Medidas (CardioBat)	66
Figura 38 - <i>Interface</i> gráfica dos relatórios MPS Medidas (CardioBat)	67
Figura 39 – Diagrama exemplificativo da função de armazenamento (CardioBat)	68
Figura 40 – Exportação da tabela principal de armazenamento (CardioBat)	69
Figura 41 – Partição “MPS Medidas” (CardioBat)	69
Figura 42 – Estimações de estado de saúde efetuadas (CardioBat)	72
Figura 43 – Esquema elétrico unifilar do SACC FISOCROM RM110V3x25C3S	85

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Constituição do armário do Alimentador de um SACC base [7]	12
Tabela 2 – Constituição do armário de baterias de um SACC base [7]	12
Tabela 3 – Referência e avaliação de baterias primárias [10]	19
Tabela 4 – Referência e avaliação de baterias secundárias [10]	20
Tabela 5 – Vantagens e desvantagens de baterias de níquel-cádmio	29
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens de baterias <i>VRLA</i>	32
Tabela 7 – Cadastro do relatório MPS	38
Tabela 8 – Parâmetros e pesos percentuais do algoritmo EDPD-ISB	44
Tabela 9 – Grupos percentuais do parâmetro “tensão individual”	46
Tabela 10 – Grupos percentuais do parâmetros “Corrosões”	46
Tabela 11 - Parâmetros e pesos percentuais do algoritmo EDPD-ISB estatístico	50
Tabela 12 – Condições do algoritmo EDPD-ISB estatístico	52
Tabela 13 – Dados de referência	61
Tabela 14 – Uniformização de nomes de relatórios	64
Tabela 15 - <i>Flags</i> de associação do CardioBat	67
Tabela 16 – Testes de validação do <i>software</i> no algoritmo EDPD-ISB	71
Tabela 17 - Testes de validação do <i>software</i> no algoritmo estatístico de Tensão	71
Tabela 18 - Testes de validação prática dos algoritmos EDPD-ISB	73
Tabela 19 – Contributo do Algoritmo EDPD-ISB estatístico	78
Tabela 20 – Contributo do <i>software</i> CardioBat	79
Tabela 21 – Valores de homogeneidade do parâmetro tensão	89
Tabela 22 – Exportação da tabela principal do CardioBat	91

Siglas e acrónimos

AGM	–	<i>Absorvent glass mat</i>
ANN	–	<i>Artificial Neural Networks</i>
AT	–	Alta Tensão
BT	–	Baixa Tensão
CA	–	Corrente Alternada
CC	–	Corrente Contínua
EDP	–	Energias De Portugal
EDPD		Energias De Portugal Distribuição
EKF	–	<i>Extended Kalman Filter</i>
EOL	–	<i>End Of Life</i>
IED	–	<i>Intelligent Eletronic Device</i>
IEEE	–	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IHM	–	<i>Interface Homem-Máquina</i>
IP	–	<i>Internet Protocol</i>
ISB	–	Índice de Saúde de Baterias
KF	–	<i>Kalman Filter</i>
LAN	–	<i>Local Area Network</i>
MAT	–	Muito Alta Tensão
MPS	–	Manutenção Preventiva Sistemática
MT	–	Média Tensão
OCV	–	<i>Open Circuit Voltage</i>
ORD	–	Operador de Rede de Distribuição
PCL	–	Posto de Comando Local

RLC	– Rede Local de Comunicação
SACC	– Sistema de Alimentação de Corrente Contínua
SCADA	– <i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SE	– Subestação Elétrica
SOC	– <i>State Of Charge</i>
SOH	– <i>State Of Health</i>
SPCC	– Sistema de Proteção, Comando e Controlo
UC	– Unidade Central
URTA	– Unidade Remota de Teleação e Automatismos
Vca	– Tensão em Corrente Alternada
Vcc	– Tensão em Corrente Contínua
VRLA	– <i>Valve-Regulated Lead-Acid</i>

1. INTRODUÇÃO

A EDP Distribuição, como operador da rede elétrica de distribuição, necessita garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica. As Subestações AT/MT, como um dos principais elementos na rede elétrica, incorporam sistemas que asseguram a proteção, o comando e o controlo dos seus equipamentos. A funcionalidade ininterrupta destes sistemas é suportada por sistemas de alimentação de corrente contínua que integram grupos de baterias. Em situação de falha da rede elétrica, o fornecimento de energia CA ao Sistema de Alimentação de Corrente Contínua é interrompido. Perante esta situação, a alimentação aos equipamentos de proteção, comando e controlo e telecomunicações é garantida pelo grupo de baterias existentes nas instalações. Tendo em conta a importância destes sistemas para as manobras de operação da rede face aos incidentes, o bom estado das baterias é imprescindível para a melhoria da qualidade de serviço.

O correto funcionamento de todos os elementos de um grupo de baterias é da máxima relevância. Nesta condição, a metodologia de manutenção destes ativos tem vindo a ser aprimorada ao longo do tempo, através de estudos e ensaios. Um dos indicadores quantitativos condicente com o desempenho de baterias é o índice de estimação do estado de saúde destas. A dependência, nos sistemas que incorporam baterias, cresceu com a inevitável evolução da tecnologia e, conseqüentemente, a exigência pela precisão na

estimação do estado de saúde aumentou, levando ao desenvolvimento de diversos métodos de estimação com a integração de avaliações de parâmetros variáveis.

A EDP Distribuição, de modo a garantir o correto desempenho, quando necessário, de todos os seus grupos de baterias, fundamenta a sua manutenção em ensaios de autonomia periódicos e sistemáticos. A posterior análise quantitativa do resultado obtido nos ensaios é efetuada segundo um algoritmo de estimação do estado de saúde global do grupo de baterias.

Um dos problemas residentes na metodologia de análise de resultados, consiste na falta de automatização dos processos. O processamento de arquivo, estudo, gráfico e algorítmico é inexistente ou efetuado manualmente pelo gestor do sistema de baterias.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJETIVOS

A realização desta dissertação foi efetuada no contexto de um estágio curricular concedido na Unidade Operativa de Gaia (DSS-AAP-UGA) do departamento de Automação, Controlo e Proteções, que integra a Direção de Serviços a Subestações da EDP Distribuição SA. A elaboração deste documento pretende atingir os seguintes objetivos previamente definidos:

- Estudo dos Sistema de Proteção, Comando e Controlo;
- Estudo dos Sistema de Alimentação de Corrente Contínua;
- Estudo de tecnologias de baterias, com especial foco nas instaladas em sistemas da EDP Distribuição;
- Estudo da algoritmia existente na estimação do estado de saúde de baterias;
- Estudo da algoritmia implementada pela EDP Distribuição na estimação do estado de saúde de baterias;
- Elaboração de propostas de melhoria da algoritmia implementada pela EDP Distribuição na estimação do estado de saúde de baterias;
- Estudo da metodologia de trabalho utilizada em ensaios a grupos baterias;
- Estudo do sistema de gestão de estudos e ensaios de baterias implementado na EDP Distribuição;
- Criação de uma ferramenta informática de automatização do sistema de gestão de estudos e ensaios a baterias.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

A dissertação apresenta uma estrutura dividida em 6 capítulos. O primeiro capítulo visa introduzir o tema em estudo, contextualizar o cenário de realização e descrever os objetivos que se pretende atingir. Efetua-se ainda uma descrição da organização do relatório, com um breve resumo de cada capítulo.

O segundo capítulo consiste no estudo teórico dos sistemas de suporte instalados nas Subestações AT/MT pertencentes à EDP Distribuição. Inicialmente é efetuada uma descrição dos equipamentos incorporados nos Sistema de Proteção, Comando e Controlo, bem como da relevância das suas funções na gestão de ativos. Posteriormente, é efetuada uma descrição do Sistema de Alimentação de Corrente Contínua englobando a sua constituição, as suas funções e a sua importância nas Subestações AT/MT.

O terceiro capítulo introduz o tópico principal da dissertação: a bateria. O capítulo inicia com uma breve introdução histórica onde se efetua a diferenciação entre baterias primárias e secundárias, seguido pela caracterização das terminologias e funções básicas associadas a este elemento. Interligando a bateria com a sua manutenção, indicadores da estimação do estado de saúde são enumerados, definidos e explicados. Diversos métodos de estimação são descritos, bem como a sua relevância e critérios para a sua implementação. Ainda durante este capítulo, efetua-se uma pormenorização da constituição das tipologias de baterias utilizadas pela EDP Distribuição nos sistemas de alimentação, bem como do seu desempenho. Na parte final é apresentada a metodologia de trabalho adotada na manutenção dos grupos de baterias, assim como uma descrição dos ensaios efetuados.

O quarto capítulo visa dar a conhecer a análise de ensaios a grupos de baterias implementada na EDP Distribuição com recurso a um algoritmo de estimação do estado de saúde. A descrição de todos os parâmetros, avaliados pelo algoritmo, é realizada. Neste capítulo é efetuada ainda, uma introdução ao trabalho prático realizado através da apresentação de propostas de melhoria da algoritmia implementada. Parâmetros de avaliação e métodos de cálculo são detalhados. Considerações finais são apresentadas no final do capítulo.

O quinto capítulo consiste na apresentação e descrição completa do desenvolvimento prático de um *software* estruturado com o único propósito de melhorar e automatizar ao

máximo a metodologia de trabalho utilizada. Testes de validação do *software* e conclusões são apresentadas nas secções finais do capítulo.

O sexto, e último capítulo, apresenta as principais conclusões, limitações e contribuições do trabalho prático realizado nesta dissertação. Na finalização do capítulo, são apresentadas perspectivas para possíveis trabalhos futuros.

2. SISTEMAS DE SUBESTAÇÕES AT/MT

2.1. INTRODUÇÃO

A EDP Distribuição, no âmbito da sua atividade de Operador de Rede de Distribuição (ORD), tem como missão “Garantir a expansão e a fiabilidade da rede – Ligar clientes e produtores à rede de distribuição; planear, desenvolver, operar e manter a rede” [1]. A cadeia de valor da distribuição de energia encontra-se caracterizada na Figura 1.

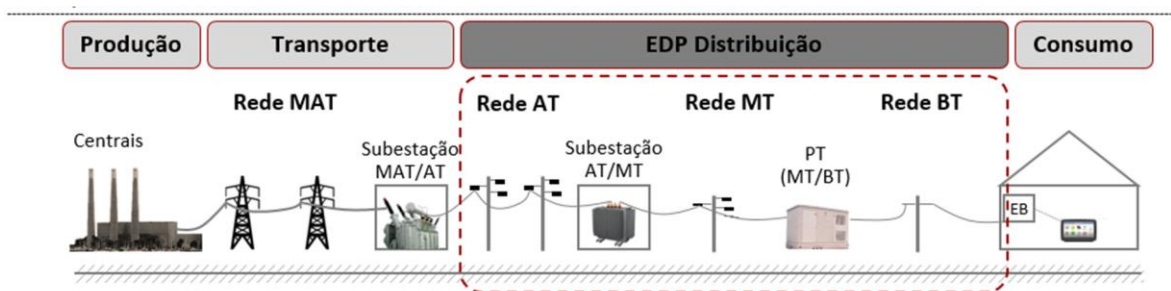


Figura 1 – Cadeia de valor da distribuição de energia elétrica [2]

A cadeia de valor do sector energético é representada pela produção, transporte, distribuição e consumo. Na distribuição, as subestações elétricas (SE) AT/MT incorporam equipamentos elétricos cujo propósito é o de elevar a tensão gerada nas centrais elétricas

com posterior transporte em Alta ou Muito Alta Tensão (AT, MAT) para zonas de consumo ou, caso estejam perto de zonas de consumo, baixar o nível de tensão para a energia poder ser distribuída em Média Tensão (MT). Na rede MT, os postos de transformação realizam a conversão para baixa tensão (BT), para que esta seja, finalmente, distribuída ou entregue aos clientes [2]. Na Figura 2 é visível a aparelhagem exterior, a título exemplificativo, de uma Subestação Elétrica AT/MT.



Figura 2 – Subestação AT/MT localizada na freguesia de Soutelo do Douro

Uma subestação tradicional é tipicamente caracterizada por um parque exterior com linhas AT, um transformador de energia e um edifício de comando. Esta infraestrutura é comandada remotamente com recurso a equipamentos com funcionalidades próprias. Os sistemas que permitem a monitorização e controlo remoto são denominados de Sistemas de Proteção, Comando e Controlo (SPCC) [2].

2.2. SISTEMA DE PROTEÇÃO, COMANDO E CONTROLO

As Subestações AT/MT, com telecomando, incorporam Sistemas de Proteção, Comando e Controlo que possibilitam a monitorização remota do sistema elétrico por intermédio de dispositivos de aquisição de dados que reportam o estado de operação dos equipamentos, possibilitando conjuntamente a execução de ações de controlo por meio de transmissão de dados. As principais aplicações e serviços SPCC são os seguintes [3]:

- SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*): possibilita o comando e a supervisão, remota ou local, da SE;
- Telecontagem: possibilita a recolha diária de impulsos indicadores dos valores de contagem de energia nos diferentes painéis da SE, que o permitam;

- Teleengenharia: possibilita a alteração remota de parâmetros e do modo de funcionamento das funções de proteção e automatismos, bem como o diagnóstico e eventual resolução de anomalias à distância;
- Supervisão de equipamentos: serviço genérico de manutenção e supervisão remota de equipamentos constituintes da SE.

O SPCC responsabiliza-se pela proteção, comando e controlo de todos os elementos da subestação, sendo constituído pela interligação de diversos módulos de processamento de informação que permitem cumprir as funções intrínsecas a uma Subestação AT/MT, respetivas a [3]:

- Modo de funcionamento e encravamentos;
- Proteções;
- Automatismos;
- Manutenção e teleparametrização;
- Interface homem-máquina (IHM).

Os SPCC's utilizados para comandar e supervisionar os sites técnicos são geridos pela EDP Distribuição, refletindo a importância e a criticidade destes equipamentos. Estes sistemas possuem a sua alimentação suportada nos Sistemas de Alimentação de Corrente Contínua (SACC). Este suporte indica que, caso os SACC falhem, todos os equipamentos localizados no site, ficam sem energia, tornando impossível a sua operação local ou remota. A Figura 3 representa os níveis hierárquicos de inserção dos diversos equipamentos constituintes do SPCC [3].

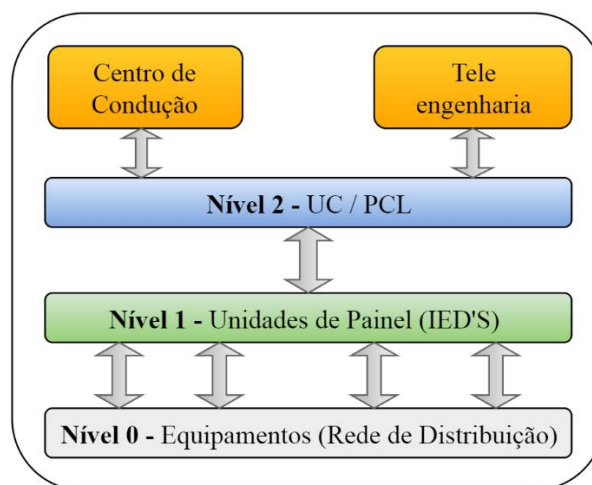


Figura 3 – Níveis de dispositivos do SPCC

2.2.1. DISPOSITIVOS DO SISTEMA DE PROTEÇÃO, COMANDO E CONTROLO.

Os SPCC's são constituídos, de uma forma geral, por diferentes dispositivos que se inserem, ilustrado pela Figura 3, em níveis distintos interligados entre si [3]:

- Dispositivos de Nível 0: Todos os equipamentos AT/MT da Subestação com os quais o SPCC interage;
 - A interligação entre o nível 0 e o nível 1 é realizada através de ligações elétricas físicas: por fio.
- Dispositivos de Nível 1: Unidades de painel ou Dispositivos Eletrónicos Inteligentes (IED – “*Intelligent Electronic Device*”)
 - A atual interligação entre o nível 1 e o nível 2 é realizada por intermédio de uma rede local de comunicação de dados suportada fisicamente por fibra ótica
- Dispositivos de Nível 2: Unidade Central (UC) e Posto de Comando Local (PCL).

2.2.1.1. DISPOSITIVOS ELETRÓNICOS INTELIGENTES (IED)

O desempenho de funções de comando e controlo dos processos correntes numa Subestação AT/MT é assegurado pelas unidades de painel ou IED's. Genericamente, estes dispositivos incorporam uma interface responsável por disponibilizar ao utilizador toda a informação e comando sobre o painel, sendo responsáveis pelo processamento da informação necessária às diversas funções de proteção, automatismos e condições específicas e complementares de funcionamento. Este processamento é baseado na aquisição de informação de processos de sinalizações e medidas, bem como na emissão de ordens por solicitação das funções de proteção, automatismos, telecomando e condições específicas de funcionamento. Através da rede local de comunicação, é possível a interação entre vários IED's distintos, assim como com a Unidade Central, suportando sinalizações internas, parâmetros e telecomandos. Cada IED possui um sistema de autodiagnóstico que permite a verificação contínua do estado do *hardware* e *software* de todos os seus módulos funcionais [3].

Ao nível do IED, é possível visualizar os registos cronológicos de acontecimentos, os parâmetros das funções de proteção, automatismos e condições específicas de funcionamento da Subestação, assim como colocar, retirar e alterar funções e parâmetros. Neste nível é ainda possível atuar sobre os diversos órgãos de nível 0 [4].

2.2.1.2. UNIDADE CENTRAL E POSTO DE COMANDO CENTRAL

A unidade central (UC) é responsável pela comunicação com o Centro de Comando e comunica com todos os IED's através dos protocolos de comunicação normalizados [4,5]. A UC, inserida no nível 2, desempenha funções, no local e remotamente, de comando e controlo de toda a instalação. Na Subestação, a unidade central é responsável pela supervisão e comando, pela recolha e tratamento de informação e pela gestão do arquivo cronológico de ocorrências e funcionalidades do SPCC. Todos os módulos funcionais do sistema são configurados, parametrizados e monitorizados através de um Posto de Comando Local (PCL) [3]. O envio de informação em tempo real, via rede *Ethernet*, para o PCL, permite desta forma a animação em tempo real dos diversos quadros gráficos do IHM disponíveis no PCL, bem como a visualização do arquivo do seu disco, contendo registos de eventos do SPCC descarregados automaticamente através dos IED's [4]. A UC representa um nó na rede que comunica com todos os IED's e por sua vez com o Centro de Condução e Centro de Engenharia Remoto [3].

O Posto de Comando Local assume responsabilidade no arquivo de registos do sistema e na demonstração da *interface* operacional destinada ao utilizador. O PCL possibilita a parametrização e configuração dos IED's e a análise do registo de eventos do SPCC. A supervisão e o comando global da instalação são realizados pelo PCL, através de um tratamento estruturado da informação em forma de sistema SCADA aplicado à subestação [4].

O sistema SCADA permite visualizar os esquemas sinóticos globais e parciais da instalação e os valores de todas as medidas inseridas nas bases de dados disponíveis. Este sistema possibilita o registo de perturbações, a inserção de comandos sobre todos os elementos da SE inseridos na base de dados e a configuração de automatismos, proteções e comunicações. A utilização do sistema SCADA permite ainda visualizar todas as ocorrências verificadas na instalação em registo cronológico e o estado de autodiagnóstico do SPCC [4].

Adicionalmente, o Posto de Comando Local, constituído por um equipamento do tipo PC industrial, possibilita a simulação de manobras sobre o equipamento da Subestação, possibilitando o ensaio da resposta do sistema sem interferir com o processo normal [4].

O PCL e a UC devem garantir os seguintes critérios [4]:

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

2.2.1.3. REDE DE COMUNICAÇÃO LOCAL DO SPCC

A Rede de Comunicação Local (RLC) do Sistema de Proteção, Comando e Controlo garante a comunicação entre a Unidade central e o Centro de Condução e assegura a comunicação entre a Unidade central, os Dispositivos Elétricos Inteligentes e o Posto de Comando Local, sendo constituída por uma infraestrutura física LAN e por equipamentos de comunicação como: *routers*, *switches*, *hubs* ou *modems*. A quantidade destes equipamentos na instalação esta dependente da quantidade de nós na rede [6].

2.3. SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE CORRENTE CONTÍNUA

Os Sistemas de Alimentação de Corrente Contínua asseguram o funcionamento dos SPCC's, tendo como função principal o fornecimento de energia elétrica, nos níveis de tensão de 110 Vcc e 48 Vcc, com capacidade de autonomia [6]. Estes sistemas são utilizados pelo operador da rede elétrica de distribuição em todos os sites técnicos pela importância das suas características técnicas e da informação que disponibilizam. Os Sistemas de Alimentação incorporam três componentes principais:

- Alimentador, com sistema de retificação e inclusão de conversores;
- Baterias, colocadas em armário;
- Armários, para suporte e proteção de elementos diversos.

Atualmente, a EDP possui subestações que contêm instalações de Sistemas de Alimentação com estruturas distintas. A arquitetura clássica dos Sistemas de Alimentação, ainda presente em algumas SE's do cenário nacional, consiste na instalação de diversos módulos retificadores de tensões específicas necessárias no site (110Vcc/ 48Vcc/ 24Vcc/

12Vcc) e grupos de baterias auxiliares do mesmo nível de tensão. A Figura 4 ilustra o esquemático da arquitetura clássica.

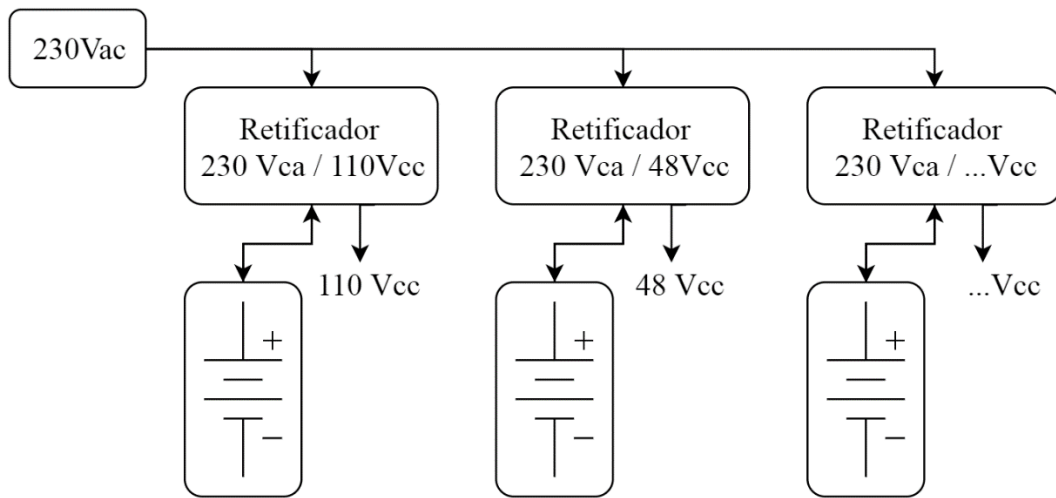


Figura 4 – Arquitetura genérica clássica do SACC

A Figura 5 ilustra a arquitetura recente dos SACC's, distinguindo-se da clássica, na implementação de um único retificador de 230Vca/110Vcc com o respetivo grupo de baterias de tensão equivalente. Os restantes retificadores e respetivos grupos de baterias são substituídos por conversores CC/CC da tensão desejada.

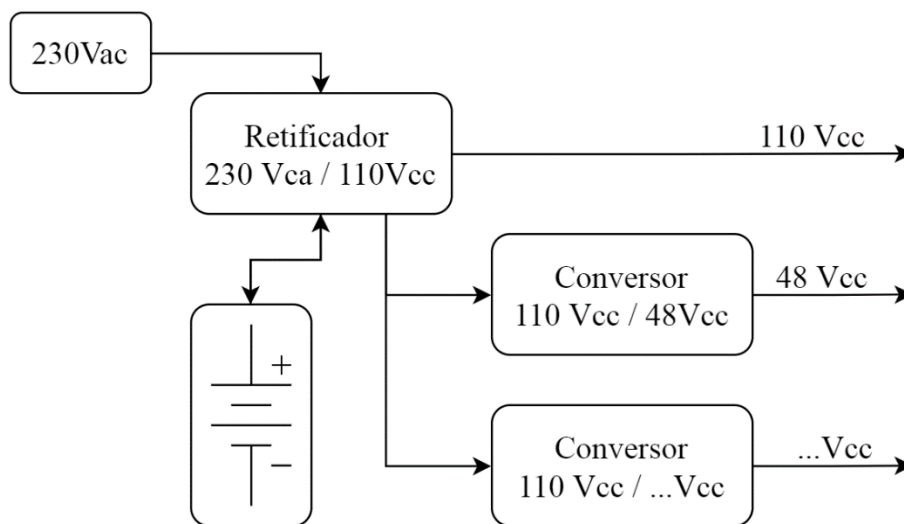


Figura 5 – Arquitetura genérica recente do SACC

Todos os circuitos de corrente contínua existentes na Subestação, juntamente com a operação de recarga de baterias, são suportados pelo SACC. Tendo em conta a importância dos SACC, foi definida uma especificação para garantir a normalização da solução e garantir o cumprimento dos requisitos necessários ao bom desempenho do sistema. Em [7], são

definidos dois sistemas de alimentação com configurações distintas no Alimentador e adaptados a diferentes capacidades de armazenamento (200 Ah e 100 Ah). Adicionalmente são definidas duas variantes de tensão nominal de saída (110 Vcc e 125 Vcc) para cada Sistema de Alimentação. As seguintes condições e alimentação devem ser cumpridas:

- Tensão nominal de alimentação (3F+N+T): 400/230 Vca \pm 15%;
- Frequência de rede: 50 Hz \pm 4%.

Na arquitetura recente do SACC base, o armário do Alimentador engloba os seguintes equipamentos [7]:

Tabela 1 – Constituição do armário do Alimentador de um SACC base [7]

Armário	Equipamento	SACC base 110/125 Vcc
Alimentador	Módulo Retificador 230 Vca / 110 Vcc	3
	Módulo Conversor 110 Vcc / 48 Vcc	2
	Módulo Supervisão e Controlo	1
	Módulo de Díodos Redutores	1
	Transformador de Entrada	1
	Painel 230 Vca	1
	Painel 110 Vcc	1
	Painel 48 Vcc	1

O SACC simplificado referente à constituição do armário do Alimentador consiste nos mesmos equipamentos do modelo base com a exceção do módulo retificador, incorporando apenas dois módulos.

O grupo de baterias deve ser dimensionado de forma a garantir o correto funcionamento global do sistema, suportando a carga exigida. De acordo com a arquitetura recente dos SACC, o armário das baterias é descrito na Tabela 2:

Tabela 2 – Constituição do armário de baterias de um SACC base [7]

Armário	Designação	SA base 110 Vcc	SA base 125 Vcc
Baterias	Capacidade	200 Ah	200 Ah
	N.º Elementos	86	90

O SACC simplificado referente ao armário de baterias, é dimensionado com os mesmos números de elementos, mas referidos a uma capacidade de 100 Ah.

2.3.1. FUNCIONALIDADES

O Sistema de Alimentação de Corrente Contínua, geralmente, é composto por um módulo de supervisão e controlo, por módulos retificadores, conversores CC/CC, baterias, um painel de corrente alternada (CA), um painel de corrente contínua (CC) e os respetivos cabos de interligação. O Anexo A disponibiliza o esquema unifilar de um SACC com arquitetura recente, fabricado pela FISOCROM e utilizado pela EDP Distribuição. A Figura 6 representa um diagrama genérico da constituição do SACC.

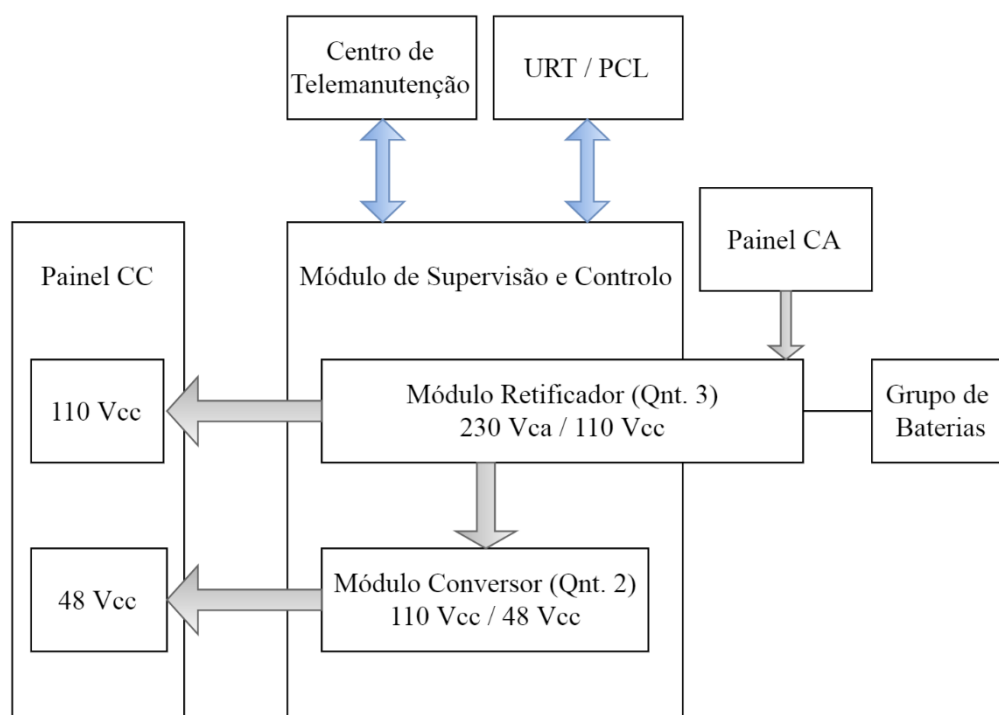


Figura 6 – Diagrama genérico da constituição do SACC [8]

Em condições normais de funcionamento, os módulos retificadores, ligados em paralelo entre si e ao grupo de baterias, garantem uma tensão nominal de saída constante, dentro dos limites admissíveis da tensão, da frequência da rede e do consumo de cargas, independentemente das suas variações [7].



Figura 7 – Armário do Alimentador

Os módulos retificadores fornecem a potência necessária à carga de utilização e à recarga do grupo de baterias. A sua tensão de saída é aplicada ao grupo de baterias em regime flutuante, de acordo com as especificações do fabricante do mesmo [7].



Figura 8 – Armário do grupo de baterias

Em situação de falha da rede, a tensão de entrada no Sistema de Alimentação e a tensão de saída do retificador serão aproximadamente nulas, sendo o fornecimento de potência à carga garantido sem qualquer interrupção pelo grupo de baterias. Durante o período de falha de rede o grupo de baterias suporta a tensão para os seguintes equipamentos [6]:

- Comando de disjuntores e seccionadores;
- Alimentação de sistemas de sinalização;
- Alimentação auxiliar de relés e Sistemas de Proteção;
- Alimentação de painéis sinóticos;
- Iluminação de emergência;
- Sistemas de Telecomunicações;
- Alimentação de sistemas de telecontagem.

O SACC incorpora um dispositivo de proteção à descarga total do grupo de baterias. Os módulos retificadores não necessitam do grupo de baterias para o seu arranque e funcionamento. Os módulos conversores e retificadores são equipados com um circuito de arranque lento para evitar transitórios de corrente no momento da sua ligação [7].

O regime flutuante tem um valor de tensão parametrizável estabilizado, com compensação da tensão de saída dos módulos retificadores em função da temperatura presente no grupo de baterias, de acordo com o fabricante. Esta compensação é parametrizável, realizada pelo operador e desativada em casos de temperaturas inválidas, comutando para o modo manual [7].

O regime de reforço contempla um valor de tensão superior ao flutuante. Este regime inicia automaticamente após a ocorrência de uma falha de energia de rede durante um período de tempo superior a um limite imposto pelo operador. O regime de reforço é mantido durante o tempo suficiente para que a capacidade do grupo de baterias seja reposta, sendo interrompido, alternado para o flutuante, caso se verifique uma corrente de carga constante durante um período específico ou se atinga o limite máximo de temperatura das baterias, aconselhado pelo fabricante [7].

2.4. CONCLUSÕES

A exigência pelo funcionamento contínuo com elevada qualidade de serviço dos Sistemas Eléctricos de Energia conduziu à implementação de Sistemas de Protecção, Comando e Controlo que possibilitam a supervisão imediata, remota ou local, das Subestações AT/MT. Através de serviços de acesso remoto, SCADA ou Teleengenharia, é possível a alteração de configurações e parâmetros de funções de protecção e automatismos de acordo com a necessidade de eliminação de anomalias presentes no sistema.

O Sistema de Alimentação de Corrente Contínua, constituído por um Alimentador, retificadores, conversores, grupo de baterias e armários de protecção, assegura o funcionamento permanente dos Sistemas Auxiliares de Serviço, incluindo sistemas de protecção, comando e controlo, telecomunicações e sinalizações. Ao longo do tempo, o aperfeiçoamento da arquitetura de elementos presente no SACC, bem como do desempenho dos regimes de funcionamento incidiram num melhoramento contínuo deste ativo por parte dos fabricantes.

3. BATERIAS – TIPOS E TESTES APLICADOS À DISTRIBUIÇÃO

3.1. INTRODUÇÃO

Considera-se a bateria um elemento que armazena energia, incorporando na sua constituição células eletroquímicas que convertem energia química diretamente para energia elétrica por meio de uma reação eletroquímica composta por oxidação (perda de elétrons) e redução (ganho de elétrons), denominada *redox* [9,10].

As baterias são constituídas por uma ou mais células, instaladas em série ou paralelo, dependendo da capacidade e voltagem desejada pelo fabricante. Estas células contêm três elementos principais [9,10]:

- O ânodo ou elétrodo negativo: Elétrodo de redução que direciona os elétrons para o circuito externo, sofrendo oxidação durante esta reação eletroquímica.

- O cátodo ou elétrodo positivo: Elétrodo de oxidação que recebe os eletrões provenientes do circuito externo, sofrendo redução durante esta reação química.
- O Eletrólito: Condutor iónico, geralmente em forma líquida, que contém sais iónicos ou ácidos dissolvidos para potenciar a condutividade iónica.

Baterias e células eletroquímicas são identificadas como primárias (não recarregáveis) ou secundárias (recarregáveis). Esta classificação está dependente da sua capacidade de serem recarregadas eletricamente. Dentro destes parâmetros de classificação, outras classificações são usadas de modo a identificar estruturas ou *designs* específicos [9,10].

3.1.1. BATERIAS PRIMÁRIAS

As baterias primárias não são capazes de serem facilmente ou eficientemente recarregadas eletricamente, sendo descartáveis imediatamente após a sua descarga completa inicial. A maioria das células primárias são denominadas “*dry cells*”, apresentando o eletrólito contido por um material separador ou absorvente. Geralmente estas baterias requerem manutenção mínima ou nula, são económicas, leves, intuitivas e uma conveniente fonte de energia elétrica para dispositivos eletrónicos e elétricos portáteis [9,10].

As baterias primárias já existem há mais de 100 anos, mas até 1940, a bateria de zinco-carbono, com uma densidade de energia de 50 Wh/kg, era a única a ter um uso mundial. Durante a Segunda Guerra Mundial e o período pós-guerra, avanços significativos foram feitos, não só em sistemas de zinco-carbono, mas em novos tipos de baterias. A capacidade foi aumentada, e atualmente baterias de lítio suportam mais de 400 Wh/kg. A validade das baterias no período da Segunda Guerra Mundial estava limitada a 1 ano quando armazenadas a temperaturas moderadas, evoluindo para 2 a 5 anos na atualidade. As baterias atuais de lítio possuem uma validade até 10 anos e podem ser armazenadas em locais com temperaturas até 70 °C. Muitos dos progressos significativos foram executados durante 1970-90 em baterias de Zinco/Dióxido de Magnésio Alcalino, sendo impulsionados pelo avanço exponencial da tecnologia, pela exigência de novas fontes de energia portáteis, pelo suporte ambiental, espacial e militar. Preocupações ambientais direcionaram a evolução a eliminar o composto de mercúrio na maioria das baterias sem afetar o seu desempenho e à eliminação progressiva das baterias que utilizavam mercúrio como elemento principal. Até

hoje, inúmeros avanços foram concretizados a nível da densidade de potência, validade e segurança, embora no aumento da densidade de energia das baterias primárias, progressos foram esvanecendo durante as últimas décadas devido ao amadurecimento dos sistemas de baterias e às limitações no desenvolvimento de baterias com energias superiores impostas pela falta de materiais novos ou não experimentados. O aumento da densidade de potência das baterias primárias possibilitou o uso destas em aplicações que requerem potências elevadas que anteriormente teriam de ser alimentados por baterias secundárias, que necessitavam de recargas e manutenção elevada [11].

A Tabela 3 refere os vários sistemas de baterias primárias e efetua uma avaliação numérica de vários parâmetros.

Tabela 3 – Referência e avaliação de baterias primárias [10]

System	Voltage	Specific energy (gravimetric)	Power density	Flat discharge profile	Low-temperature operation	High-temperature operation	Shelf life	Cost
Zinc/carbon	5	4	4	4	5	6	8	1
Zinc/alkaline/manganese dioxide	5	3	2	3	4	4	7	2
Magnesium/manganese dioxide	3	3	2	2	4	3	4	3
Zinc/mercuric oxide	5	3	2	2	5	3	4	5
Cadmium/mercuric oxide	6	5	2	2	3	2	3	6
Zinc/silver oxide	4	3	2	2	4	3	5	6
Zinc/air	5	2	3	2	5	5	—	3
Lithium/soluble cathode	1	1	1	1	1	2	1	5
Lithium/solid cathode	1	1	1	2	2	3	2	3

*1 to 8—best to poorest.

3.1.2. BATERIAS SECUNDÁRIAS

As baterias secundárias ou de acumuladores, após a descarga, podem ser recarregadas eletricamente até ao seu estado original através da passagem de corrente pelo seu circuito no sentido oposto ao da corrente de descarga. As aplicações deste tipo de baterias dividem-se entre duas categorias principais [9,10]:

- Aplicações onde as baterias secundárias são usadas como dispositivos de armazenamento de energia, geralmente sendo carregadas e ligadas eletricamente a uma fonte de energia principal, alimentando uma carga apenas quando necessário.

- Aplicações destinadas maioritariamente para baterias primárias, mas sendo recarregadas após a sua descarga e não descartadas.

As baterias secundárias já existem há mais de 150 anos. As baterias de chumbo-ácido foram desenvolvidas em 1859 por Planté e as alcalinas de ferro-níquel foram introduzidas por Edison em 1908 para integrar os protótipos iniciais dos automóveis elétricos. Estas baterias foram sendo gradualmente postas fora do mercado devido ao seu custo monetário elevado, aos requerimentos de manutenção e à baixa energia específica. A bateria de níquel-cádmio “*pocket-plate*” tem sido fabricada desde 1909 e foi primeiramente utilizada em aplicações industriais. O *design* desta bateria que incorporava placa sintetizada conduziu ao aumento da capacidade e da densidade de energia que possibilitaram o seu uso em aplicações comunicacionais durante os anos 1950-60. Juntamente com os sistemas de baterias primárias, progressos significativos foram feitos nos sistemas de baterias secundários antigos, e modelos novos de baterias mais sofisticadas com novas constituições como prata-zinco, níquel-zinco, níquel-hidrogénio e lítio-íon foram apresentadas no mercado com desenvolvimentos avançados [11].

A Tabela 4 refere os vários sistemas de baterias secundárias e efetua uma avaliação numérica de vários parâmetros.

Tabela 4 – Referência e avaliação de baterias secundárias [10]

System	Energy density	Power density	Flat discharge profile	Low-temperature operation	Charge retention	Charge acceptance	Efficiency	Life	Mechanical Properties	Cost
Lead-acid:										
Pasted	4	4	3	3	4	3	2	3	5	1
Tubular	4	5	4	3	3	3	2	2	3	2
Planté	5	5	4	3	3	3	2	2	4	2
Sealed	4	3	3	2	3	3	2	3	5	2
Lithium-metal	1	3	3	2	1	3	3	4	3	4
Lithium-ion	1	2	3	2	1	1	1	1	2	2
Nickel-cadmium:										
Pocket	5	3	2	1	2	1	4	2	1	3
Sintered	4	1	1	1	4	1	3	2	1	3
Sealed	4	1	2	1	4	2	3	3	2	2
Nickel-iron	5	5	4	5	5	2	5	1	1	3
Nickel-metal hydride	2	1	2	2	3	1	2	2	2	3
Nickel-zinc	2	1	2	3	4	3	3	4	3	3
Silver-zinc	1	1	4	3	1	3	2	5	2	4
Silver-cadmium	2	3	5	4	1	5	1	4	3	4
Nickel-hydrogen	2	3	3	4	5	3	5	2	3	5
Silver-hydrogen	2	3	4	4	5	3	5	2	3	5
Zinc-manganese dioxide	2	4	5	3	1	4	4	5	4	2

*Rating: 1 to 5, best to poorest.

3.2. TERMINOLOGIAS E FUNCIONALIDADES

Ao longo do tempo, o espectro de baterias foi gradualmente aumentando. De modo a responder aos pedidos, às necessidades ou às exigências da tecnologia, os fabricantes de baterias adaptaram-se e a diversificação de tipos e estruturas de baterias intensificou-se. Contudo, na sua maioria, as baterias partilham funções, parâmetros e indicadores básicos equivalentes.

3.2.1. DESCARGA

A operação de descarga ocorre quando uma célula ou bateria está ligada a uma carga externa. O fluxo de eletrões parte do ânodo oxidado e percorre a carga externa até encontrar o cátodo, induzindo a reação de redução neste. O eletrólito fecha o circuito permitindo o fluxo de iões negativos no sentido do ânodo e iões positivos no sentido do cátodo. A Figura 9 representa esquematicamente a operação de descarga [12].

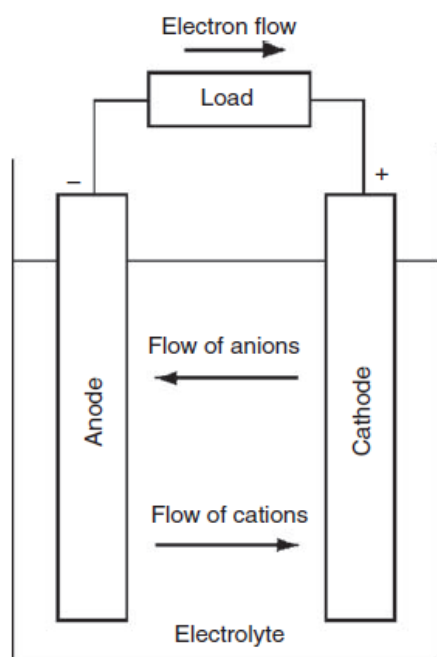


Figura 9 - Operação eletroquímica de descarga [10]

3.2.2. RECARGA

Na operação de recarga de células ou baterias secundárias, o fluxo de corrente realiza-se no sentido inverso e conseqüentemente as reações eletroquímicas irão concretizar-se nos elementos inversos. Nesta operação, a reação de oxidação ocorre no eléctrodo positivo

(cátodo) e a operação de redução ocorre no eletrodo negativo (ânodo). A Figura 10 representa esquematicamente a operação de recarga [12].

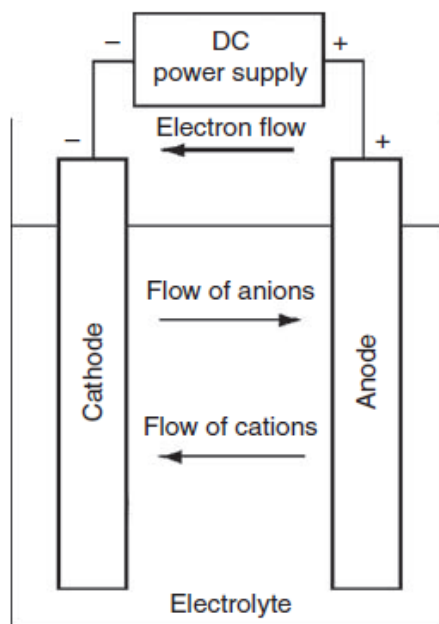


Figura 10 – Operação eletroquímica de recarga [10]

Como por definição o ânodo é o eletrodo onde ocorre a reação de oxidação e o cátodo é o eletrodo onde a reação de redução ocorre, nesta operação considera-se o ânodo como eletrodo positivo e o cátodo como eletrodo negativo [12].

3.2.3. CAPACIDADE

A capacidade disponível de uma bateria indica o valor total de potência elétrica acessível para ser descarregada até que esta esteja “esgotada” ou atinga a tensão de corte. Geralmente a capacidade é definida pelos fabricantes em Amperes-hora (Ah) pressupondo temperaturas e corrente de descarga específicas [12]. Uma bateria que emita 1 Ampere durante 1 hora, tem uma capacidade de 1 Ah. Este parâmetro é altamente dependente das condições impostas de temperatura e corrente de descarga, sofrendo alterações caso estas não sejam as especificadas pelo fabricante.

A corrente de descarga é indicada pela taxa de descarga “ C_n ”. Por exemplo, a descarga de uma bateria de 210 Ah com uma corrente de descarga de 42 A está a ser efetuada a uma taxa de C_5 amperes.

A capacidade nominal indica a energia que pode ser armazenada por uma nova bateria e depende de parâmetros impostos pelo fabricante como a quantidade de material ativo usado na bateria e a densidade do eletrólito [13].

3.2.4. VIDA DA BATERIA

A vida de uma bateria é finita e determinada pelo número de ciclos de descarga-recarga possíveis antes do não cumprimento dos critérios específicos de funcionamento. O envelhecimento é inevitável e a degradação dos elementos proporcional. Este processo é gradual e normalmente irreversível, afetando diretamente o desempenho da bateria até que entre no estado de falha. O ciclo de vida de operação de uma bateria é afetado pela velocidade e profundidade dos ciclos efetuados, mas também por fatores como a temperatura e a humidade. Quanto maior for a profundidade de descarga, menor será o ciclo de vida [12].

3.3. INDICADORES DE ESTADOS DE CARGA E SAÚDE

Os indicadores de estado das baterias são usados como *inputs* nos sistemas de gestão e são parâmetros cruciais para os gestores destes sistemas. Geralmente, o estado de carga (SOC – “*State of Charge*”) e o estado de saúde (SOH - “*State of Health*”) são os mais usados e permitem estimar o período de tempo que a bateria irá fornecer energia durante uma interrupção da alimentação normal de um sistema de energia e a vida esperada da bateria, respetivamente [12].

De modo geral, a determinação do estado de carga representa alterações de curto prazo. Pode ser baseado na medição de parâmetros internos como o eletrólito, ou parâmetros externos como a temperatura, voltagem ou corrente e descreve percentualmente a atual carga elétrica disponível [12,14].

$$\text{Estado de Carga} = \frac{\text{Capacidade restante}}{\text{Capacidade disponível}} \quad (1)$$

Consoante o sistema em avaliação, os parâmetros de interesse em estudo podem ser diversos, induzindo possíveis definições diferentes do indicador de saúde da bateria [15]. De um modo geral, o estado de saúde representa alterações de longo prazo e descreve percentualmente a carga elétrica disponível de uma bateria totalmente carregada, consistindo no quociente entre a capacidade medida em condições de descarga e a capacidade nominal [12,14].

$$\text{Estado de Saúde} = \frac{\text{Capacidade medida}}{\text{Capacidade nominal}} \quad (2)$$

A determinação do estado de saúde não necessita de ser contínua, apenas periódica, sendo este período determinado consoante a aplicação do sistema. Para calcular o indicador de estado de saúde é necessário efetuar as medições sempre com o mesmo valor de estado de carga [14].

Ambos os parâmetros são valores extrapolados em relação à capacidade total da bateria. Um dos problemas principais presente na determinação destes indicadores é a definição do valor de capacidade de uma bateria totalmente carregada, pois pode-se entender na capacidade nominal dada pelo fabricante, na capacidade medida que sofre alterações com o envelhecimento e degradação ou ainda a capacidade prática disponível durante as condições de operação [15]. A Figura 11 representa as capacidades descritas.

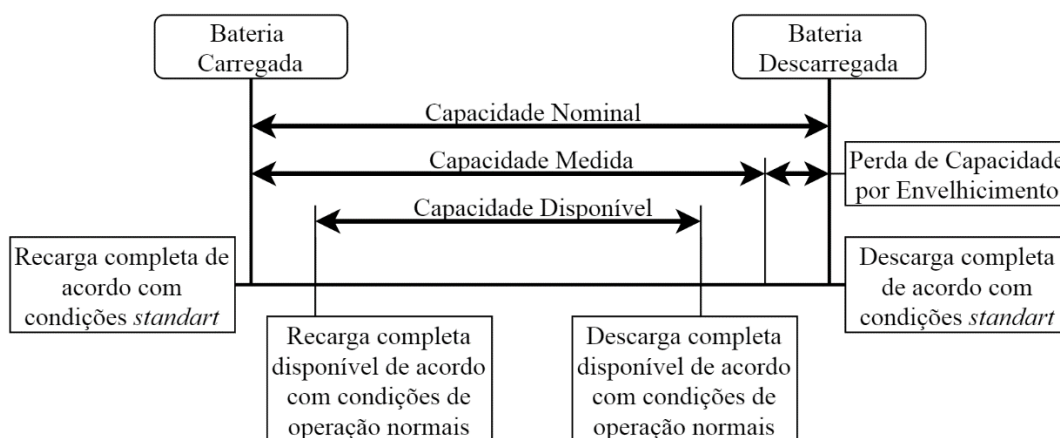


Figura 11 – Diversidade de Capacidades [15]

Ambos os estados (saúde e carga) refletem o desempenho da bateria de uma forma idêntica, contudo a sua relação direta não é linear.

3.3.1. ESTIMAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO DE SAÚDE

Com o envelhecimento da bateria, o estado de saúde decresce até que esta deixe de funcionar e atinga o seu fim de vida (EOL – “End Of Life”), usualmente próximo de um índice com valor de 80%. A saúde de uma bateria é essencialmente caracterizada por dois parâmetros: a sua capacidade disponível e a sua resistência ou impedância interna [16]. A degradação do eletrólito, induzida pelo envelhecimento e pelo aumento cíclico da bateria, influencia a perda de capacidade e o aumento de impedância. Como já foi referido, existem

diversas definições possíveis deste índice, pelo que a dificuldade reside na identificação de parâmetros diretamente responsáveis pela perda de capacidade. Dada esta condição, é comum serem considerados para a estimação deste índice, através de relações empíricas, parâmetros que sofrem mudanças com o envelhecimento da bateria como tensões, correntes, impedâncias ou temperaturas [17,18].

O método de “*Coulomb counting*” é um dos métodos mais simples e comuns usados na estimação do índice de estado de saúde de baterias, consistindo em duas fases. Na primeira fase, através de um ensaio de descarga, é calculada a capacidade que foi descarregada, $Q_{descarga}$. Este parâmetro consiste no integral da corrente de descarga ao longo do tempo, até que a bateria atinga um estado de carga de 0%, coincidente com a tensão de corte. O índice percentual de estado de saúde (SOH) é posteriormente calculado através do quociente entre o $Q_{descarga}$ e a capacidade nominal, $Q_{nominal}$.

$$\begin{cases} Q_{descarga} = \int_0^T I(t)dt \\ SoH [\%] = \frac{Q_{descarga}}{Q_{nominal}} \times 100\% \end{cases} \quad (3)$$

A dependência nos sistemas de baterias cresceu com a inevitável evolução da tecnologia, e conseqüentemente a exigência pela precisão na estimação do estado de saúde aumentou. Esta exigência, amplificada pela diversidade de tipos e sistemas de baterias, levou ao desenvolvimento de vários métodos de estimação, estando referidos do diagrama da Figura 12 alguns dos mais notórios [16,18].

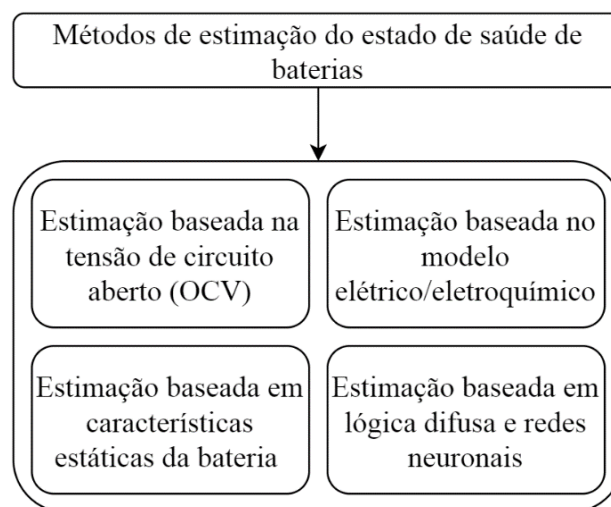


Figura 12 – Métodos de estimação do estado de saúde de baterias

A estimação baseada na tensão de circuito aberto (OCV) é efetuada de forma *offline* ou *online* e define o estado de saúde da bateria em função da OCV. O método *offline* é baseado modelo matemático centrado no valor de OCV. Testes extensivos foram conduzidos de forma a criar relações entre as curvas de OCV e o SOH da bateria. A influência do parâmetro de temperatura não foi negligenciada, sendo incluído, em diferentes abordagens, no processo de estimação. Apesar de providenciar uma precisão elevada, o método *offline* envolve testes laboratoriais extensivos. O método *online*, geralmente, é baseado na combinação de parâmetros do modelo elétrico de forma a estimar o SOC e o SOH da bateria. Este modelo de estimação apresenta desvantagens como a dificuldade de determinação do valor real de OCV e a formulação de funções que traduzam o SOH centrado na variável OCV [18].

A formulação de modelos elétricos e eletroquímicos de baterias estimam o SOC através de medições *online* que, quando associadas a *inputs* do sistema, permitem o cálculo do SOC através da utilização de um modelo. O núcleo principal da estimação do estado de carga, com implementação de um modelo elétrico, assenta na medição da tensão, corrente e temperatura da bateria. Contudo, as estimatórias baseadas em modelos elétricos englobam uma desvantagem comum: os parâmetros do modelo só podem ser parametrizados corretamente com precisão para baterias novas. A adaptação do modelo ao envelhecimento da bateria requer algoritmos complexos. O modelo eletroquímico, em alternativa ao modelo elétrico, apresenta a vantagem de inerentemente incluir a dependência do comportamento da bateria consoante o SOC e a temperatura. Contudo, este tipo de modelos possui complexidade elevada na implementação e monitorização [16]. A utilização de modelos aliada à implementação de filtros possibilita a estimação do estado de saúde. Um dos filtros mais utilizados é o filtro de Kalman (KF – “*Kalman Filter*”) que estima estados de processos. O filtro de Kalman consiste em duas fases: a previsão e a atualização. Inicialmente o KF era utilizado em sistemas lineares, sofrendo modificações (EKF – “*Extended Kalman Filter*”) de modo a ser utilizado em sistemas não lineares de estimação do SOH. Na estimação do estado de saúde, o EKF utiliza dois KF, sendo um para prever o SOC e o segundo para prever a capacidade [18]. O EKF apresenta a desvantagem de linearizar parâmetros de modelos que não são lineares, perdendo precisão [16].

A estimação baseada nas características estáticas da bateria assenta nas relações criadas, quando a carga suportada se mantém constante ao longo de um período de tempo

considerável, entre a corrente, tensão, impedância e temperatura da bateria. Este método apresenta a desvantagem de ser necessária a comparação com valores de referência na estimação do SOC/SOH, não sendo considerado o envelhecimento da bateria, o que por sua vez diminui a precisão na estimação [16].

A lógica difusa pode ser facilmente aplicada na estimação do estado de saúde de baterias se forem definidas diversas funções de associação de resultados finais. No caso da estimação do SOH, a associação pode ser feita em termos de: “saudável”, “aceitável”, “não saudável” [18]. Sistemas de mapas difusos traduzem o comportamento do sistema de acordo com conjuntos difusos, usando regras de exportação da informação baseadas na representação linguística. Este método oferece uma descrição qualitativa, substituindo a tradicional representação numérica. A representação linguística revela uma forma mais intuitiva e natural de descrição do estado de um sistema, traduzindo facilidade no desenvolvimento de algoritmos, quando comparado com sistemas numéricos [19].

As Redes Neurais Artificiais (ANN – “*Artificial Neural Networks*”), modelos computacionais usados na aprendizagem de máquinas, podem ser utilizadas na estimação do SOH. A vantagem deste método está na desvalorização de informação exata sobre o funcionamento do sistema, contudo, uma quantidade elevada de informação é requerida para “treinar” a máquina [20]. Uma das desvantagens do uso de ANN’s, deve-se a que uma ANN treinada para avaliar baterias novas, não revela precisão na análise de baterias envelhecidas [16].

Com a crescente diversidade de métodos, a escolha do utilizador necessita de incorporar uma avaliação quantitativa e qualitativa de critérios estruturados. A avaliação pode ser feita com base nos seguintes critérios [18]:

- Estrutura química da bateria: embora a maioria dos métodos de estimação sejam desenvolvidos com aplicação nas baterias de íons de Lítio, uma parte é igualmente aplicável em baterias de níquel-cádmio, enquanto que outros métodos são aplicáveis a todas as baterias secundárias.
- Complexidade computacional: baseada na adequação do algoritmo proposto para implementação no sistema de gestão de baterias. Em termos computacionais, o algoritmo mais adequado será o menos complexo.

- Processamento de informação: modo de processar a informação adquirida. O processamento *offline* é aplicado retroativamente, com base em informação obtida previamente. O processamento *online* é realizado em tempo real, no momento imediato à aquisição de informação. O processamento híbrido também é utilizado, contendo parâmetros processados *online* e outros *offline*.
- Tempo de processamento: tempo necessário para o método efetuar a primeira estimação, após o *input* de informação suficiente, ou o tempo médio por estimação, caso sejam efetuadas periodicamente. O tempo de processamento está diretamente dependente do *hardware* onde é instalado e executado.
- Precisão de estimação: grau de aproximação do resultado obtido na estimação, em relação ao resultado real, e respetiva estimação de erro.

Estimações confiáveis deste estado providenciam informação relevante para os sistemas de gestão de baterias. Através da análise deste estado, estratégias de controlo e monitorização podem sofrer alterações de modo a maximizar a longevidade e desempenho dos sistemas.

3.4. BATERIAS – EDP DISTRIBUIÇÃO

No universo EDP Distribuição, os SACC que incorporam as baterias são fornecidos e montados por empresas subcontratadas. Usualmente quando é necessário implementar um Sistema de Alimentação novo é conduzido um concurso nacional onde as empresas interessadas propõem soluções de acordo com as especificações pedidas, sendo posteriormente feita uma negociação entre ambas as partes e selecionada a melhor opção de acordo com o objetivo, valor económico, eficiência e segurança. Atualmente, o cenário de Subestações AT/MT do Norte reúne tipos, marcas e modelos de baterias muito diversos. Esta diversificação deve-se às variantes de soluções apresentadas e escolhidas nos momentos de solicitação. Essencialmente, a EDP Distribuição neste momento dispõe de três tipologias de baterias:

- Baterias de níquel-cádmio ventiladas;
- Baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula (*VRLA – “Valve-Regulated Lead-Acid”*):
 - Modelo com separador em microfibras de vidro (*AGM – “Absorbent Glass Mat”*);
 - Modelo com eletrólito de gel.

3.4.1. BATERIAS DE NÍQUEL-CÁDMIO

A bateria secundária de níquel-cádmio é basicamente constituída por um ânodo de hidróxido de níquel, um cátodo de cádmio e um eletrólito alcalino. Encontra-se disponível em varias dimensões e conta com diversos modelos estruturais de células. A bateria ventilada “*pocket-plate*” é o modelo mais antigo e amadurecido de todos os modelos de baterias de níquel-cádmio disponíveis. Estas baterias são fabricadas com capacidades entre 5 e 1200 Ah e são principalmente utilizadas em aplicações industriais, militares e espaciais. Com a introdução do primeiro modelo, o trabalho de desenvolvimento tem sido contínuo e com o objetivo de melhorar o desempenho das características da bateria e redução de peso. O modelo que contém placa sinterizada (“*sintered-plate*”) foi desenvolvido durante a segunda guerra mundial e comparativamente com o modelo “*pocket-plate*”, apresenta uma resistência interna menor e um melhor desempenho em termos de funcionalidades, com uma densidade de energia superior. É utilizado em aplicações que requerem potências elevadas e em ambientes de baixa temperatura. Progressos de desenvolvimento conduziram ao fabrico de baterias com menores dimensões para equipamentos portáteis e conseqüentemente ao desenvolvimento de baterias seladas e livres de manutenção. Valores superiores de densidade de energia e potência foram alcançados com o desenvolvimento de modelos de “*fibred-plate*” e “*plastic-bonded plate*” [10,21].

As principais vantagens e desvantagens das baterias de níquel-cádmio estão referidas na Tabela 5 [10].

Tabela 5 – Vantagens e desvantagens de baterias de níquel-cádmio

Vantagens	Desvantagens
Longa vida cíclica	Baixa densidade de energia
Resistente a nível físico e elétrico	Custo monetário elevado (*)
Confiável, sem morte súbita	Incorpora cádmio
Longa vida de armazém	Efeito de Memória
Perfil de descarga constante	Vida dependente de sistemas de controlo de temperatura
Manutenção mínima	

(*) – Comparativamente com baterias chumbo-ácido

As propriedades mais características das baterias de níquel-cádmio são [9,10]:

- Temperatura: o modelo “*pocket-plate*” opera dentro de um largo intervalo de temperaturas e pode ser descarregado a taxas elevadas de descarga. Embora os parâmetros de temperatura e taxa de descarga sejam relevantes nas propriedades de descarga de todos os sistemas de baterias, estes parâmetros induzem um impacto menor nas baterias de níquel-cádmio relativamente ao impacto nas baterias de chumbo-ácido.

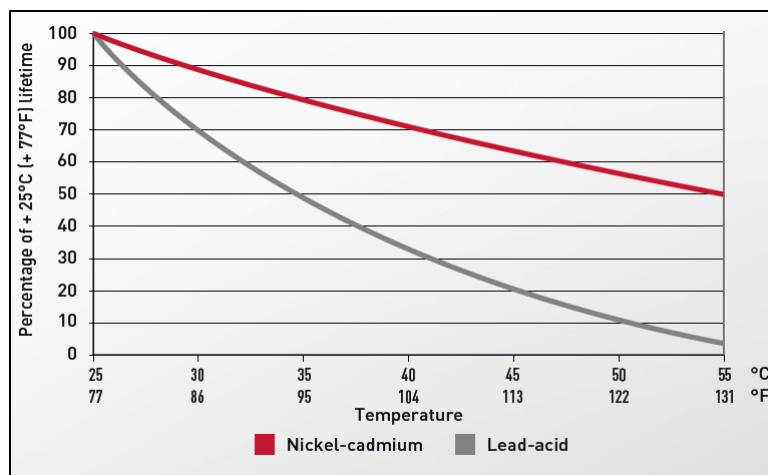


Figura 13 – Efeito da temperatura na vida de baterias de Ni-Cd e chumbo-ácido [22]

- Resistência interna: a resistência interna deste tipo de baterias possui um valor baixo. Este parâmetro, normalmente, assume valores num intervalo de 0,3 mΩ a 2 mΩ. A diminuição de temperatura e do estado de carga, resulta num aumento da resistência interna.
- Vida: em condições normais de funcionamento, as baterias de níquel-cádmio conseguem efetuar mais de 2000 ciclos. O tempo de vida destas baterias varia entre 8 e 25 anos, dependendo do seu modelo, aplicação e das suas condições de operação.
- Efeito de memória: este tipo de baterias demonstra uma tendência de ajuste das suas propriedades elétricas caso seja submetido a um ciclo de trabalho específico durante um extenso período de tempo. Os modelos de “*pocket-plate*”, “*fiber-plate*” e “*plastic-bonded plate*” não demonstram esta tendência.

A EDP Distribuição, com auxílio do departamento de manutenção do Norte, efetua a manutenção a sistemas de baterias de níquel-cádmio em aproximadamente 87% das suas Subestações instaladas no norte do país. A bateria SAFT SCL 221, ilustrada na Figura 14, é a mais utilizada.



Figura 14 – Baterias SAFT, modelos SCL, SCM e SCH [23]

Esta bateria pertence ao modelo ventilado “*pocket-plate*”, possui uma capacidade nominal de 221 Ah a uma taxa de descarga de C₅ e pesa 11,2 kg [24].

3.4.2. BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

As baterias de chumbo-ácido são fabricadas com configurações muito diversas, desde baterias de pequenas dimensões com capacidade de 1 Ah até baterias de grandes dimensões com capacidade até 12 000 Ah. A introdução do modelo regulado por válvula (*VRLA*) constituiu um desenvolvimento importante na tecnologia deste tipo de baterias. O modelo *VRLA* incorpora uma válvula de alívio de pressão destinada a selar as células até que a pressão interna exceda o valor máximo previsto. A válvula, normalmente, está fechada de modo a prevenir a entrada de oxigénio [9,10,25]. As baterias *VRLA* dividem-se em dois modelos com tecnologias diferentes de imobilização do eletrólito:

- Baterias com separador de microfibras de vidro (*AGM*): nestas baterias o eletrólito é imobilizado pela absorção do separador *AGM* colocado entre o elétrodo positivo e negativo. O separador *AGM* é constituído por microfibras de vidro. O oxigénio gerado na placa positiva, durante o processo de recarga,

consegue alcançar a placa negativa através da estrutura microporosa, reduzindo as perdas de água [26].

- Baterias com eletrólito de gel: nestas baterias o eletrólito líquido é imobilizado pela mistura com sílica. A mistura mantém um estado líquido até ser colocada nas células, endurecendo num gel posteriormente. Em alguns modelos novos, existe perda de água no final do processo de recarga ou quando se encontram em sobrecarga. Esta perda forma uma rede de ranhuras que permite a passagem de oxigénio da placa positiva para a negativa, reduzindo as perdas de água e minimizando o derrame de ácido [26].

As principais vantagens e desvantagens das baterias *VRLA* estão descritas na Tabela 6 [10].

Tabela 6 – Vantagens e desvantagens de baterias *VRLA*

Vantagens	Desvantagens
Manutenção mínima	Não devem ser armazenadas descarregadas
Capacidade elevada	Densidade de energia relativamente baixa
Efeito de memória mínimo (*)	Vida cíclica reduzida (*)
Indicador direto de estado de carga através da medição de tensão	Fugas térmicas podem ser induzidas por manutenção térmica imprópria ou por recargas incorretas
Monetariamente económicas (*)	Sensibilidade elevada a temperaturas elevadas

(*) - Comparativamente com baterias Ni-Cd

Em termos práticos, a EDP Distribuição efetua a manutenção de baterias *VRLA* em aproximadamente 13% das suas subestações instaladas no Norte do país. As baterias *VRLA AGM* representam de 58% e as *VRLA* de gel representam 42% da totalidade.

A *MARATHON M12V105FT*, representada na Figura 15, é um exemplo das baterias *VRLA AGM* usadas. Esta bateria possui uma tensão nominal de 12 V e, operando a 25 °C, demonstra uma capacidade nominal de 104 Ah a uma taxa de descarga de C₁₀. A sua resistência interna é de aproximadamente 4,9 mΩ e pesa cerca de 35,8 kg [27].



Figura 15 – Bateria *Marathon* M12V105FT [27]

Um exemplo das baterias *VRLA* de gel mais usada será a *OPzV 200*, representada na Figura 16. Esta bateria possui uma tensão nominal de 2 V e, operando a 20 °C, demonstra uma capacidade nominal de 213 Ah a uma taxa de descarga de C_{10} . A sua resistência interna é de 1,02 m Ω e pesa cerca de 19,5 kg [28].



Figura 16 -Baterias SUNLIGHT [28]

3.5. TESTES E MANUTENÇÃO

Na indústria, a relevância do funcionamento correto de baterias secundárias tem crescido exponencialmente. É exigido que com o seu auxílio, situações de emergência sejam

controladas em segurança. Para que este critério prevaleça, organizações como o IEEE (“*Institute of Electrical and Electronics Engineers*”) asseguram o fornecimento de práticas comuns e uniformizadas de instalação, teste, manutenção e substituição de baterias [29,30].

A realização de testes a sistemas de baterias é recomendável por uma variedade de razões. As principais razões são [31]:

- Assegurar que os equipamentos suportados pelo sistema estão apoiados corretamente;
- Prevenir falhas inesperadas através do acompanhamento da saúde do sistema;
- Prever ou advertir o estado de falha de baterias.

3.5.1. SISTEMAS DE BATERIAS DE NÍQUEL-CÁDMIO VENTILADAS

A diretriz *IEEE Std 1106TM-2005* [29], referente às práticas recomendáveis para instalação, manutenção, teste e substituição de baterias de níquel-cádmio ventiladas, delinea um plano de testes e inspeções periódicas para estes sistemas.

Inspeções trimestrais devem incluir o registo da voltagem flutuante do sistema, do seu aspeto físico e visual geral, corrente e tensão de saída do alimentador e temperatura ambiente. Inspeções semestrais devem incluir a medição e registo individual da tensão de saída de cada elemento do sistema.

Em termos de testes de autonomia do sistema, a diretriz menciona que deve ser efetuado um ensaio de descarga durante os primeiros dois anos de serviço. Ensaio de descarga adicionais devem ser efetuados com intervalos de 5 anos até que o sistema mostre valores excessivos de perda de capacidade, isto é, até que o sistema perca em média por ano 1,5% da sua capacidade disponível em relação à capacidade disponível registada no ensaio anterior. Após este indicador se verificar, os ensaios deverão ser anuais [29,31].

A Figura 17 exibe de um modo genérico a degradação ao longo do tempo de uma bateria de níquel-cádmio submetida a temperaturas entre os 20 °C e os 25 °C. O gráfico apresentado descreve uma função aproximadamente linear em que se denota uma degradação de sensivelmente 1% de perda de capacidade por ano de vida. O gráfico não mostra uma perda acentuada de capacidade no final de vida da bateria, pelo que por esta condição, não existe um ponto definido ou crítico para a sua substituição.

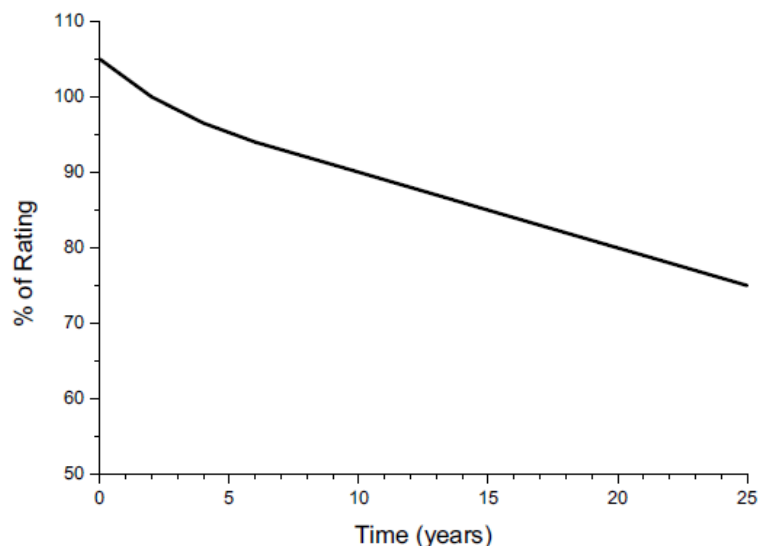


Figura 17 – Gráfico de degradação ao longo do tempo de uma bateria de Ni-Cd [29]

O critério de substituição de baterias nestes sistemas deve ser baseado nos resultados dos ensaios de descarga e respetiva interpretação. A análise deve ter como objetivo a perceção da capacidade de desempenho contínuo que o sistema fornece aos equipamentos por ele suportados [29].

3.5.2. SISTEMAS DE BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO REGULADAS POR VÁLVULA

A diretriz *IEEE Std 1188TM-2005* [30], referente às práticas recomendáveis para instalação, manutenção, teste e substituição de baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula, delinea um plano de testes e inspeções periódicas para estes sistemas.

Inspeções mensais devem incluir o registo da tensão flutuante do sistema, da corrente e tensão de saída do alimentador, temperatura ambiente, condições físicas e visuais do equipamento de ventilação e monitorização e condição física e visual de cada bateria. Inspeções trimestrais devem incluir a medição e registo individual de cada elemento quanto à sua resistência interna, à sua temperatura e à sua tensão.

Em termos de testes de autonomia do sistema, é aconselhável que um teste de descarga seja efetuado no momento da instalação do sistema. Adicionalmente, a diretriz refere que devem ser conduzidos ensaios de descarga com intervalos de dois anos. Ensaios anuais devem ser realizados caso o sistema atinja 85% da sua vida de serviço ou mostre degradação, isto é, até que o sistema perca mais de 10% de capacidade em relação ao valor do ensaio anterior ou apresente resultados inferiores a 90% do valor de origem [30,31].

Para estes sistemas específicos, o critério de substituição é definido pelo valor de capacidade inferior a 80% do valor de fábrica. A capacidade inferior ou igual a 80% revela que o grau de deterioração das baterias do sistema está a aumentar mesmo que o sistema consiga suportar a carga exigida. Contudo, o critério é subjetivo e outros fatores como resultados de testes insatisfatórios, novos requerimentos de carga ou temperaturas elevadas podem ser motivos para substituir o sistema. Nas baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula, a monitorização do parâmetro temperatura é de extrema importância pelo que a sua vida de serviço é reduzida em 50% a cada valor de 8 °C acima de 25 °C [30].

3.5.3. METODOLOGIA - EDP DISTRIBUIÇÃO

Todos departamentos de manutenção da EDP Distribuição inseridos no território nacional efetuam uma manutenção preventiva sistemática (MPS) dos seus ativos.

A monitorização do SACC é realizada pela URTA ou UC, através de medições de correntes, temperaturas e de tensões do Sistema global.

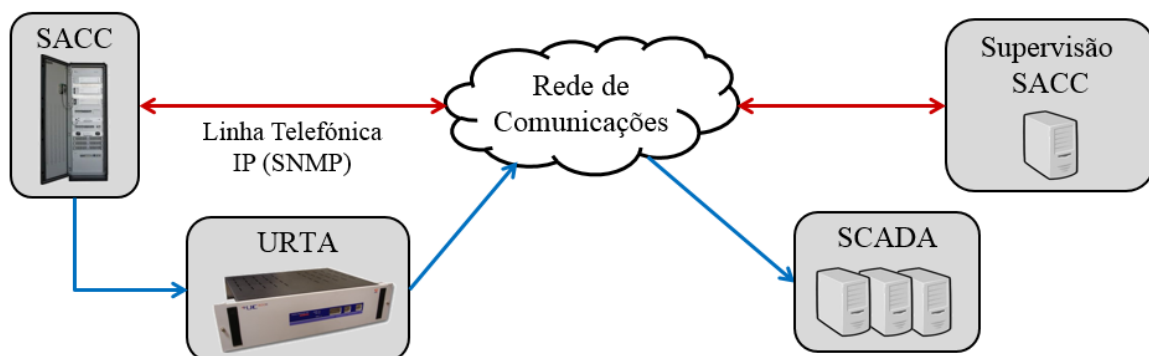


Figura 18 – Supervisão centralizada dos SACC

Genericamente, o sistema de monitorização atual, ilustrado na Figura 18, é constituído por dois canais de informação distintos. O canal representado pela cor azul transporta informação mínima e agregada, (medidas globais do sistema e alarmes) arquivada na UC através do sistema SCADA e reencaminhada para o Centro de Comando. O canal representado pela cor vermelha indica a ligação, em tempo real, complementar de teleengenharia no acesso remoto a todas as informações e configurações do SACC. Os sistemas de monitorização mais antigos só possuem o “canal azul”, sendo o acesso remoto efetuado através do sistema SCADA.

A supervisão dos SACC, quando necessária, é efetuada pelo departamento de manutenção da EDP Distribuição. O acesso de teleengenharia ao SACC é realizado por IP ou linha telefónica e manobrado através de *softwares* específicos dos SACC que disponibilizam o envio remoto de comandos de controlo, configurações de parâmetros, gráficos e eventos. A Figura 19 apresenta um dos *softwares* que possibilitam a supervisão dos SACC.

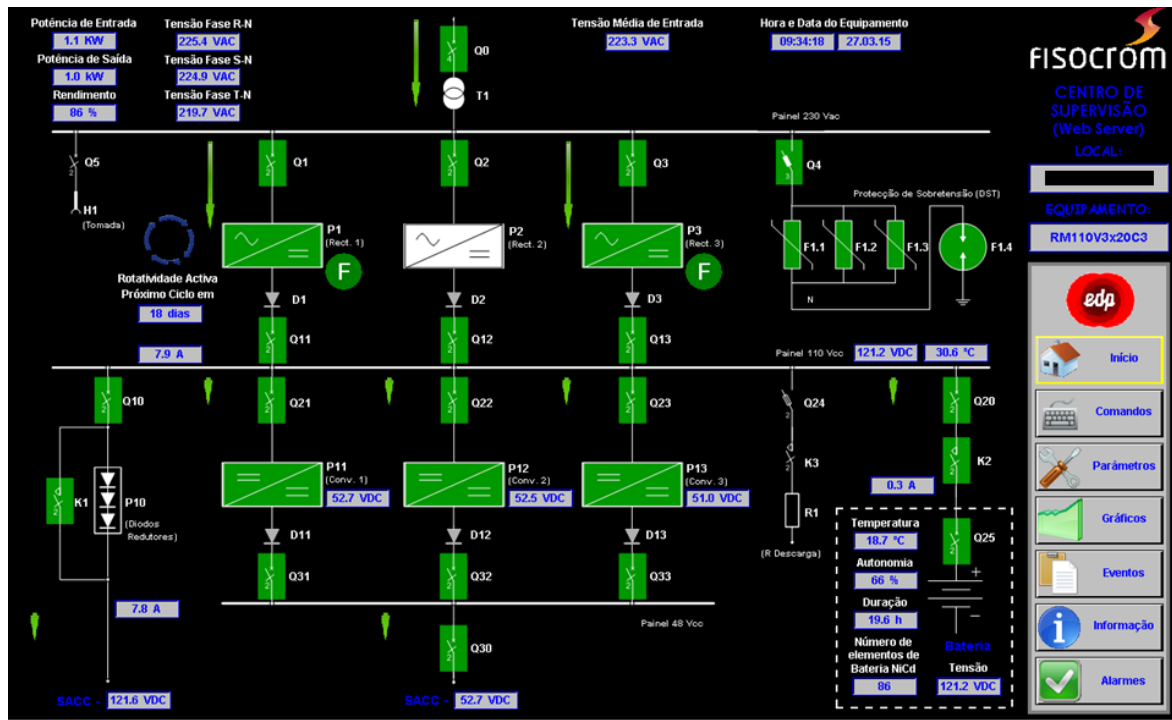


Figura 19 – Software de supervisão FISOCROM

Na manutenção do grupo de baterias em particular, os departamentos possuem empresas subcontratadas em concurso que efetuam a MPS definida nos manuais do operador da rede de distribuição. Esta manutenção é presencial, semestral, alusiva a todos os sites onde sistemas de baterias estão instalados e consiste na medição e registo de diversos parâmetros.

3.5.3.1. TESTES E VERIFICAÇÕES

As equipas de manutenção utilizam um relatório elaborado e fornecido pela EDP Distribuição que serve de diretriz para todos os procedimentos da MPS que são necessários efetuar e registar. A MPS é realizada no grupo de baterias que suporta os serviços de uma subestação a 110 Vcc e, caso exista, no grupo de baterias que alimenta os serviços a 48 Vcc. O Anexo B apresenta um relatório MPS exemplificativo.

O relatório inicialmente requer o registo do cadastro do sistema de alimentação onde os seguintes parâmetros são registados:

Tabela 7 – Cadastro do relatório MPS

Alimentador	Baterias
Marca	Marca
Modelo	Modelo
Nº Retificadores	N.º de elementos
Número de Série	Capacidade
Ano de instalação	Ano de instalação

Seguidamente, é requerida uma verificação inicial do sistema onde é necessário registar as seguintes medidas:

- Tensão do grupo de baterias em Regime Flutuante;
- Corrente fornecida pelo Alimentador em condições normais;
- Tensão do grupo de baterias em Regime de Reforço.

Ainda nesta verificação inicial a equipa de manutenção verifica visualmente o funcionamento das sinalizações locais, a limpeza interior e exterior, o aperto das ligações elétricas, o aspeto visual dos componentes e o nível de eletrólito de todas as baterias.

Após a verificação inicial ser finalizada, é efetuado, como teste de autonomia do grupo de baterias, um ensaio de descarga. Este ensaio é realizado durante 30 minutos onde o grupo de baterias é desligado do alimentador e ligado em série a uma carga regulada para uma taxa de descarga de C₅. Neste ensaio são registadas as seguintes medidas:

- Tensão inicial do grupo de baterias (medida prévia ao ensaio com a carga desligada);
- Corrente do ensaio de descarga;
- Tempo de ensaio de descarga;
- Tensão final do grupo de baterias (medida posterior ao ensaio com a carga desligada);
- Polaridades positiva e negativa em relação à terra.

A MPS é finalizada com a repetição do registo da verificação visual inicial após o teste de autonomia e com o registo das condições de climatização e ventilação da sala onde o Sistema de Alimentação se encontra.

Adicionalmente aos parâmetros da MPS exigidos, as equipas de manutenção efetuam duas medições individuais de todos os elementos do grupo de baterias, nas quais são essencialmente registados os parâmetros de tensão, resistência interna ou condutância e temperatura. A primeira medição é realizada antes do ensaio de descarga, após o grupo ter sido desligado do alimentador e em circuito aberto. A segunda medição é realizada no fim do ensaio de descarga em circuito aberto. Antes de ambas as medições serem efetuadas, são cedidos alguns minutos para que o grupo de baterias estabilize. Este registo complementar é concretizado num relatório distinto, denominado “relatório MPS Medidas”, e entregue à EDP Distribuição em simultâneo com o relatório MPS.

3.5.3.2. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

As equipas de manutenção de sistemas de baterias, dirigidas pelo departamento de manutenção do Norte do país, realizam todas as medições com o auxílio de um *EC2000*, representado na Figura 20. Este dispositivo permite a realização de testes avançados de baterias, medindo com precisão voltagens, condutâncias, temperaturas e sulfatações [32]. Todos estes parâmetros são registados na sua memória através de uma única medição e exportados através do emparelhamento com o *software* respetivo, o *IBMS™*.



Figura 20 – EC2000 [32]

No departamento de manutenção do Centro e Sul do país, todas as medições são realizadas pelas equipas com auxílio de um multímetro *FLUKE BT521*, representado na Figura 21, e exportadas através do emparelhamento com o *software* respetivo, o *Fluke Battery Management™*. Este dispositivo permite a realização de testes avançados de baterias, medindo com precisão voltagens, resistências internas e temperaturas.



Figura 21 – Fluke BT521 [33]

Ambos os dispositivos disponibilizam dois tipos diferentes de métodos de medição: o modo de medição singular e o modo de medição em sequência [32,33].

O modo de medição singular permite medições fáceis e rápidas com possibilidade de armazenamento na memória do aparelho, sendo o método utilizado no relatório MPS. O modo de medição em sequência permite ao utilizador criar um perfil, no qual é inserido o cadastro de informação do sistema de baterias, e de seguida efetuar medições sequenciais em todas as baterias, armazenando o perfil na sua memória para uma exportação posterior através dos seus softwares respetivos. As equipas de manutenção utilizam este método no registo do relatório MPS Medidas.

3.6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de baterias primárias e secundárias tem sido exponencial ao longo do tempo. Progressos têm sido realizados em parâmetros como a tensão, densidade de potência, densidade de energia, eficiência, desempenho sob temperaturas baixas e sobre temperaturas altas, validade e custo monetário. Com o aumento da diversidade de tipologias

e estruturas de baterias, é notória a importância para o utilizador de funções, indicadores e estados universais.

A EDP Distribuição, nas suas instalações, utiliza baterias de níquel-cádmio e chumbo-ácido. Estas tipologias são confiáveis, eficientes, de capacidade elevada, de longa vida cíclica, resistentes e de manutenção mínima.

As aplicações direcionadas à implementação de baterias são vastas. A exigência perante o desempenho correto da bateria é alta o que impulsiona uma manutenção mais eficiente e eficaz. A veracidade e precisão na estimação do estado de saúde da bateria ou do sistema que engloba a bateria tornaram-se fatores relevantes na gestão de ativos por parte das entidades que efetuam o controlo e manutenção destes elementos.

A manutenção dos grupos de baterias, instalados nas Subestações AT/MT da EDP Distribuição, é realizada periodicamente de modo a prevenir falhas súbitas. O processo está uniformizado na medição e registo de todos parâmetros, através de testes de autonomia realizados com equipamentos específicos, necessários à avaliação e estimação do estado de saúde.

4. ANÁLISE E PROPOSTAS DE MELHORIA DA METODOLOGIA ADOTADA

Este capítulo visa dar a conhecer o algoritmo de estimação do estado de saúde de baterias atualmente utilizado pela EDP Distribuição e a sua metodologia envolvente. Adicionalmente é descrita a proposta de melhoria, composta pelo desenvolvimento de um algoritmo adaptado que incorpora a análise de parâmetros estatísticos. Na descrição individual dos algoritmos são referenciados todos os parâmetros de análise, variáveis respetivas e os modelos de cálculo utilizados. Na secção final são retiradas conclusões e é realizada uma comparação de funcionalidades entre algoritmos.

4.1. ANÁLISE DOS ENSAIOS DE BATERIAS – METODOLOGIA EDP DISTRIBUIÇÃO

No universo da empresa EDP Distribuição, os gestores de sistemas de baterias inseridos nos departamentos de manutenção desempenham diversas tarefas. Uma das tarefas consiste no preenchimento anual de um relatório de criticidade que incide sobre o estado elétrico e físico dos ativos. Este relatório tem como objetivo a elaboração de propostas de renovação de ativos de forma priorizada. Na partição correspondente aos grupos de baterias,

os gestores preenchem uma série de campos relativos a informação, medições e observações deste sistema. Este preenchimento é realizado com base na análise manual e individual de todos os relatórios MPS e respectivos relatórios MPS Medidas.

4.1.1. ALGORITMO DE ESTIMAÇÃO DO ESTADO DE SAÚDE

O relatório de criticidade incorpora um algoritmo interno de estimação do estado de saúde de grupos de baterias que é calculado à medida que as variáveis são introduzidas. Para efeitos de referência, este algoritmo será denominado “algoritmo EDPD-ISB”.

O algoritmo EDPD-ISB é constituído por quatro parâmetros. Cada parâmetro é considerado pelo algoritmo consoante o seu peso percentual. Na Tabela 8 estão referidos os parâmetros e os respetivos pesos algorítmicos percentuais.

Tabela 8 – Parâmetros e pesos percentuais do algoritmo EDPD-ISB

Parâmetro Algorítmico	Peso Algorítmico máximo
Idade do sistema	25%
Tensões individuais	55%
Corrosão física do sistema	10%
Corrosão física do armário do sistema	10%

A estimação do estado de saúde do sistema de baterias (SOH) é calculada através da soma total dos produtos entre os parâmetros e os pesos algorítmicos respetivos.

$$SOH = \sum_{i=1}^4 \text{Parametro Algorítmico}_i \times \text{Peso Algorítmico máximo}_i \quad (4)$$

O peso algorítmico máximo, consoante cada parâmetro, indica o correto funcionamento da bateria na avaliação do parâmetro respetivo, simbolizando a plena “saúde” dos elementos. Na eventualidade do peso algorítmico calculado ser o mínimo (0%), este indica o funcionamento incorreto da bateria na avaliação do parâmetro respetivo, simbolizando a ausência de “saúde” dos elementos.

4.1.1.1. IDADE DO SISTEMA

O parâmetro “idade do sistema” tem um peso percentual de 25% e faz a distinção entre sistemas de baterias de níquel-cádmio e baterias de chumbo-ácido. Cada tipologia possui uma função matemática exponencial que traduz a degradação estimada no sistema ao longo do tempo. As funções foram selecionadas por melhor traduzirem os valores específicos definidos pela experiência e análise de resultados ao longo do tempo.

Baterias de níquel-cádmio:

$$f(x) = -3.10^{-5} . x^3 + 0,0021 . x^2 + 0,018 . x + 0,0521 \quad (5)$$

Baterias de chumbo-ácido:

$$f(x) = 0,0011 . x^2 + 0,0846 . x + 0,0443 \quad (6)$$

A variável x é definida pela idade do sistema de baterias expressa em anos. Na Figura 22 estão representadas graficamente as funções matemáticas.

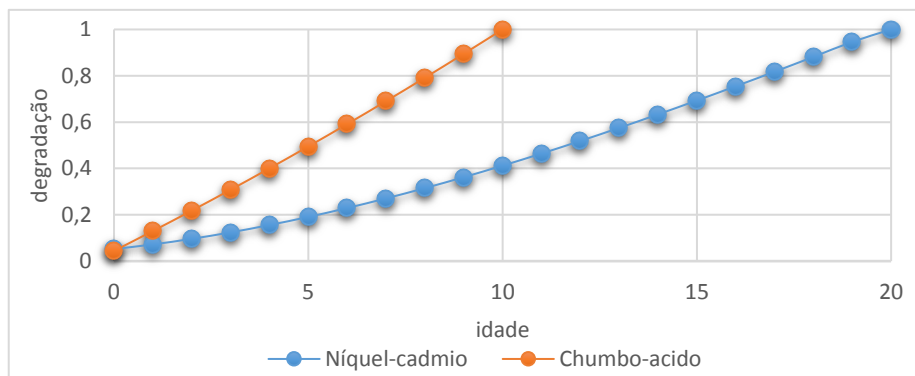


Figura 22 – Degradação de baterias em função da idade

O produto entre o resultado de $f(x)$ e o peso percentual algorítmico respectivo dimensiona o valor final do parâmetro em calculo.

4.1.1.2. TENSÕES INDIVIDUAIS

O parâmetro de tensões individuais de cada elemento do sistema de baterias tem um peso algorítmico de 55% e é obtido através de várias fases. A primeira fase consiste na formação de dois grupos. O primeiro grupo detém o número de elementos que revelam tensões finais de descarga inseridas num intervalo de 80 a 95% da tensão nominal, enquanto

que o segundo grupo engloba o número de elementos com tensões finas de descarga inferiores a 80% da tensão nominal.

A segunda fase consiste na passagem do número de elementos de cada grupo para uma percentagem relativa ao número total de baterias constituintes do sistema. Esta percentagem, consoante o grupo respetivo, irá ser definida por intervalos de pesos percentuais diferentes. Os intervalos estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Grupos percentuais do parâmetro “tensão individual”

Tensões no Intervalo de [80,90] %		Tensões inferiores a 80%	
Percentagem de elementos no grupo	Peso do Grupo	Percentagem de elementos no grupo	Peso do Grupo
0%	100%	0%	100%
]0,25] %	75%]0,5] %	75%
]25,80] %	50%]5,20] %	50%
]80,100] %	25%]20,40] %	25%
-	-]40,100] %	0%

Na comparação dos dois pesos de grupo obtidos, é selecionado o peso inferior. O cálculo do parâmetro de tensões individuais é então finalizado com o produto entre o peso percentual algorítmico respetivo e o peso de grupo selecionado.

4.1.1.3. CORROSÕES

Ambos os parâmetros que abordam as corrosões físicas, presentes nas baterias ou no armário do sistema, são de observação. Esta observação está dividida em estados de condição predefinidos com a atribuição de pesos respetivos. A Tabela 10 descreve a interligação.

Tabela 10 – Grupos percentuais do parâmetros “Corrosões”

Corrosão de baterias		Corrosão do armário	
Estado	Peso	Estado	Peso
Nenhuma bateria com danos	100%	Sem corrosão	100%

Até 10% das baterias com danos	75%	Com pontos de corrosão	75%
Entre 10 e 25% das baterias com danos	50%	Até 25% da superfície	50%
Mais do que 25% das baterias com danos	25%	Entre 25% e 50% da superfície	25%
-	-	Mais de 50% da superfície	0%

A seleção do estado é efetuada através da análise de campos ou notas que constem nos relatórios MPS sobre estas condições. Estes parâmetros são calculados através do produto entre os pesos algorítmicos respetivos e os pesos correspondentes aos estados selecionados.

4.2. PROPOSTA DE MELHORIA DA METODOLOGIA

A abordagem prévia do desenvolvimento de uma proposta de melhoria teve como pressupostos as seguintes características:

- *Software* de automatização da metodologia;
- Implementação de algoritmos de estimação do estado de saúde, gerais a todas as tipologias de baterias;
- Complexidade computacional reduzida;
- *Inputs* baseados nos valores de medições registados nos relatórios disponíveis.

Assumindo os pressupostos, a proposta de melhoria do método de estimação do estado de saúde é baseada na adaptação parcial do algoritmo EDPD-ISB e com base nos parâmetros medidos e registados nos relatórios de ensaios disponíveis (MPS e MPS Medidas). Esta proposta inclui:

- A automatização em *software* de recolha de dados provenientes de relatórios;
- A automatização em *software* do algoritmo EDPD-ISB;
- A junção da análise de um novo parâmetro: resistência interna ou condutância.
- Novo método de análise fundamentada em parâmetros estatísticos.
- Criação e automatização em *software* de dois novos algoritmos adaptados:

- Algoritmo EDPD-ISB com recurso a análise estatística sobre o parâmetro de tensão individual;
- Algoritmo EDPD-ISB com recurso a análise estatística sobre o parâmetro de resistência interna ou condutância individual.

A automatização em *software* é descrita na sua plenitude no quinto capítulo deste documento.

4.2.1. ANÁLISE DE PARÂMETROS: RESISTÊNCIA INTERNA OU CONDUTÂNCIA

A implementação da análise de novos parâmetros como a resistência interna ou a condutância no algoritmo EDPD-ISB complementa a avaliação e monitorização de fatores que revelam influência na saúde das baterias.

O parâmetro de resistência interna está presente na estrutura de todas as tipologias de baterias. A Figura 23 ilustra o modelo elétrico simplificado.

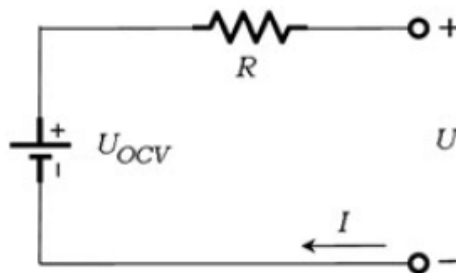


Figura 23 – Modelo elétrico simplificado de uma bateria [18]

Alterações deste parâmetro influenciam diretamente o desempenho da bateria afetando a sua capacidade disponível. A resistência interna de uma bateria pode ser afetada por fatores como corrosão, sulfatação e *dry out* (existentes nas baterias chumbo-ácido), estado de carga, temperatura, degradação do eletrólito, envelhecimento e aumento cíclico da bateria [17,18].

Nas baterias, valores baixos de resistência interna possibilitam o desempenho normal das funcionalidades. O aumento da resistência interna, exemplificado na Figura 24, causa o aquecimento prematuro da bateria, refletindo um colapso na tensão de saída, induzindo restrições na corrente e antecipando o estado de falha da bateria [34].

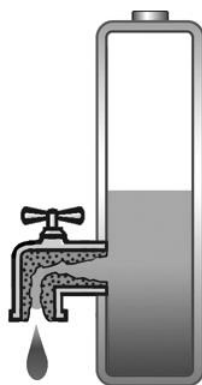


Figura 24 – Ilustração exemplificativa de uma bateria sob condutância reduzida [34]

A condutância, como propriedade inversa da resistência elétrica, reflete a facilidade de fluxo da corrente elétrica. Quanto maior for a resistência interna, menor será a condutividade elétrica.

4.2.2. ANÁLISE FUNDAMENTADA EM PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Num sistema de baterias, o funcionamento individual desigual afeta o sistema de forma crítica. As células com os estados de carga maiores e menores limitam o desempenho de todo o sistema. A célula em estado de sobrecarga determina a capacidade do sistema, enquanto que a célula sob carga limita a energia fornecida pelo sistema [35].

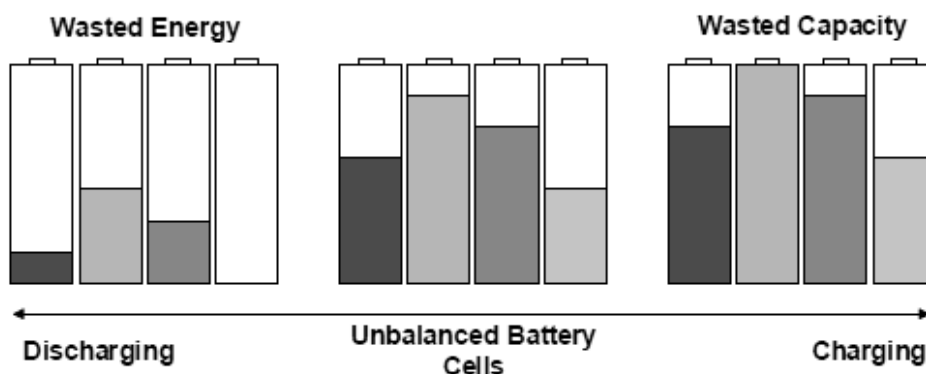


Figura 25 – Baterias desequilibradas [35]

De forma a eliminar as limitações impostas pela desigualdade, a maioria dos sistemas de gestão de baterias, hoje em dia, integram funções de equalização que garantem um estado de carga equivalente na totalidade de baterias do sistema durante os processos de descarga e recarga [17]. A equalização a 100% não se verifica em sistemas reais devido à desigualdade de deterioração individual que abrange o sistema. Na adaptação do algoritmo EDPD-ISB, a

homogeneidade nos parâmetros individuais foi incorporada na estimação do estado de saúde do sistema.

O estudo da homogeneidade é realizado com recurso a parâmetros estatísticos. Com base na população de resultados individuais do parâmetro em causa, primeiramente, o algoritmo efetua o cálculo da média aritmética da população, μ , consistindo no valor médio de valores da população [36].

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (7)$$

Em que, “ x_i ” representa cada valor individual da população e “N” representa o número total de amostras na população.

Seguidamente, o algoritmo procede no cálculo do desvio padrão, σ . Este parâmetro revela a dispersão de valores em relação à média aritmética, refletindo o grau de homogeneidade dos valores da população [36].

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (8)$$

A análise destes parâmetros necessita de ser conjunta e relativa a intervalos de referência impostos pelo utilizador.

4.2.3. ALGORITMO EDP-ISB ESTATÍSTICO COMPLEMENTAR

Os algoritmos EDPD-ISB estatísticos, à semelhança do algoritmo original, avaliam quatro parâmetros principais, diferindo na seleção do parâmetro com o peso algorítmico superior e no seu modo de análise.

Tabela 11 - Parâmetros e pesos percentuais do algoritmo EDPD-ISB estatístico

Parâmetros Algorítmicos	Peso Algorítmico
Idade do sistema	25%
Homogeneidade / Tensão / Resistência / Condutância	55%
Corrosão física do sistema	10%
Corrosão física do armário do sistema	10%

Os parâmetros relativos à idade e corrosões do sistema são considerados pelo algoritmo através dos mesmos processos descritos nas secções 4.2.1.1. e 4.2.1.3. respectivamente. O fluxograma ilustrado na

Figura 26 descreve a avaliação da homogeneidade do sistema em termos de tensão ou resistência e condutância.



Figura 26 – Fluxograma de análise do parâmetro homogeneidade

Inicialmente o algoritmo requer o *input* dos intervalos percentuais admissíveis pelo utilizador. A avaliação dos parâmetros será efetuada apenas dentro dos limites percentuais de média e desvio padrão impostos, relativos aos valores de referência dos parâmetros em

avaliação. As condições a que o algoritmo recorre para atribuição do peso algorítmico máximo (55%) ou mínimo (0%) estão descritas na Tabela 12.

Tabela 12 – Condições do algoritmo EDPD-ISB estatístico

Parâmetro	Condições	
Tensão	1.1: $\mu_{\%Ref} \geq \lim_{\%sup}\mu$	2.1: $\sigma_{\%}\mu \geq \lim_{\%sup}\sigma$
	1.2: $\mu_{\%Ref} \leq \lim_{\%inf}\mu$	2.2: $\sigma_{\%}\mu \leq \lim_{\%inf}\sigma$
Resistência Interna	1.1: $\mu_{\%Ref} \leq \lim_{\%inf}\mu$	2.1: $\sigma_{\%}\mu \geq \lim_{\%sup}\sigma$
	1.2: $\mu_{\%Ref} \geq \lim_{\%sup}\mu$	2.2: $\sigma_{\%}\mu \leq \lim_{\%inf}\sigma$
Condutância	1.1: $\mu_{\%Ref} \geq \lim_{\%sup}\mu$	2.1: $\sigma_{\%}\mu \geq \lim_{\%sup}\sigma$
	1.2: $\mu_{\%Ref} \leq \lim_{\%inf}\mu$	2.2: $\sigma_{\%}\mu \leq \lim_{\%inf}\sigma$

4.2.3.1. AVALIAÇÃO DA MÉDIA ARITMÉTICA

A média aritmética permite a análise direta das medições efetuadas no sistema. Em nota de exemplo, se o utilizador perante o parâmetro “tensão” inserir o intervalo percentual predefinido de [80%,100%] de média aritmética, o algoritmo considera que valores de média percentuais inferiores ou iguais a 80% da tensão de referência valem o peso algorítmico mínimo (0%) e valores de média percentuais ($\mu_{\%ref}$) superiores ou iguais a 100% da tensão de referência valem o peso algorítmico máximo (55%). A avaliação do parâmetro “condutância” funciona de forma idêntica. No parâmetro “resistência interna” o algoritmo atribui os pesos de forma inversa. Caso o utilizador insira um intervalo predefinido de [100%,150%], o peso algorítmico máximo (55%) será atribuído a valores de média percentuais ($\mu_{\%ref}$) inferiores ou iguais a 100% da resistência de referência e o peso algorítmico mínimo (0%) a valores de média percentuais superiores ou iguais a 150% da resistência de referência. A Figura 27 demonstra graficamente o exemplo.

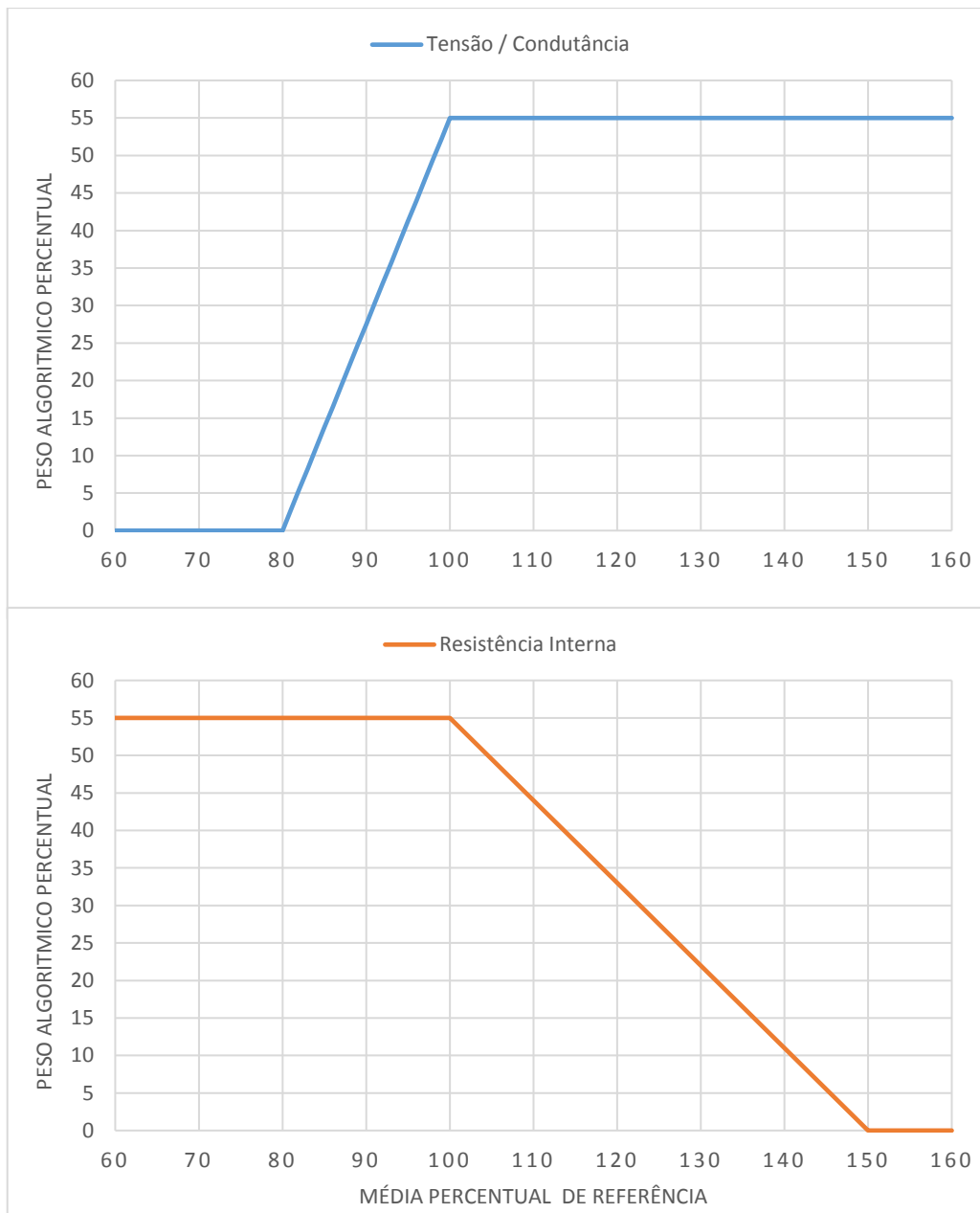


Figura 27 – Distribuição da média percentual de referência

Como já foi referido, a atribuição do peso algorítmico máximo representa o correto funcionamento dos elementos do grupo de baterias e a atribuição do peso algorítmico mínimo indica que os elementos apresentam valores bastante inferiores ao valor de referência, demonstrando pouca ou nula autonomia. Os intervalos predefinidos presentes no algoritmo são impostos com base na experiência empírica transmitida através do histórico de falhas dos sistemas.

Caso a média percentual de referência ($\mu_{\%ref}$) esteja compreendida entre os limites impostos, o algoritmo efetua o seguinte cálculo respectivo ao parâmetro “tensão” e “condutância”. Este cálculo é traduzido por uma função linear com a seguinte equação:

$$Peso_{\%Alg} = \frac{\mu_{\%ref} - \lim_{\%inf}\mu}{\lim_{\%sup}\mu - \lim_{\%inf}\mu} \times Peso_{\%Alg} \text{ máximo} \quad (9)$$

Respetivamente ao parâmetro “resistência interna”, através de uma função linear semelhante, é efetuado o cálculo da seguinte equação:

$$Peso_{\%Alg} = \frac{\lim_{\%sup}\mu - \mu_{\%ref}}{\lim_{\%sup}\mu - \lim_{\%inf}\mu} \times Peso_{\%Alg} \text{ máximo} \quad (10)$$

4.2.3.2. AVALIAÇÃO DO DESVIO PADRÃO

A homogeneidade retratada pelo desvio padrão é calculada de forma igual pelo algoritmo em todos os parâmetros. Caso o utilizador insira, por exemplo, um intervalo predefinido de limites entre [90%,99,5%] de desvio padrão aplicado à tensão dos elementos, sendo o limite máximo superior fixo a 100%, o algoritmo atribui o peso algorítmico mínimo (0%) a valores percentuais de desvio padrão ($\sigma_{\%μ}$) inferiores ou iguais a 90% e o peso algorítmico máximo (55%) a valores percentuais de desvio padrão ($\sigma_{\%μ}$) superiores ou iguais a 99,5%. A Figura 28 demonstra graficamente o exemplo.

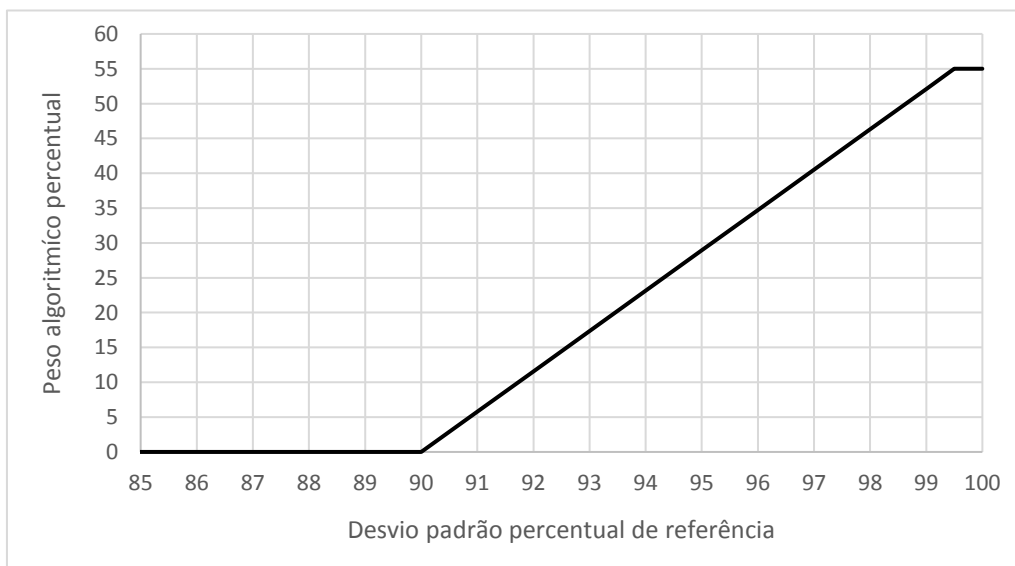


Figura 28 – Distribuição do desvio padrão percentual de referência

O limite superior de desvio padrão de 99,5% aplicado à tensão dos elementos, é suportado pela análise efetuada em mais de 40 ensaios a grupos de baterias, ilustrada no gráfico da Figura 29 elaborado com base nos valores da Tabela 21 do Anexo C. No estudo, ensaios que apresentam uma dispersão insignificante no correto funcionamento do sistema, revelam valores de homogeneidade entre 99,5% e 100%. O limite inferior de 90% foi predefinido de modo a garantir a sinalização de dispersões que possam causar falhas no sistema.

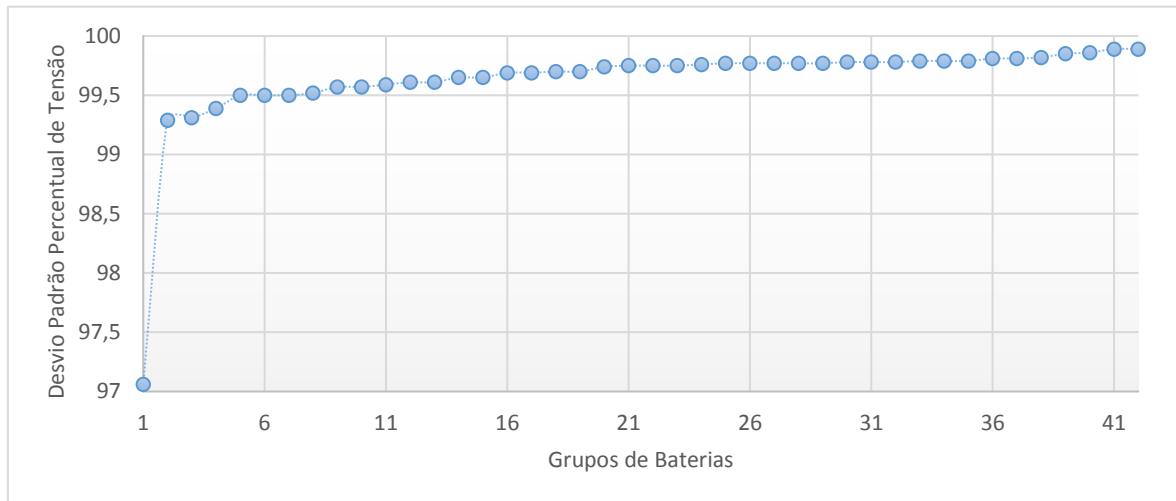


Figura 29 – Estudo do desvio padrão percentual aplicado à tensão

Quanto maior for a heterogeneidade de valores, proporcional ao declínio do funcionamento do grupo de baterias, maior será o valor de desvio padrão e, consequentemente, menor será o estado de saúde do grupo.

Caso o desvio padrão percentual de referência seja abrangido pelos limites previamente impostos, o algoritmo realiza o seguinte cálculo de uma função linear com a seguinte equação:

$$Peso_{\%Alg} = \frac{\sigma_{\% \mu} - \lim_{\%inf} \sigma}{\lim_{\%sup} \sigma - \lim_{\%inf} \sigma} \times Peso_{\%Alg} \text{ máximo} \quad (11)$$

4.3. CONCLUSÕES

O algoritmo EDPD-ISB foi inicialmente estruturado de maneira a servir os propósitos da gestão de ativos. Neste âmbito, a nível de falhas críticas, garante uma resposta exata perante a estimativa do estado de saúde. Qualquer bateria em estado de falha é assinalada no algoritmo e uma visão ampla dos parâmetros do sistema é registada e

arquivada. Contudo, este algoritmo valoriza apenas os seguintes parâmetros de baterias: a idade, tensão e estado físico.

O algoritmo EDPD-ISB estatístico foi inicialmente desenvolvido para complementar o algoritmo original. Falhas críticas são identificadas na análise da média aritmética, enquanto que homogeneidade é retratada na dispersão de valores identificada pelo desvio padrão. O algoritmo EDPD-ISB estatístico valoriza os seguintes parâmetros do sistema de baterias: a idade, a homogeneidade de valores, tensão, resistência ou condutância e estado físico. A implementação da avaliação do parâmetro temperatura não foi considerada devido à instabilidade e incerteza de condições ambientais possíveis na obtenção de medidas. As medições realizadas a este parâmetro são influenciadas pela estação do ano, período do dia e condições físicas da Subestação AT/MT.

Em ambos os algoritmos, o peso do parâmetro algorítmico dominante é determinado através da seleção do valor da variável intrínseca com o peso calculado inferior. Esta escolha é realizada por segurança, com o objetivo de assinalar a variável com falhas superiores.

Os algoritmos EDPD-ISB estatísticos de tensão e resistência ou condutância, não substituem o algoritmo original EDPD-ISB. A função principal dos algoritmos adaptados é de complementação na análise da estimação do estado de saúde do sistema de baterias. Para cada ensaio, o *software* disponibiliza o resultado da estimação dos três algoritmos, sendo a análise do critério de substituição manual e baseada na experiência empírica do gestor.

5. IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DA NOVA METODOLOGIA

Atualmente, a metodologia de análise de ensaios a grupos de baterias em vigor na EDP Distribuição, rege-se totalmente pela observação e estudo, individual e manual, de mais de 300 relatórios semestrais no formato de ficheiros *Excel* ou CSV. O gestor encarregado pela supervisão destes ativos necessita de preencher manualmente um relatório global respetivo ao estado de todos os ativos de forma a propor renovação de ativos conforme a criticidade imposta. Apenas no preenchimento do relatório final, pela primeira vez, são disponibilizados os valores de estado de saúde atribuídos pelo algoritmo EDPD-ISB, explicado na Secção 4.1.1. deste documento.

Este capítulo tenciona descrever todo o processo de automatização da metodologia descrita, explicando o desenvolvimento e funcionamento de um *software*, denominado “CardioBat”, criado inteiramente para servir o propósito de ajudar, acelerar e simplificar as tarefas envolvidas na gestão dos grupos de baterias. No final do capítulo são descritos alguns testes efetuados de modo a sustentar a validação do *software*.

5.1. PRESSUPOSTOS DO SOFTWARE

O *software* CardioBat foi desenvolvido com recurso à linguagem de programação *C Sharp* (C#), por escolha própria. Esta escolha teve influência da familiarização previamente adquirida relativa à linguagem de programação C. Como evolução das linguagens C e C++, o C# orientado a objetos proporciona simplicidade e modernidade. Introduzido como *Visual C#* na plataforma de desenvolvimento utilizada, *Visual Studio .NET*, esta linguagem é suportada por estruturas predefinidas de projetos, *designs* predefinidos, páginas de propriedades, assistentes de código, modelos de objetos e outras características incorporadas no ambiente de desenvolvimento [37].

A análise de relatórios em formato *Excel*, conduziu à implementação de funções capazes de criar, importar, manipular e exportar ficheiros *Excel*. A automatização de processos incorporada no *software* disponibiliza o controlo da aplicação *Microsoft Excel* através da inserção da biblioteca *Microsoft Excel Object Library* [38], permitindo ao *software* a leitura dos formatos “xls” (*Excel* 2003), “xlsx” (*Excel* 2007) e “xlsm” (*Excel* com macros).

O CardioBat incorpora mais de 5 mil linhas de código funcionais distribuídas ao longo de 5 formulários com *designs* de autoria própria. Todos os formulários possuem funções de carregamento automático de informação conjuntamente com as funções de processos, desbloqueados pela seleção de botões indicativos. O *software* disponibiliza ainda um conjunto de 91 configurações internas. Esta implementação elimina a necessidade de configuração sistemática do *software* a cada iniciação.

5.2. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE

O CardioBat apresenta uma *interface* global simples, intuitiva e “amigável”. A navegação pelo *software* é realizada através da seleção de opções disponibilizadas por um menu que se mantém fixo ao longo das diversas adaptações do *software*. A Figura 30 ilustra o ecrã inicial de abertura apresentado pelo CardioBat.



Figura 30 – Ecrã inicial (CardioBat)

O *software* incorpora na sua estrutura primária três partições principais: “Relatórios MPS”, “MPS Medidas” e “Configurações”. A Figura 31 apresenta o menu fixo de opções disponíveis, equivalentes às partições mencionadas.

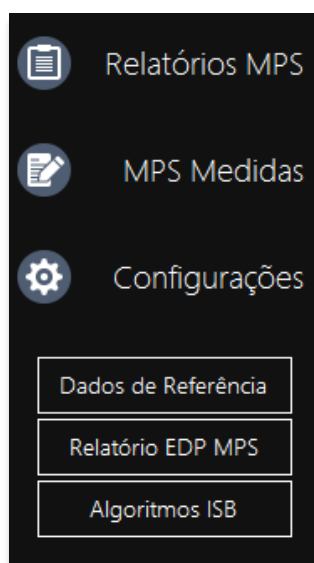


Figura 31 – Menu de partições (CardioBat)

A partição “Configurações”, descrita em mais detalhe na Secção 5.2.1., está subdividida em três partições que correspondem a configurações de variáveis internas do *software*.

- “Configurações - Dados de referência”: partição onde são carregados e disponibilizados todos os dados de referências necessários ao cálculo dos algoritmos EDPD-ISB;

- “Configurações - Relatório EDP MPS”: partição correspondente à configuração do processo de importação dos relatórios MPS;
- “Configurações – Algoritmos ISB”: partição correspondente à configuração de todos os pesos algorítmicos e limites percentuais de intervalos dos parâmetros avaliados.

A partição “Relatórios MPS”, descrita em mais detalhe na Secção 5.2.2., é responsável pela importação, agregação, limpeza e exportação de todos os dados provenientes dos relatórios MPS e pela respetiva associação dos relatórios MPS Medidas. Nesta partição é disponibilizada a *interface* gráfica dos relatórios, as configurações respetivas a cada tipologia de Relatório MPS Medidas, assim como os valores da estimação do estado de saúde atribuídos pelo algoritmo EDPD-ISB e pelos algoritmos EDPD-ISB estatísticos.

A partição “MPS Medidas”, descrita em mais detalhe na Secção 5.2.3., disponibiliza uma leitura rápida e individual de relatórios MPS Medidas, apresentando uma *interface* gráfica com a implementação dos algoritmos EDPD-ISB.

5.2.1. PARTIÇÃO - CONFIGURAÇÕES

A primeira opção de configurações disponível, corresponde aos dados de referência, sendo a sua *interface* apresentada ao utilizador de acordo com a Figura 32.

	Substação	(Subst)Parte	(Bat)Marca	(Bat)Modelo	(Bat)Tipo	(Bat)Ano	(Bat)Elementos	(Bat)Tensão Ref	(Bat)Resistência Ref	Corrosão Bateria
▶	Abogalheira	48V	MARATHON	L2V270	AGM	2014	24	2	1754	Nenhuma bateria...
	Acail	110V	SAFT	KM161P	Alcalina	2003	84	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Agras do Norte	48V	MARATHON	M12V105F	AGM	2008	4	12	1754	Nenhuma bateria...
	Agueda	110V	GAZ	KL200P	Alcalina	2015	84	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Alagoa	110V	SAFT	SCL221	Alcalina	2012	86	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Albergaria	110V	PROTECT LINE	KPL210P	Alcalina	2015	86	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Alfena	110V	SAFT	SCL221	Alcalina	2012	86	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Alvelos	110V	SAFT	SCL221	Alcalina	2012	90	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Alvelos	48V	TUDOR EMISA	VN119-2	Alcalina	1991	40	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Amarante	110V	SAFT	SNL205	Alcalina	2016	86	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Amarante	48V	YUASA	SWL1100	AGM	2016	4	12	1754	Nenhuma bateria...
	Amare	110V	TUDOR EMISA	LP135	Alcalina	2000	90	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Amieira	110V	SAFT	SNL205	Alcalina	2016	86	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Amorosa	48V	TUDOR	LP46	Alcalina	1990	37	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	ancora	110V	SAFT	SCL221	Alcalina	2014	86	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Antas	110V	TUDOR EMISA	LP300	Alcalina	1990	86	1,2	1754	Nenhuma bateria...
	Arada	110V	SAFT	KM84P-I P80	Alcalina	2002		1,2	1754	Nenhuma bateria...

Figura 32 – *Interface* de dados de referência (CardioBat)

A importação de dados é automática e realizada na abertura inicial do *software*, através do carregamento automático de um ficheiro *Excel* uniformizado pelo *software*, incorporando o preenchimento dos seguintes campos:

Tabela 13 – Dados de referência

Subestação	Nome
	Grupo de Baterias
Grupo de baterias	Marca
	Modelo
	Tipologia
	Ano de Instalação
	N.º de elementos
	Tensão de referência
	Resistência / Condutância de referência
	Corrosão visual do grupo
	Corrosão visual do armário

A importação dos dados efetuada com sucesso é sinalizada no menu principal do CardioBat através da exibição de uma mensagem de cor verde com a mensagem: “Dados de Referência Ativos!”. Caso a importação não seja bem-sucedida, o *software* exhibe na mesma posição uma mensagem de cor vermelha com a mensagem: “Dados de Referência Inativos!”.

Ainda nesta partição, o diretório do ficheiro *Excel* de dados de referência é guardado como variável interna do *software*, não sendo necessária a seleção do diretório sempre que o *software* é iniciado. De modo a garantir a uniformização do ficheiro *Excel* correspondente aos dados de referência, é disponibilizado pelo *software*, através da seleção do ícone azul no canto superior direito da Figura 32, a criação de um ficheiro *Excel* modelo.

A segunda opção de configurações disponível corresponde ao relatório MPS. O *software* não importa a totalidade de informação presente neste relatório, importando apenas a informação crucial para o arquivo e análise. Desta forma, o *software* seleciona células específicas de informação do relatório MPS, em formato *Excel*, de acordo com as configurações presentes nesta partição, ilustrada na Figura 33.

Relatório Excel EDP MPS
Configurações - Geral

Subestação

	Nome	Linha	Coluna
		5	4
	Id	5	10

Sala

	Temperatura	Linha	Coluna
	60	60	17

Guardar Configs.

	Marca	Linha	Coluna
Grupo Baterias [Painel 110Vcc]	Modelo	14	6
	Elementos	15	6
	Capacidade	16	6
		17	6
	Ano	18	6

	Tensão Reg. Flutuante	Linha	Coluna
Verificação Inicial [Painel 110Vcc]	Corrente Alimentador Normal	27	13
		28	13
	Tensão Reg. Reforço	29	13

	Tensão Inicial	Linha	Coluna
Ensaio Descarga [Painel 110V]	Corrente Descarga	44	15
	Tempo Descarga	45	15
		46	15
	Tensão Global Final	47	15
	Tensão Pol. Positiva	48	15
Tensão Pol. Negativa	49	15	

	Marca	Linha	Coluna
Grupo Baterias [Painel 48Vcc]	Modelo	14	10
	Elementos	15	10
	Capacidade	16	10
		17	10
	Ano	18	10

	Tensão Reg. Flutuante	Linha	Coluna
Verificação Inicial [Painel 48Vcc]	Corrente Alimentador Normal	27	14
		28	14
	Tensão Reg. Reforço	29	14

	Tensão Inicial	Linha	Coluna
Ensaio Descarga [Painel 48Vcc]	Corrente Descarga	44	16
	Tempo Descarga	45	16
		46	16
	Tensão Global Final	47	16
	Tensão Pol. Positiva	48	16
Tensão Pol. Negativa	49	16	

Figura 33 – Configurações do relatório MPS (CardioBat)

Todos os *inputs* relativos a esta partição são gravados pelo *software* em variáveis internas. Caso o relatório MPS venha a sofrer alterações de estrutura, esta opção garante a leitura contínua deste tipo de relatórios.

A terceira opção de configurações corresponde aos algoritmos EDPD-ISB. Esta partição disponibiliza a parametrização de percentagens equivalentes aos pesos algorítmicos presentes nos algoritmos EDPD-ISB relativamente à idade do sistema, tensão/resistência/conduância e corrosões. Adicionalmente, é disponibilizada a configuração dos intervalos de limites percentuais superiores e inferiores, relativos à média aritmética e ao desvio padrão, avaliados nos algoritmos EDPD-ISB estatísticos. A Figura 34 ilustra a *interface* que caracteriza esta partição.

Configuração	Algoritmo EDP- <i>ISB</i>	Algoritmo Adapt. <i>ISB Vcc</i>	Algoritmo Adapt. <i>ISB Resistência</i>	Algoritmo Adapt. <i>ISB Condutância</i>
Algoritmo EDP-<i>ISB</i>				
Peso (%) Idade Baterias	25			
Peso (%) Tensão ou Resistência	55			
Peso (%) Corrosão Baterias	10			
Peso (%) Corrosão Armário	10			
Média Aritmética				
Limite Superior (%) (Peso VDCmáx.)		100	150	100
Limite Inferior (%) (Peso VDCmín.)		80	100	50
Desvio Padrão				
Limite Superior (%) (Peso Vcc máx.)		99,5	99,5	99,5
Limite inferior (%) (Peso Vcc mín.)		90	90	90
Guardar Configs.				

Figura 34 – Configurações dos algoritmos EDPD-*ISB* (CardioBat)

À semelhança das partições anteriores, todos os *inputs* são guardados em variáveis internas do *software*, não necessitando de configuração sistemática.

5.2.2. PARTIÇÃO - RELATÓRIOS MPS

A partição “Relatórios MPS” engloba as funções principais do *software* CardioBat: a importação, agregação, associação, análise e exportação de relatórios.

A seleção da função de armazenamento implica a importação de relatórios MPS, obrigando previamente à ativação dos dados de referência e à seleção da tipologia de relatórios MPS Medidas para associação, segundo as seguintes opções:

- “Associação nula”: perante a seleção desta opção o *software* não associa relatórios MPS Medidas aos relatórios MPS;
- “Movitrom 2017 (.xlsx)”: relatório MPS Medidas em formato “xlsx”, usado pelo departamento de manutenção do Norte do País;
- “Fluke (.csv)”: relatório MPS Medidas em formato “csv”, usado pelos se manutenção do Centro e Sul do País;

Após a seleção da tipologia de relatórios MPS Medidas, o *software* requer ao utilizador o diretório da pasta onde se encontra o conjunto total de relatórios. A agregação de relatórios MPS e a respetiva associação aos relatórios MPS Medidas é realizado pelo

software com recurso a uma função de comparação de nomes dos ficheiros. A função exige nomes de relatórios uniformizados segundo a Tabela 14:

Tabela 14 – Uniformização de nomes de relatórios

Relatório	Nome do Relatório
MPS	Nome da SE_dd-mm-aaaa_MPS
MPS Medidas	Nome da SE_dd-mm-aaaa_Medidas_Grupo
Exemplo:	
MPS	Matosinhos_27-04-2017_MPS
MPS Medidas	Matosinhos_27-04-2017_Medidas_110V

À medida que a agregação de relatórios MPS é efetuada juntamente com a associação de relatórios MPS Medidas, o cálculo dos algoritmos EDPD-ISB é realizado, com base nos dados de referência, e associado ao relatório MPS Medidas respetivo. Por cada relatório MPS são inseridas duas linhas na tabela principal referentes ao grupo de 110 Vcc e 48 Vcc. Concluída a agregação e a associação possível de todos os relatórios disponíveis no diretório selecionado, o resultado desta operação é exibido numa tabela principal, exemplificado pela Figura 35.

EDPD-ISB	ISB Vcc	Homog. Vcc	ISB Ω	Homog. Ω	Ensaio	Subestação	Subs. Grupo	Temp. Sala	[V] Reg. Flutuante	[V] Corrente Aliment. Normal	[V] Reg. Reforço
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	MPS Medidas	Agueda	110V	24	124.5	6.7	130
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	MPS Medidas	Agueda	48V	24	50.5	6.5	-
E	E	E	E	E	MPS Medidas	Albergaria	110V	24	121.1	4.9	129
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	MPS Medidas	Albergaria	48V	24	50.4	5.9	-
87.03	87.03	99.77	54.33	93.85	MPS Medidas	Circunvalação	110V	19/22	122.2	7	126
94.55	94.55	99.87	76.46	97.33	MPS Medidas	Circunvalação	48V	19/22	54.06	4.9	54
98.20	98.20	99.70	43.20	79.73	MPS Medidas	Custodias	110V	21	121.1	7	126.9
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	MPS Medidas	Custodias	48V	21	52.7	1	-
96.90	96.90	99.86	41.90	87.85	MPS Medidas	Matosinhos Sul	110V	19	127.2	5	133
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	MPS Medidas	Matosinhos Sul	48V	19	51.2	5	-
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	MPS Medidas	Rio Meao	110V	20	118.4	9.6	126
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	MPS Medidas	Rio Meao	48V	20	52	6	-
94.55	94.55	99.83	39.55	79.30	MPS Medidas	Sameiro	48V	20	53.46	6	56.4
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	MPS Medidas	Sameiro	110V	20	-	-	-
FI T	FI T	FI T	FI T	FI T	MPS Medidas	Sanquedo	110V	20	118.5	7.2	126

Figura 35 – Partição “Relatórios MPS” (CardioBat)

A tabela principal desta partição, assim que a função de armazenamento seja concluída, permite ao utilizador a visualização da interface dos relatórios MPS Medidas. O CardioBat disponibiliza a interface de dois tipos de relatórios MPS Medidas, incorporando

formulários distintos com as respectivas análises de formatos e adaptações de cálculo em função da tipologia de relatório escolhida. Para que o relatório MPS Medidas seja analisado da forma desejada e em função do seu formato, na seleção da sua tipologia, o *software* exibe um formulário respectivo de configurações de estruturas. No exemplo da Figura 36, configurações do formato “Movitrom 17 (.xlsx)”, o *software* exige a confirmação do posicionamento das colunas relativas à tensão, condutância e temperatura, juntamente com a indicação da “folha” do ficheiro *Excel* onde se encontram registadas. Todos os gráficos e cálculos são efetuados com base nas configurações destas variáveis internas.

Cálculo	Coluna	Sheet
Condutância (S):	1	INICIAL
Tensão (Vcc):	2	FINAL
Temperatura (°C):	3	FINAL

Guardar Configs.

Figura 36 – Configurações do formato “Movitrom 2017” (CardioBat)

Caso a tipologia do relatório MPS Medidas seja “Movitrom 17 (.xlsx)”, primeiramente, o *software* exibe uma *interface* com tabelas de todas as medidas individuais de tensão, condutância e temperatura, medidas no início e no final da MPS, e os resultados dos cálculos inerentes aos algoritmos. Esta *interface* disponibiliza ainda o recálculo das estimações de estado de saúde do grupo, perante a alteração dos campos de valores de referência. Caso a tipologia do relatório MPS Medidas seja “Fluke (.csv)”, a diferença reside na ordenação das tabelas de medidas e na avaliação do parâmetro “resistência interna” por parte dos algoritmos, em vez do parâmetro “condutância”. A Figura 37 ilustra a interface algorítmica dos relatórios MPS Medidas em formato “Movitrom 17 (.xlsx)”.



Figura 37 – Interface algorítmica dos relatórios MPS Medidas (CardioBat)

De modo a complementar a interface dos relatórios MPS Medidas, em ambos os formatos, é disponibilizada uma interface gráfica, proporcionando uma percepção imediata do estado dos valores obtidos na MPS. São apresentados ao utilizador gráficos de barras relativos à tensão, resistência ou condutância e temperatura. A Figura 38 ilustra a interface gráfica dos relatórios MPS Medidas em formato “Movitrom 17 (.xlsx)”.

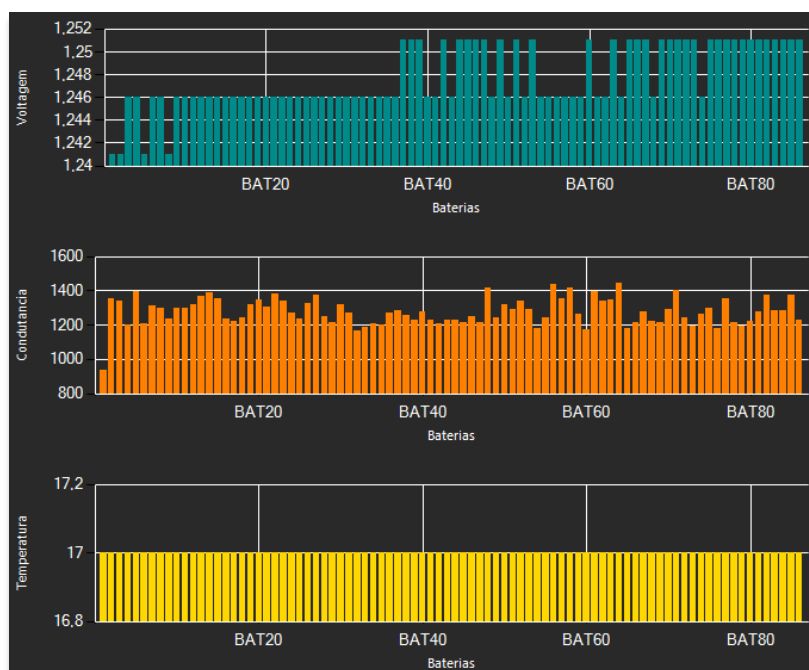


Figura 38 - *Interface* gráfica dos relatórios MPS Medidas (CardioBat)

A associação do cálculo dos valores de estimação do estado de saúde realizado pelos algoritmos na tabela principal, é assegurada pela condição de os relatórios MPS Medidas possuírem uma estrutura específica. Na eventualidade destes relatórios não serem associados, a função de cálculo e associação do *software* assume *flags* de sinalização de erros. Na Tabela 15 constam as *flags* disponíveis.

Tabela 15 - *Flags* de associação do CardioBat

<i>Flags</i>	Significado
“S/Rel.”	Sem relatório MPS Medidas relativo ao grupo em avaliação (110Vcc ou 48Vcc)
“S/DR”	Sem registo do grupo da Subestação nos dados de referência
“FLT”	Relatório MPS Medidas só incorpora medidas relativas ao regime flutuante. (<i>Flag</i> presente no formato “Movitrom 17 (.xlsx)”)
“E”	Erro no cálculo dos algoritmos EDPD-ISB

O diagrama simplificado apresentado na Figura 39 descreve genericamente a função principal de armazenamento efetuado pelo CardioBat.

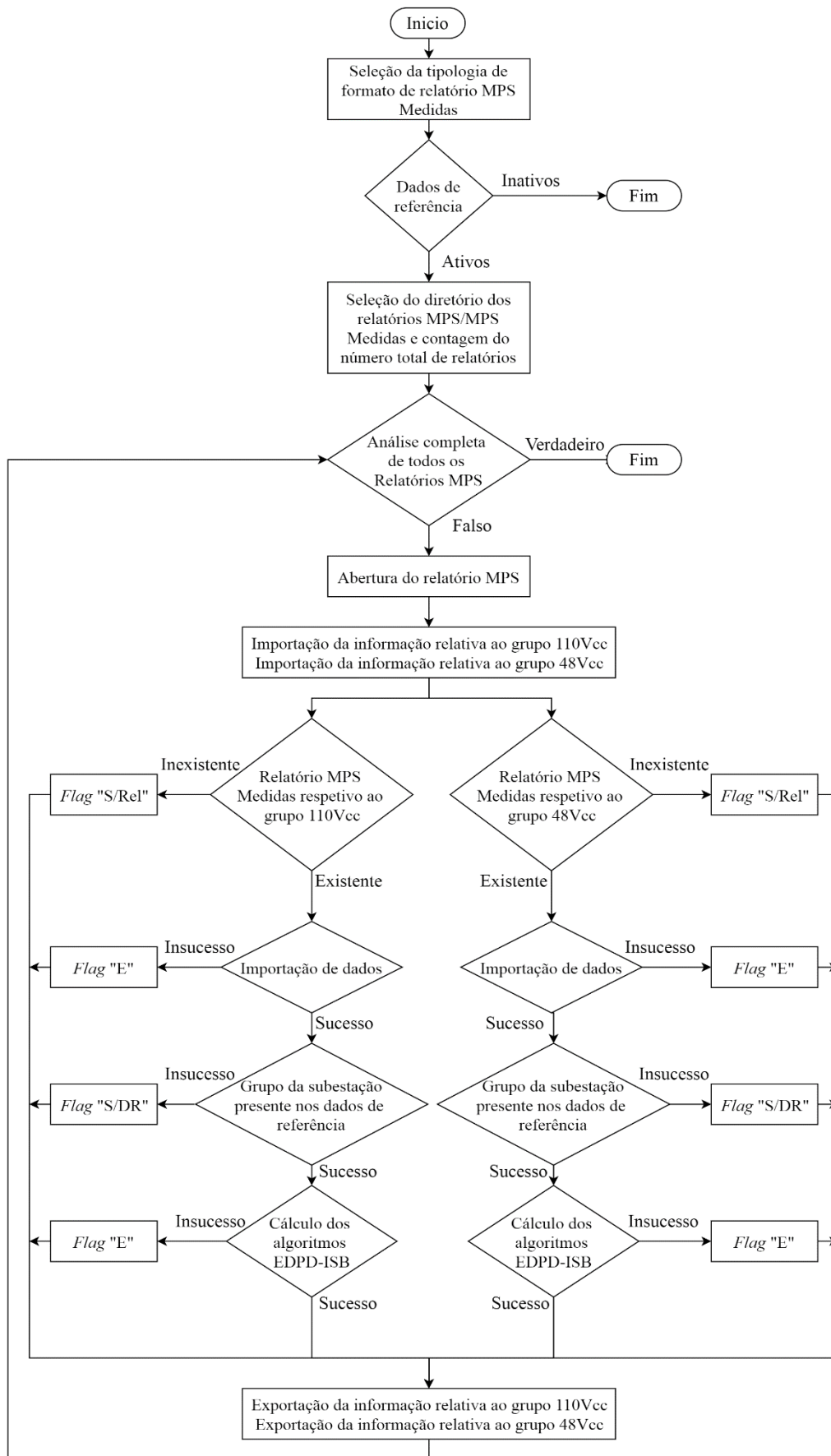


Figura 39 – Diagrama exemplificativo da função de armazenamento (CardioBat)

Como funções opcionais, a partição principal “Relatórios MPS” incorpora o *reset* total da tabela principal e a sua “limpeza”, eliminando todas as linhas cujo grupo da Subestação não possua a integração de grupo de baterias. Para que seja possível o arquivo de informação, a tabela principal pode ser exportada com a mesma estrutura, em formato *Excel*. A Figura 40 exemplifica a exportação.

	A	B	C	D	E	F	G	N	O
1	EDPD-ISB	ISB Vcc	Homog. Vcc	ISB Ω	Homog. Ω	Subestação	Subs. Grupo	Temp. Sala	[VI] Reg. Flutuante
2	FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Agueda	110V	24	124,5
3	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Agueda	48V	24	50,5
4	E	E	E	E	E	Albergaria	110V	24	121,1
5	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Albergaria	48V	24	50,4
6	87,03	87,03	99,77	54,33	93,85	Circunvalação	110V	19/22	122,2
7	94,55	94,55	99,87	76,46	97,33	Circunvalação	48V	19/22	54,06
8	98,2	98,2	99,7	43,2	79,73	Custoias	110V	21	121,1
9	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Custoias	48V	21	52,7
10	96,9	96,9	99,86	41,9	87,85	Matosinhos Sul	110V	19	127,2
11	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Matosinhos Sul	48V	19	51,2
12	FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Rio Meao	110V	20	118,4
13	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Rio Meao	48V	20	52
14	94,55	94,55	99,83	39,55	79,3	Sameiro	48V	20	53,46
15	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Sameiro	110V	20	-
16	FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Sanguedo	110V	20	118,5
17	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Sanguedo	48V	20	50,2
18	E	E	E	E	E	Valongo	110V	20	121,3
19	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Valongo	48V	20	50,8

Figura 40 – Exportação da tabela principal de armazenamento (CardioBat)

5.2.3. PARTIÇÃO - MPS MEDIDAS

A partição “MPS Medidas” permite, ao utilizador, visualizar de forma rápida e individual relatórios MPS Medidas em ambos os formatos disponíveis, através de uma função de *Drag&Drop*. A Figura 41 demonstra a partição referida.



Figura 41 – Partição “MPS Medidas” (CardioBat)

Depois de arrastar o ficheiro que contem o relatório para a caixa de leitura incorporada no *software*, a visualização dos relatórios MPS Medidas é realizada através da mesma *interface* algorítmica e gráfica referenciada na secção anterior.

5.3. VALIDAÇÃO DO SOFTWARE

O objetivo principal *software* CardioBat é o de gestão de estudos de ensaios a grupos de baterias. A Tabela 22, inserida no Anexo D, exemplifica o processo completo de importação, agregação e exportação de relatórios MPS com a respetiva associação dos cálculos realizados pelos algoritmos. Este teste foi conduzido na função principal de armazenamento, inserida na partição “Relatórios MPS” do *software*, onde foram analisados 240 relatórios, dos quais 114 pertenciam a relatórios MPS e 126 a relatórios MPS Medidas. Por cada relatório MPS, foram exportadas duas linhas respetivas à agregação de informação do grupo de 110 Vcc e de 48 Vcc, resultando no total de 228 linhas exportadas. Contudo, dos 228 painéis, apenas 126 continham relatórios MPS Medidas. Na análise efetuada aos 126 relatórios MPS Medidas, em 57 é realizado o cálculo dos algoritmos EDPD-ISB, 33 apresentam um erro no cálculo ou na estrutura, 35 só incorpora medidas em regime flutuante e os restantes 2, a título demonstrativo, não constam nos dados de referência.

De modo a validar as funções algorítmicas principais implementadas no *software*, foram efetuados, fundamentalmente, testes de validação aos resultados providenciados pelos algoritmos EDPD-ISB. O primeiro teste de validação foi efetuado com o propósito de verificar a veracidade do correto funcionamento de cálculo do algoritmo EDPD-ISB, realizado pelo CardioBat. Testes foram realizados em relatórios exemplificativos, fabricados com base nos seguintes *inputs*:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| a) Ano de Fabrico | e) N° elementos com tensão entre 95 e 80% Ref ^a |
| b) Tipologia | f) N° elementos com tensão < 80% Ref ^a |
| c) N.º de elementos | g) Corrosão Baterias |
| d) Tensão Referência por elemento | h) Corrosão armário |

A Tabela 16 descreve as variáveis inseridas e a comparação entre o valor do algoritmo EDPD-ISB obtido no relatório de criticidade elaborado pela EDP Distribuição e obtido na automatização efetuada pelo *software* CardioBat.

Tabela 16 – Testes de validação do *software* no algoritmo EDPD-ISB

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6
a)	2012	2010	2012	2010	2000	2016
b)	Alcalina	Alcalina	AGM	AGM	GEL	GEL
c)	86	86	86	86	86	86
d)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
e)	5 (0,96 V)	5 (0,96 V)	5 (0,96 V)	5 (0,96 V)	30 (0,96 V)	1 (0,96 V)
f)	0	10 (0,95 V)	0	10 (0,95 V)	56 (0,95 V)	0
g)	100%	75%	100%	75%	25%	100%
h)	75%	50%	75%	50%	0%	50%
Rel. EDPD	78,98%	58,23%	71,38%	47,74%	2,50%	78,00%
CardioBat	78,98%	58,23%	71,38%	47,74%	2,50%	78,00%

A análise dos valores obtidos confirma a coerência entre os resultados de estimação do estado de saúde obtidos pelo CardioBat e pelo relatório de criticidade criado pela EDP Distribuição, apresentado um erro de 0,00%.

Testes de validação do algoritmo EDPD-ISB estatístico relativo à tensão foram posteriormente conduzidos com o propósito de comparação direta com o algoritmo EDPD-ISB. Foi efetuada a repetição dos testes anteriores e obtidos os resultados demonstrados na Tabela 17. O algoritmo EDPD-ISB foi testado com os limites percentuais predefinidos pelo *software*: média aritmética dentro de [80%,100%] do valor de tensão de referência; Homogeneidade dentro de [90%,99.5%].

Tabela 17 - Testes de validação do *software* no algoritmo estatístico de Tensão

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6
EDPD-ISB	78,98%	58,23%	71,38%	47,74%	2,5%	78%
EDPD-ISB estatístico	63,91%	34,46%	56,32%	23,97%	2,5%	80,24%
Homogeneidade da tensão	94,52%	90,64%	94,52%	90,64%	99,5%	97,5%
Média aritmética da tensão	102,6%	99,74%	102,6%	99,74%	79,46%	103,7%

Nos testes [1-4] é perceptível a discrepância apresentada entre algoritmos. O algoritmo EDPD-ISB estatístico, nestes testes específicos, concede à homogeneidade o critério de maior importância. Como a média aritmética apresenta valores iguais ou superiores a 100% do valor de referência, o algoritmo recorre à análise de dispersão induzida pelos elementos com valores iguais ou inferiores a 80% da tensão de referência, atribuindo maior relevância. No teste 5, a situação oposta ocorre. Embora a homogeneidade apresente valores ideais de aproximadamente 100%, o algoritmo concede maior importância a valor obtido no cálculo da média aritmética, inferior ao limite inferior inicialmente imposto de 80%. No teste 6, o algoritmo estatístico apresenta um resultado superior. Esta diferença deve-se ao facto de o algoritmo EDPD-ISB atribuir pesos específicos a quantidades fixas de elementos fora dos limites impostos. O algoritmo EDPD-ISB estatístico, por outro lado, atribui pesos linearmente.

O algoritmo EDPD-ISB estatístico relativo à resistência interna ou condutância segue o mesmo princípio funcional do algoritmo EDPD-ISB estatístico relativo à tensão. A avaliação estatística e linear dos parâmetros concede aos algoritmos uma avaliação mais exigente, principalmente no parâmetro de condutância ou resistência interna devido à facilidade de dispersão de valores. A Figura 42, exibe a demonstração gráfica de todas as estimações de saúde efetuadas pelo *software*, presente na Tabela 22 do Anexo D.

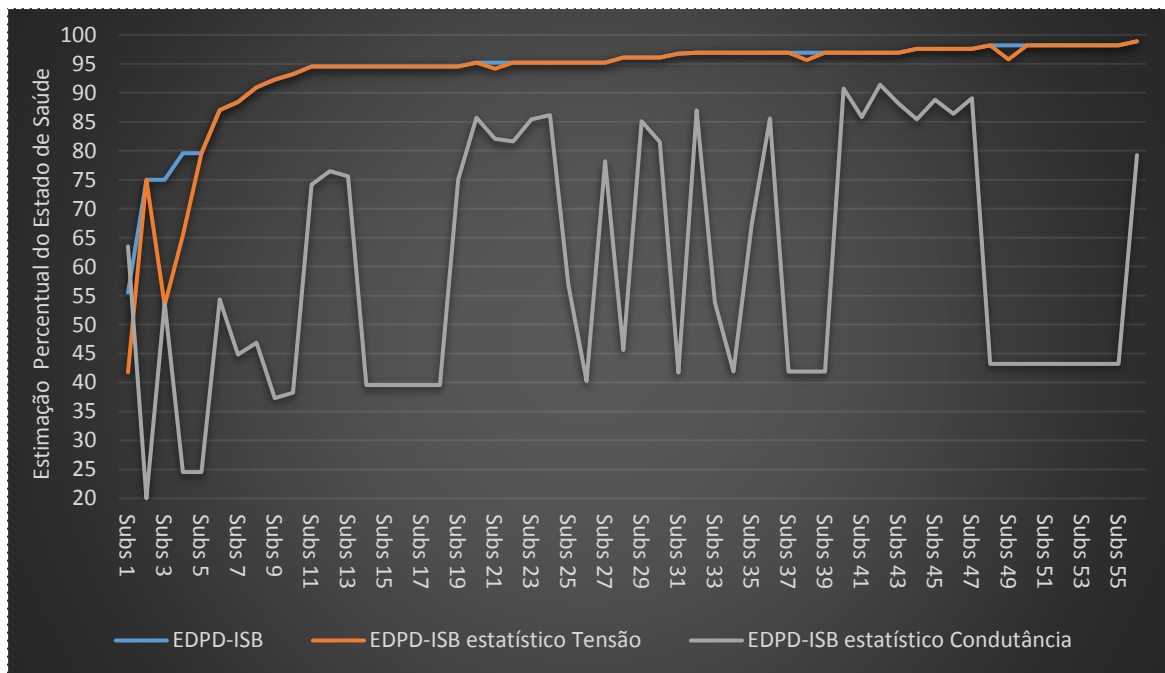


Figura 42 – Estimativas de estado de saúde efetuadas (CardioBat)

5.4. VALIDAÇÃO PRÁTICA

Como validação final do *software*, uma avaliação prática aos resultados estimação de saúde, dos vários algoritmos, foi conduzida pelo gestor da manutenção de grupos de baterias do departamento do Norte. A validação prática foi efetuada em 5 relatórios reais, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Testes de validação prática dos algoritmos EDPD-ISB

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
CardioBat EDPD-ISB					
a)	2016	2000	2005	2015	2000
b)	AGM	Alcalina	Alcalina	Gel	Alcalina
c)	4	90	86	54	92
d)	12	1,2	1,2	2	1,2
e)	0	0	0	0	0
f)	1	0	0	0	0
Saúde	55,5%	79,56%	87,03%	94,55%	79,56%
CardioBat EDPD-ISB estatístico de Tensão					
Média	82,94%	115,59%	103,97%	105,32%	104,20%
Homogeneidade	50,16%	97,06%	99,77%	99,77%	99,77%
Saúde	41,75%	65,42%	87,03%	94,55%	79,56%
CardioBat EDPD-ISB estatístico de Condutância					
Média	69,78%	42,36%	72,89%	128,47%	86,60%
Homogeneidade	98,27%	93,05%	93,85%	97,29%	87,42%
Saúde	63,51%	24,56%	57,22%	88,33%	24,56%

Na validação do Teste 1, verificou-se um possível erro de medição que, conseqüentemente, influenciou o cálculo de estimação de saúde dos vários algoritmos. Uma das quatro baterias apresenta uma diferença no valor de tensão de aproximadamente 90% do valor de referência. O CardioBat não discrimina medidas, sendo necessária uma avaliação de erros, presentes nos relatórios, por parte do gestor.

Na validação do Teste 4, verificou-se uma harmonia de valores elevados de estimação de saúde obtidos nos três algoritmos. O relatório em avaliação apresenta medidas que indicam o perfeito estado de saúde do grupo de baterias, o que é refletido nas estimações.

Na validação do Teste 3, o valor de saúde obtido no EDPD-ISB estatístico de condutância destaca-se, apresentando uma diferença de aproximadamente 30% para com os restantes algoritmos. O grupo de baterias avaliado neste relatório é do tipo alcalino e tem 12 anos de idade, estando no ponto médio da sua vida útil estimada para 20 anos. Esta condição não é refletida pelos valores de saúde (87,03%), obtidos nos algoritmos que avaliam o parâmetro de tensão, enquanto que o algoritmo que considera a condutância apresenta um valor de saúde de 57,22%, condicente com a reflexão da sua condição de idade.

À semelhança da validação efetuada no Teste 3, os Testes 2 e 5 apresentam uma situação idêntica. O algoritmo que avalia a condutância, em ambos os testes, apresenta uma estimação de saúde de 24,56%. Na análise dos relatórios, validou-se este valor com base na idade avançada dos grupos de baterias avaliados. Ambos os grupos são do tipo alcalino e possuem 17 anos de idade, estando no último quarto da sua vida útil estimada. Esta condição não é refletida pelos outros valores de saúde (79,56% e 65,42%), obtidos nos algoritmos que avaliam o parâmetro de tensão, enquanto que o algoritmo que considera a condutância apresenta um valor de saúde de 24,56%, condicente com a reflexão da sua condição de idade.

5.5. CONCLUSÕES

O CardioBat foi desenvolvido e estruturado de modo a preencher todos os requisitos impostos pelos objetivos iniciais. A sua utilização proporciona uma automatização necessária, simples e intuitiva da metodologia utilizada pela EDP Distribuição na gestão de estudos e ensaios de grupos de baterias.

O seu desenvolvimento direcionado, não só para a metodologia utilizada pelo departamento de manutenção do Norte, mas para os restantes departamentos de manutenção ao longo do país, impulsionou e contribuiu para a uniformização de uma metodologia de trabalho global.

No entanto, esta uniformização ao nível do preenchimento dos relatórios MPS/MPS Medidas nem sempre é possível, estando sempre sujeita a erros humanos. No decorrer da programação do *software* CardioBat, um esforço foi feito para que o *software* fosse o mais adaptável possível a alterações nos seus documentos envolventes, através da implementação de configurações internas e funções de uniformização. Contudo, o vasto espectro de variáveis possíveis na estruturação e preenchimento de relatórios, impossibilita a aptidão de

leitura do *software* para com todas as possibilidades existentes. A adaptação do utilizador aos requisitos do *software* é crucial no bom funcionamento de todas as suas características.

O desenvolvimento do CardioBat foi finalizado com a certeza de funcionamento nas funções principais de importação, agregação e exportação de relatórios MPS, assim como no cálculo algorítmico e associação de relatórios MPS Medidas. Todas as falhas, possivelmente existentes, não impedem o funcionamento base do CardioBat.

Na validação prática, verificou-se a relevância da implementação dos algoritmos estatísticos. A incorporação da avaliação de diversos parâmetros e o possível ajuste de limites, garante aos algoritmos a habilidade de proporcionar informação complementar e determinante na avaliação e gestão do estado de saúde dos grupos de baterias.

6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Este Capítulo retrata as principais conclusões relativas ao trabalho desenvolvido, assim como as perspetivas para trabalhos futuros.

6.1. CONCLUSÕES

A realização desta dissertação permitiu a verificação da complexidade presente na elaboração de sistemas de gestão de estudos e ensaios a grupos de baterias da Rede Elétrica de Distribuição, bem como na estimação de indicadores de estado de saúde destes ativos. A análise de toda a metodologia implementada pela EDP Distribuição na gestão de grupos de baterias foi relevante para a perceção dos sistemas e de todas as suas variáveis envolvidas.

Verificou-se a importância dos SPCC's no universo de instalações da EDP Distribuição, bem como a importância do seu suporte garantido pelos SACC's. Em maior detalhe, a análise teórica das baterias integradas nos SACC's retratou a diversidade de tecnologias usadas assim como as suas vantagens e desvantagens. O estudo da metodologia de ensaios permitiu fundamentar o conhecimento prévio ao desenvolvimento do *software* de automatização dos processos de gestão e estimação.

O estudo teórico realizado aos diversos métodos de estimação do estado de saúde de baterias mostrou limitações devido à sua complexidade e ao direcionamento de casos de estudos para baterias individuais ou de íons de lítio aplicadas a veículos elétricos. No entanto, foi possível verificar a diversidade de métodos utilizados, bem como as variáveis que incorporam no cálculo do seu índice. Contudo, verificou-se que a escolha ou elaboração de métodos de estimação é maioritariamente conduzida pelas variáveis do sistema que o gestor, empiricamente, considere relevantes.

O estudo prático efetuado ao algoritmo de estimação do estado de saúde EDPD-ISB utilizado na gestão de ativos da EDP Distribuição contribuiu para a melhor compreensão das variáveis consideradas relevantes na análise de grupos de baterias. O seu estudo impulsionou a adaptação de novos algoritmos complementares, assim como métodos distintos de análise, de cálculo e a incorporação da avaliação de novos parâmetros.

Na metodologia da EDP Distribuição, a verificação do sistema manual de análise individual de processos e relatórios, proporcionou a oportunidade de desenvolvimento de uma ferramenta informática que automatizasse funções do gestor, de maneira a simplificar, melhorar e acelerar o seu trabalho. O desenvolvimento do CardioBat cumpriu as diretrizes iniciais propostas, incorporando todas as funções necessárias de modo a melhorar e a tornar possível a adaptação da metodologia utilizada pela EDP Distribuição.

6.2. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

O desenvolvimento do trabalho efetuado na EDP Distribuição, documentado por esta dissertação, contribuiu para o melhoramento complementar da análise de ensaios e da metodologia de trabalho em diversas maneiras. A Tabela 19 descreve, simplificadamente, o contributo na algoritmia envolvida na estimação do estado de saúde de baterias.

Tabela 19 – Contributo do Algoritmo EDPD-ISB estatístico

	Algoritmo EDPD-ISB	Algoritmo EDPD-ISB Estatístico
Parâmetros em avaliação no grupo de baterias	Idade do grupo	Idade do grupo
	Tensão por elemento	Tensão por elemento
	Corrosão visual do grupo	Resistência Interna / condutância por elemento

	Corrosão visual do armário do grupo	Homogeneidade do grupo
	-	Corrosão visual do grupo
	-	Corrosão visual do armário do grupo
Métodos de cálculo	Pesos algorítmicos fixos	Pesos algorítmicos fixos
	Funções constantes divididas em degraus	Funções constantes divididas em degraus
	Contagens numéricas	Funções lineares
	-	Parâmetros estatísticos
	-	(Média aritmética e desvio padrão)

Relativamente ao *software* CardioBat, o seu desenvolvimento contribuiu para o melhoramento da metodologia de trabalho utilizada na EDP Distribuição, através da uniformização e automatização de processos. A Tabela 20 descreve, simplificada, o contributo da implementação do CardioBat.

Tabela 20 – Contributo do *software* CardioBat

	EDP Distribuição	CardioBat
Armazenamento individual de dados de relatórios MPS	Processo manual	Processo automatizado
Ficheiro único de arquivo de dados de relatórios MPS	Processo manual ou inexistente	Processo automatizado
Análise individual de relatórios MPS Medidas	Processo manual	Processo automatizado
Interface Gráfica de relatórios MPS Medidas	Processo manual ou inexistente	Processo automatizado
Avaliação algorítmica individual de relatórios MPS Medidas	Processo manual	Processo automatizado

Algoritmos de estimação de estado de saúde de grupos de baterias	EDPD-ISB	EDPD-ISB EDPD-ISB estatístico de Tensão EDPD-ISB estatístico de Condutância ou resistência
-------------------------------------------------------------------------	----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

6.3. PERSPETIVAS PARA TRABALHO FUTURO

Como possíveis trabalhos futuros no desenvolvimento do *software* CardioBat, propõe-se a implementação da ligação a base de dados locais. Este acesso desbloqueia informação necessária ao desenvolvimento de um arquivo histórico de falhas, para uma posterior filtragem dos resultados dos índices de estimação de saúde. Atualmente, o CardioBat não possui funções de seleção automática de grupos de baterias consoante um critério de substituição definido, sendo este processo efetuado por uma análise manual e individual. A implementação de base de dados possibilita um registo de dados respetivos à seleção de grupos em estado de falha.

No seguimento da criação de uma base de dados com histórico de seleção de grupos de baterias em estado de falha, outra sugestão de trabalhos futuros seria a implementação do conceito de Rede Neuronal Artificial no *software*. Esta atualização permite a “aprendizagem” do programa e o reconhecimento de padrões nas escolhas do utilizador, formando um critério de substituição intrínseco e automático, eliminando o processo manual.

Como possíveis trabalhos futuros, no campo respetivo à algoritmia implementada, propõe-se o desenvolvimento de algoritmos específicos à tipologia de cada bateria utilizada pela EDP Distribuição. Este desenvolvimento proporciona uma maior precisão na estimação do estado de saúde dos grupos. Ainda neste tema, a adaptação dos algoritmos estatísticos ao parâmetro de temperatura complementa a avaliação realizada por estes, disponibilizando informação adicional que pode influenciar a estimação. Devido à existência de variáveis ambientais inconstantes na medição deste parâmetro, a sua análise necessita de ser filtrada.

Referências Documentais

- [1] EDP Distribuição SA - *A nossa energia ao seu serviço*. 2012. Disponível em: “www.edpdistribuição.pt”. Acedido em 09/05/2017.
- [2] RIBEIRO DA SILVA, Henrique; BRANDÃO, Roque; MORAIS SARMENTO, Rui - *Transporte & Distribuição, Linhas, Subestações, Postos de Transformação: Parte I*. Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), 2014.
- [3] EDP Distribuição SA - *Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição: Projecto-Tipo – Memória descritiva*. DIT-C13-500/N, 2007. Disponível em: “www.edpdistribuição.pt”. Acedido em 29/05/2017.
- [4] EDP Distribuição SA - *Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição. Generalidades: Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Interface Humano – Máquina*. DEF-C13-503/N, 2007. Disponível em: “www.edpdistribuição.pt”. Acedido em 29/05/2017.
- [5] EDP Distribuição SA - *Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição. Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numéricos (SPCC). Protocolos de comunicação*. DEF-C13-504/N, 2009. Disponível em: “www.edpdistribuição.pt”. Acedido em 29/05/2017.
- [6] SILVA, Gonçalo - *Definição de Requisitos Necessários à Interoperabilidade entre IED's na Rede Eléctrica de Distribuição*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2015.
- [7] EDP Distribuição SA - *Instalações AT e MT. Sistemas de Alimentação de Corrente Contínua 110/48 Vcc. Características e ensaios*. DMA-C13-510/N, 2017. Disponível em: “www.edpdistribuição.pt”. Acedido em 29/05/2017.
- [8] EDP Distribuição SA - *Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição. Sistemas de Alimentação de Corrente Contínua com baterias do tipo alcalino. Características e ensaios*. DMA-C13-510/N, 2007. Disponível em: “www.edpdistribuição.pt”. Acedido em 29/05/2017.
- [9] LINDEN, David; REDDY, Thomas – *Handbook of Batteries*. McGraw-Hill, Third Edition, 2001.

- [10] REDDY, Thomas – *Lindens's Handbook of Batteries*. McGraw-Hill, Fourth Edition, 2001.
- [11] CROMPTON, Thomas – *Battery Reference Book*. Newnes, Third Edition, 2000.
- [12] MIT Electric Vehicle Team - *A Guide to Understanding Battery Specifications*. Massachusetts institute of Technology (MIT), 2008.
- [13] BOSCH - *Manual de Baterias Bosch*. BOSCH, 2007. Disponível em: “www.bosch.com”. Acedido em 04/2017.
- [14] SOUSA, Thais; ARIOLI, Vitor; GUASCOR, Cesar; SANTOS, Sender; FRANÇA, Alex - *Comparison of different approaches for lead acid battery state of health estimation based on artificial neural networks algorithms*. IEEE Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems, 2016.
- [15] RAND, D.A.J.; MOSELEY, P.T.; GARCHE, T.; PARKER, C.D. - *Valve-Regulated Lead-Acid Batteries*. ELSEVIER, First Edition, 2004.
- [16] WAAG, Wladislaw; FLEISCHER, Christian; SAUER, Dirk - *Critical review of the methods for monitoring of lithium-ion batteries in electric and hybrid vehicles*. Journal of Power Sources, 2014.
- [17] RAHN, Christopher; WANG, Chao-Yang - *Battery Systems Engineering*. WILEY, First Edition, 2013.
- [18] UNGUREAN, Lucian; CÂRSTOIU, Gabriel; MICEA, Mihai; GROZA, Voicu - *Battery state of health estimation: a structured review of models, methods and commercial devices*. International Journal of Energy Research, 2016.
- [19] SINGH, Pritpal; REISNER, David - *Fuzzy Logic-Based State-of-Health Determination of Lead Acid Batteries*. Telecommunications Energy Conference, 2002.
- [20] LIN, Ho-Ta; LIANG, Tsorng-Juu; CHEN, Shih-Ming - *Estimation of Battery State of Health Using Probabilistic Neural Network*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2013.
- [21] VINCENT, Colin; SCROSATI, Bruno - *Modern Batteries: An introduction to electrochemical power sources*. Butterworth-Heinemann, Second Edition, 1997.
- [22] SAFT - *Ni-Cd block battery range*. 2009. Disponível em: “www.saftbatteries.com”. Acedido em 05/04/2017.

- [23] SAFT - *Ni-Cd Single Cells Range*. 2010. Disponível em: “www.saftbatteries.com”. Acedido em 05/04/2017.
- [24] SAFT - *SCL 221 – Cell data sheet*. 2010. Disponível em: “www.saftbatteries.com”. Acedido em 05/04/2017.
- [25] BUKHARI, Syed; MAQSOOD, Junaid; ASHRAF, Suhail; KHAN, Tamim; BAIG, Mirza - *Comparison of characteristics- Lead Acid, Nickel based, Lead Crystal and Lithium Based Batteries*. 17th UKSIM-AMSS International Conference on Modelling and Simulation, 2015.
- [26] DOST, Philip; MARTIN, Moritz; SOURKOUNIS, Constantinos - *Impact of Lead-acid based battery design variations on a model used for a battery management system*. MedPower, 2014.
- [27] MARATHON – *Industrial Batteries / Network Power: Marathon M FT*. GNB Industrial Power. Disponível em: “www.gnb.com”. Acedido em 05/04/2017.
- [28] SUNLIGHT - *OPvZ Cell 2V 4 OPzV 200*. Disponível em: “www.sunlight.gr”. Acedido em 05/04/2017.
- [29] IEEE – *IEEE Std 1106-2005: IEEE Recommended Practice for Installation, Maintenance, Testing and Replacement of Vented Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2005.
- [30] IEEE – *IEEE Std 1188-2005: IEEE Recommended Practice for Installation, Maintenance, Testing and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2005.
- [31] MARATHON - *Battery testing guide*. Disponível em: “www.marathonbatteries.com”. Acedido em 04/2017.
- [32] GEI - *Handheld ElectroChemical Battery Analyzer: Technical Data Sheet*. Global Energy Innovations (GEI), 2013. Disponível em: “www.globalei.com”. Acedido em 19/04/2017.
- [33] FLUKE - *BT521 Battery Analyser: Users Manual*. 2014. Disponível em: “www.fluke.com”. Acedido em 19/04/2017.
- [34] Battery University - *Understanding the importance of low conductivity*. 2017. Disponível em: “www.batteryuniversity.com”. Acedido em 05/05/2017.

- [35] QI, Jian; LU, Dylan - *Review of Battery Cell Balancing Techniques*. Australasian Universities Power Engineering Conference, 2014.
- [36] SULLIVAN, Michael - *Statistics: Informed decisions using data*. Pearson, Fifth Edition, 2017.
- [37] MICROSOFT - *Visual C# Language*. 2017. Disponível em: “www.msdn.microsoft.com”. Acedido em 01/03/2017.
- [38] MICROSOFT - *How to automate Microsoft Excel from Microsoft Visual C# .NET*. 2017. Disponível em: “www.msdn.microsoft.com”. Acedido em 01/03/2017.

Anexo A

Esquema elétrico unifilar de um Sistema de Alimentação 110 Vcc / 48 Vcc, fabricante FISOCROM, modelo RM110V3x25C3S.

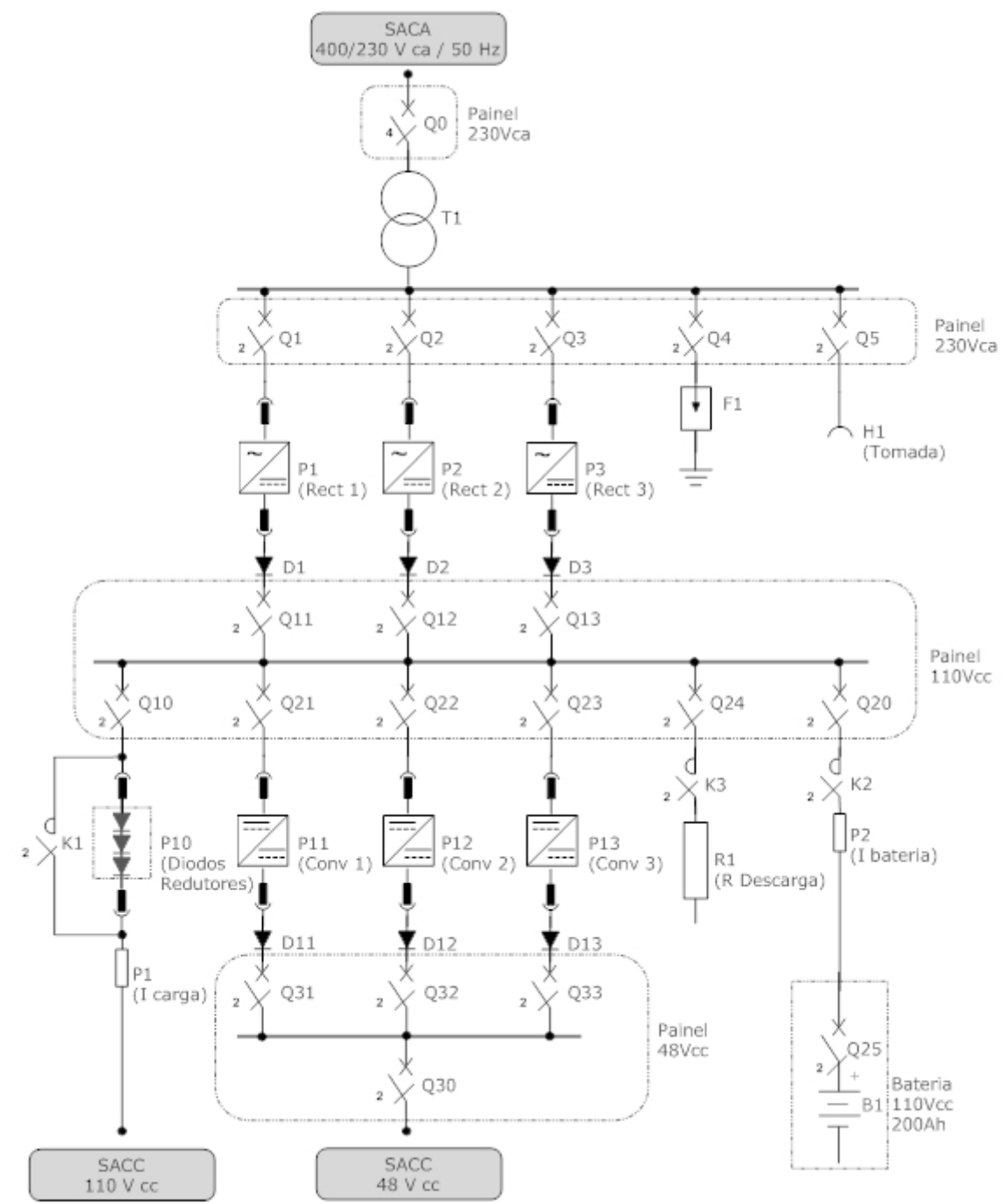


Figura 43 – Esquema elétrico unifilar do SACC FISOCROM RM110V3x25C3S

Anexo B

Este anexo incorpora um exemplo prático do relatório MPS preenchido na manutenção a grupos de baterias.

Cadastro			
Instalação:		N.º:	
		Data:	
			Hora:
Alimentador	110/125 VCC	48 VCC	24/12 VCC
Marca	EFACEC	EFACEC	-
Modelo	CIB MMOTN 125/40	CIB S 48/28x3	-
N.º Rectificadores	1	SM1500 x 2	-
Número Série	1504-1740	1504-1009	-
Ano	1996	1994	-
Baterias	110/125 VCC	48 VCC	24/12 VCC
Marca	EMISA	MARATHON	-
Modelo	LP230	XL12V85	-
N.º Elementos	86	4	-
Capacidade	230	85	-
Ano	ND	2015	-
PSM	110/125 VCC	48 VCC	
Número Série	N/D	N/D	

Notas Prévias
<p>1) A realização das intervenções indicadas deverá ser sempre acompanhada da consulta da documentação técnica específica do(s) alimentador(es) e bateria(s).</p> <p>2) Dever-se-à solucionar todas as anomalias detectadas durante a intervenção.</p> <p>3) Na coluna "Cód." preencher com: N (Normal sem Intervenção); NI (Normal após intervenção); IC (Necessária Intervenção Complementar) ou NA (Não aplicável).</p> <p>4) Na coluna "Nota" indicar o n.º da nota das observações que contém a informação complementar (Exemplo: Código NI, descrição da intervenção efectuada; Código IC, descrição da intervenção necessária).</p>

1	Verificação Inicial	110V	48V	24/12V	Cód.	Nota N.º
1.1	Medir tensão em regime flutuante (V).	122,2	54,06	-	N	
1.2	Registrar a corrente fornecida pelo alimentador em condições normais (A).	7	4,9	-	N	
1.3	Medir tensão em regime de reforço (V).	126	54	-	N	
1.4	Verificação do funcionamento das sinalizações locais (luminosa, sonora e aparelhos de medida).				N	
1.5	Verificação da limpeza interior e exterior.				NI	
1.6	Verificação do aperto das ligações eléctricas.				NI	
1.7	Verificação visual aos componentes (fugas de electrólito, corrosões, ...).				N	
1.8	Verificação do nível de electrólito de todos os elementos e eventual reposição.				NI	

Medição de impedância dos elementos de bateria

- 1) Parametrizar o equipamento de ensaio de acordo com as características da instalação e cada um dos grupos de baterias em análise.
- 2) Colocar ao serviço o grupo de baterias de socorro e isolar da instalação o grupo de baterias a ensaiar.
- 3) Efectuar os testes de tensão, impedância, temperatura e estado do electrólito (dry-out ou densidade) por elemento e gravar os resultados para posterior envio (anexar a este documento uma página de medidas por grupo de baterias).

Teste de autonomia

Efectuar uma **descarga** de 30 minutos com uma carga de C/5 A (C = Capacidade da bateria). As tensões devem ser monitorizadas, de modo a respeitarem o limite mínimo de tensão por elemento definido nas características da bateria. **Medir novamente** os vários parâmetros de teste por elemento (tensão, ...) gravar os resultados para posterior envio (anexar a este documento uma página de medidas por grupo de baterias).

Análise das medidas efetuadas aos elementos de bateria e, se necessário, realização de **carga revigorante**.

Ensaio de descarga

2	Registo de valores.	110V	48V	24/12V
2.1	Tensão inicial (V).	116	53,92	-
2.2	Corrente de descarga (A).	40	16	-
2.3	Tempo de descarga (min.).	30	30	-
2.4	Após conclusão da descarga, registar os valores de tensão global final (V), repor o sistema e assegurar a passagem para regime de reforço do alimentador.	100,4	49,6	-
2.5	Medir e registar polaridade [+] à terra (V).	111,3	0,2	-
2.6	Medir e registar polaridade [-] à terra (V).	10,8	53,85	-
2.7	Aguardar pela conclusão da carga e assegurar a passagem para regime flutuante do alimentador.			

Verificação Final

3	Procedimento.	Cód.	Nota
3.1	Limpeza geral dos alimentadores e baterias.	NI	
3.2	Lubrificação de bornes e shunts e verificação dos respiros.	NI	
3.3	Verificação do funcionamento das sinalizações à distância.	IC	
3.4	Verificação do funcionamento do conjunto auto-religador.	NA	
3.5	Substituição dos fusíveis das tomadas de manutenção (se necessário).	N	
3.6	Verificar as condições de acondicionamento de fugas de electrólito.	N	
3.7	Registar as condições de climatização e ventilação da sala (p.e. necessidade de isolamento e/ou ar-condicionado).	N	19°/22°
3.8	Medir e registar nas observações a diferença de potencial de cada polaridade à terra.	N	
3.9	Verificar a concordância entre os valores de tensão CA reais e os adquiridos pelo equipamento.	N	
3.10	Verificar o correto funcionamento do módulo de díodos redutores, conforme parametrizações implementadas.	N	

Anexo C

Tabela 21 – Valores de homogeneidade do parâmetro tensão

Subestação	Homogeneidade Tensão (V)	Elementos
Amares	97,06	90
Monte dos Burgos	99,29	86
Canicada	99,31	86
Bustos	99,39	86
Penide	99,5	90
Requião	99,5	90
Roussas	99,5	87
Mosteiro	99,52	86
Lameirinho	99,57	90
Vidago	99,57	90
Vila Nova de Gaia	99,59	86
Serra do Pilar	99,61	90
Vilar do Paraiso	99,61	86
Mindelo	99,65	86
Monserrate	99,65	87
Ancora	99,69	86
Matosinhos	99,69	86
Custoias	99,7	86
Fonte Boa	99,7	90
Pinhao	99,74	86
Alagoa	99,75	86
Feitosa	99,75	90
Muro	99,75	86
Beiriz	99,76	90
Circunvalação	99,77	86
Entre os Rios	99,77	86
Lijo	99,77	86
Orbacem	99,77	86
Valpacos	99,77	92
Areias	99,78	90
Chaves	99,78	86
Sao Martinho de Dume	99,78	86
Boavista	99,79	86
Morgade	99,79	86
Prelada	99,79	86
Campanho	99,81	86

Santa Marina	99,81	84
France	99,82	86
Troviscoso	99,85	90
Matosinhos Sul	99,86	90
Campo Alegre	99,89	86
Prelada	99,89	86

Anexo D

Tabela 22 – Exportação da tabela principal do CardioBat

EDPD-ISB	ISB Vcc	Homog. Vcc	ISB Ω	Homog. Ω	Subestação	Subs. Grupo
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Acail	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Acail	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Agras do Norte	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Agras do Norte	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Agueda	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Agueda	48V
95,23	95,23	99,75	83,41	97,85	Alagoa	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Alagoa	48V
E	E	E	E	E	Albergaria	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Albergaria	48V
E	E	E	E	E	Alfena	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Alfena	48V
96,75	96,75	99,92	41,75	97,48	Amarante	48V
E	E	E	E	E	Amarante	110V
79,56	65,42	97,06	24,56	93,05	Amares	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Amares	48V
E	E	E	E	E	Amieira	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Amieira	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Amorosa	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Amorosa	110V
96,90	96,90	99,69	86,03	98,02	Ancora	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Ancora	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Arada	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Arada	48V
96,11	96,11	99,78	45,38	90,78	Areias	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Areias	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Arouca	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Arouca	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Avanca	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Avanca	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Aveiro	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Aveiro	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Barbosa e Almeida	110V

S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Barbosa e Almeida	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Bargos	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Bargos	48V
E	E	E	E	E	Barroso	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Barroso	48V
98,20	98,20	99,76	43,20	87,31	Beiriz	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Beiriz	48V
96,90	96,90	99,79	53,24	92,06	Boavista	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Boavista	48V
92,30	92,30	99,68	37,30	35,88	Bornes	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Bornes	110V
94,55	94,55	99,80	72,40	95,97	Braganca	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Braganca	48V
98,20	95,77	99,39	43,20	82,36	Bustos	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Bustos	48V
96,90	96,90	99,81	41,90	88,74	Campanho	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Campanho	48V
E	E	E	E	E	Campo 24 de Agosto	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Campo 24 de Agosto	48V
96,90	96,90	99,89	66,02	94,39	Campo Alegre	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Campo Alegre	48V
95,23	94,13	99,31	79,97	97,23	Canicada	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Canicada	48V
E	E	E	E	E	Canicos	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Canicos	48V
E	E	E	E	E	Carneiro	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Carneiro	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Carregosa	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Carregosa	48V
95,23	95,23	99,78	79,55	97,15	Chaves	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Chaves	48V
87,03	87,03	99,77	53,21	93,85	Circunvalação	110V
94,55	94,55	99,87	76,46	97,33	Circunvalação	48V
98,20	98,20	99,70	43,20	79,73	Custoias	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Custoias	48V
97,59	97,59	99,77	83,26	97,39	Entre os Rios	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Entre os Rios	48V
E	E	E	E	E	Espinho	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Espinho	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Estacao	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Estacao	48V
94,55	94,55	99,75	73,77	96,22	Fanzeres	110V

S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Fanzeres	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Feira	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Feira	48V
96,90	96,90	99,75	85,59	98,19	Feitosa	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Feitosa	48V
E	E	E	E	E	Felgueiras	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Felgueiras	48V
97,59	97,59	99,70	86,48	97,98	Fonte Boa	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Fonte Boa	48V
95,23	95,23	99,82	85,07	98,15	France	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	France	48V
E	E	E	E	E	Gondomar	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Gondomar	48V
55,50	41,75	50,16	63,51	98,27	Guimaraes	48V
E	E	E	E	E	Guimaraes	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Hortas	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Hortas	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Ilhavo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Ilhavo	48V
S/DR	S/DR	S/DR	S/DR	S/DR	Inha	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Inha	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Jovim	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Jovim	48V
75,00	75,00	99,68	20,00	93,65	Lameirinho	48V
98,20	98,20	99,57	43,20	66,09	Lameirinho	110V
E	E	E	E	E	Lapa	110V
E	E	E	E	E	Lapa	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Leiranco	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Leiranco	48V
93,23	93,23	99,77	38,23	87,56	Lijo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Lijo	48V
E	E	E	E	E	Lordelo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Lordelo	48V
E	E	E	E	E	Lousada	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Lousada	48V
E	E	E	E	E	Maia	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Maia	48V
95,23	95,23	99,69	83,84	97,93	Matosinhos	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Matosinhos	48V
96,90	96,90	99,86	41,90	87,85	Matosinhos Sul	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Matosinhos Sul	48V
96,11	96,11	99,65	82,89	97,60	Mindelo	110V

S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Mindelo	48V
94,55	94,55	99,82	39,55	87,37	Mirandela	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Mirandela	48V
94,55	94,55	99,97	39,55	95,62	Mogadouro	48V
E	E	E	E	E	Mogadouro	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Mogofores	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Mogofores	48V
88,39	88,39	99,65	44,83	97,75	Monsserrate	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Monsserrate	48V
96,90	95,66	99,29	41,90	87,34	Monte dos Burgos	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Monte dos Burgos	48V
96,90	96,90	99,79	41,90	86,33	Morgade	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Morgade	48V
96,90	96,90	99,52	88,29	98,44	Mosteiro	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Mosteiro	48V
98,20	98,20	99,75	43,20	85,31	Muro	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Muro	48V
94,55	94,55	99,87	39,55	85,09	Nogueira	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Nogueira	110V
E	E	E	E	E	Nogueira da regedora	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Nogueira da regedora	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Oliveira de Azemeis	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Oliveira de Azemeis	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Oliveira do Bairro	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Oliveira do Bairro	48V
98,20	98,20	99,77	43,20	87,77	Orbacem	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Orbacem	48V
E	E	E	E	E	Ovar	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Ovar	48V
E	E	E	E	E	Pacos de Ferreira	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Pacos de Ferreira	48V
94,55	94,55	99,84	39,55	77,82	Padrela	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Padrela	110V
E	E	E	E	E	Palmilheira	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Palmilheira	48V
E	E	E	E	E	Paranhos	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Paranhos	48V
E	E	E	E	E	Pedroso	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Pedroso	48V
S/DR	S/DR	S/DR	S/DR	S/DR	Penha	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Penha	48V
95,23	95,23	99,50	56,05	92,88	Penide	110V

S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Penide	48V
E	E	E	E	E	Pevidem	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Pevidem	48V
95,23	95,23	99,74	40,23	88,35	Pinhao	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Pinhao	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Polipropigal	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Polipropigal	48V
75,00	53,34	95,76	52,05	95,83	Povoa de Lanhoso	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Povoa de Lanhoso	110V
E	E	E	E	E	Rebordosa	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Rebordosa	48V
97,59	97,59	99,50	84,17	97,56	Requião	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Requião	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Rio Meao	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Rio Meao	48V
90,94	90,94	99,50	46,84	95,67	Roussas	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Roussas	48V
94,55	94,55	99,83	39,55	79,30	Sameiro	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Sameiro	110V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Sanguedo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Sanguedo	48V
E	E	E	E	E	Santa Cruz do Bispo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Santa Cruz do Bispo	48V
96,11	96,11	99,81	80,98	97,25	Santa Marinha	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Santa Marinha	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Santiago de Subarrifana	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Santiago de Subarrifana	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	São João da Madeira	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	São João da Madeira	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	São João da Madeira PC	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	São João da Madeira PC	48V
98,20	98,20	99,78	43,20	84,50	Sao Martinho de Dume	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Sao Martinho de Dume	48V
97,59	97,59	99,61	86,74	98,03	Serra do Pilar	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Serra do Pilar	48V
E	E	E	E	E	Serzedo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Serzedo	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Sever do Vouga	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Sever do Vouga	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Sincaes	48V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Sincaes	110V
E	E	E	E	E	Touvedo	110V

E	E	E	E	E	Touvedo	48V
98,20	98,20	99,85	43,20	87,80	Troviscoso	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Troviscoso	48V
94,55	94,55	99,77	75,03	97,29	Turiz	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Turiz	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Vale de Cambra	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Vale de Cambra	48V
E	E	E	E	E	Valongo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Valongo	48V
79,56	79,56	99,77	24,56	87,42	Valpacos	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Valpacos	48V
96,90	96,90	99,58	83,63	97,59	Verdinho	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Verdinho	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Viana do Castelo	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Viana do Castelo	48V
95,23	95,23	99,57	76,30	96,56	Vidago	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Vidago	48V
98,89	98,89	99,90	79,24	97,15	Vila da Ponte	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Vila da Ponte	48V
96,90	96,90	99,59	89,61	98,67	Vila Nova de Gaia	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Vila Nova de Gaia	48V
96,90	96,90	99,61	85,82	97,99	Vilar do Paraiso	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Vilar do Paraiso	48V
FLT	FLT	FLT	FLT	FLT	Vista Alegre	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Vista Alegre	48V
E	E	E	E	E	Vitoria	110V
S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	S/Rel.	Vitoria	48V