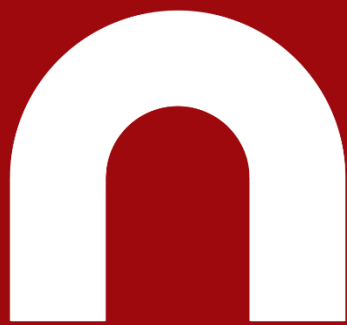




isec
Engenharia

DEFINITIVO

MESTRADO EM ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA

**Gestão de Operações em *Smart Grids* –
Análise de Desempenho da Rede Elétrica
BT – Estágio na EDP Distribuição**

Autora

Paula Gómez Sánchez

Orientadores

Doutor Fernando José Pimentel Lopes

Doutor Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, março de 2021



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA

Gestão de Operações em *Smart Grids* – Análise de Desempenho da Rede Elétrica BT – Estágio na EDP Distribuição

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autora

Paula Gómez Sánchez

Orientadores

Doutor Fernando José Pimentel Lopes

Doutor Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira

Supervisor na empresa

EDP Distribuição

Engenheiro Valter Gomes dos Santos

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, março de 2021

Agradecimentos

A realização do estágio na EDP Distribuição, e a elaboração deste relatório, não teriam sido possíveis sem a colaboração de várias pessoas, que estiveram prontos para ajudar sempre que foi necessário.

Agradeço à EDP Distribuição por ter me proporcionado a realização deste estágio. Em particular ao Engenheiro Valter Gomes dos Santos, por ter estado sempre disponível ao longo de todo o estágio, pela paciência demonstrada para a resolução de dúvidas, bem como a disponibilização de um ótimo ambiente e espaço de trabalho.

Agradeço aos restantes membros da Direção de Operações *Inovgrid*, por toda a ajuda e disponibilidade, em especial ao Engenheiro Jorge Seça.

Agradeço ao Professor Fernando Lopes, por me ter orientado ao longo de todo o período, pela ajuda e por todos os conhecimentos transmitidos. Agradeço também ao Professor Carlos Ferreira por me ter acompanhado desde o início deste estágio.

Agradeço a todos os trabalhadores da EDP Distribuição com que pude ter contacto e que também colaboraram na realização deste trabalho e no meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Finalmente, quero agradecer também à minha família, pelo apoio incondicional demonstrado apesar da distância.

Resumo

O sistema de distribuição de energia elétrica está a evoluir de forma contínua, com a implementação de redes de distribuição inteligentes. As redes inteligentes encontram-se em desenvolvimento progressivo, proporcionando benefícios de comunicações avançadas e tecnologias de informação, criando inteligência na rede e gerando e disponibilizando informação em tempo real.

Causas como a responsabilidade de sustentabilidade ambiental, melhoria na qualidade do fornecimento de energia, incentivo ao novo papel ativo do consumidor e modificações no mercado europeu de energia, criaram novos desafios que foram acompanhados por novas diretivas e novas imposições regulatórias. A EDP Distribuição tem desenvolvido desde 2007 o Projeto *Inovgrid* com a finalidade de implementar as infraestruturas e as atualizações requeridas por este novo paradigma das redes de distribuição inteligentes.

Atualmente, continua a instalação e operação de equipamentos inteligentes, gerando um volume de dados elevado e complexo de analisar, com o objetivo de obter resultados sobre o comportamento da rede. Este desafio cria a motivação para o estudo da infraestrutura da rede e das metodologias necessárias para permitir uma maior eficiência na análise do desempenho da rede BT.

Para a análise do desempenho da rede BT, nomeadamente dos equipamentos incluídos na infraestrutura da rede, como são os DTCs (*Distribution Transformer Controller*), as EBs (*Energy Box*) e os PTs (Postos de Transformação), desenvolveu-se neste trabalho um indicador global do estado da rede. O indicador desenvolvido tem por base outros indicadores mais específicos, construídos com o objetivo de permitir a análise do comportamento da rede nos seus aspectos mais importantes.

Criou-se um modelo de dados que permitisse calcular estes indicadores e, utilizando ferramentas de BI (*Business Intelligence*), aplicou-se uma metodologia de análise de decisão que desse resposta aos objetivos estabelecidos para o trabalho e que se ajustasse às necessidades da organização em termos da análise de desempenho da rede BT.

Com a utilização de ferramentas de *software*, desenvolveu-se uma ferramenta interativa, com o propósito de ser utilizada pelos operadores da rede de distribuição. Esta ferramenta tem por objetivo permitir melhorar a eficiência do trabalho dos ORD (Operador de Rede de Distribuição), possibilitando mostrar o desempenho de uma única rede ou de um conjunto de redes, e ao mesmo tempo detetar anomalias ou problemas de outro tipo no funcionamento da rede BT.

Palavras Chave: *Smart Grids*, Gestão de Operações, *Business Intelligence*, Rede BT.

Abstract

The electricity distribution system is evolving continuously, with the implementation of intelligent distribution networks. Smart grids are in progressive development, providing benefits of advanced communications and information technologies, creating intelligence on the network and generating and providing information in real time.

Causes such as the responsibility for environmental sustainability, the improvement in the quality of energy supply, the encouragement for the new active role of the consumer, and changes in the European energy market, created new challenges that were accompanied by new directives and new regulatory impositions. Since 2007, EDP Distribuição has developed the *Inovgrid* Project in order to implement the infrastructures and updates required by this new paradigm of smart distribution networks.

Currently, the installation and operation of intelligent equipment continues, generating a high volume of data which is complex to analyze, in order to obtain results on the network behavior. This challenge creates the motivation for studying the network infrastructure and the necessary methodologies, to allow greater efficiency in the analysis of the performance of the BT network.

For the analysis of the performance of the BT network, namely the equipment included in the network infrastructure, such as DTCs (Distribution Transformer Controller), EBs (Energy Box) and Transformation Stations or PTs (*Postos de Transformação*), this work developed a global indicator of the network status. The developed indicator is based on other more specific indicators, built with the objective of allowing the analysis of the most important aspects of the network's behavior.

A data model was created to allow the calculation of these indicators and, using BI tools (Business Intelligence), a decision analysis methodology was applied that would respond to the established objectives and adjust to the needs of the organization in terms of the analysis of the BT network performance.

With the use of software tools, an interactive application was developed, with the purpose of being used by the distribution network operators. This application aims to improve the efficiency of the work of the DNOs (Distribution Network Operators), making it possible to inspect the performance of a single network or a set of networks, and at the same time, detect anomalies or problems of other kind in the operation of the BT distribution network.

Key Words: Smart Grids, Operations Management, Business Intelligence, BT Grid.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da empresa	1
1.2	Motivação e enquadramento	2
1.3	Objetivos do Estágio	3
1.4	Organização do Relatório	4
2	Rede Elétrica	5
2.1	Definição	5
2.2	Potências e tensões normalizadas em redes de BT	6
2.3	Elementos de Rede BT	7
2.3.1	Postos de Transformação	7
2.3.2	Armarios de Distribuição	8
2.3.3	Portinhola	8
2.3.4	Ramais	8
2.3.5	Caixa de Contagem	8
2.3.6	DCP e ECCE	9
2.4	Estruturas de Rede BT	9
2.5	Circuito Rede BT	11
2.6	Medição de Energia Elétrica	11
2.7	Sistemas de medição	12
2.8	Grandezas a medir ou a calcular	13
2.9	Equipamentos	13
2.9.1	Contadores	14
2.9.2	Evolução dos contadores	14
2.9.3	Tipos de contadores	14
3	<i>Smart Grids</i> – Infraestrutura <i>Inovgrid</i>	19
3.1	Introdução às <i>Smart Grids</i>	19
3.2	Benefícios das <i>Smart Grids</i>	20
3.3	Comparação entre as <i>Smart Grids</i> e as redes convencionais	21
3.4	Classificação dos sistemas das <i>Smart Grids</i>	22
3.4.1	Sistema de infraestrutura inteligente	23
3.4.2	Sistema de gestão inteligente	26
3.4.3	Sistema de proteção inteligente	26
3.5	<i>Projeto Inovgrid</i>	26
3.5.1	Benefícios do Projeto para os <i>stakeholders</i>	28
3.5.2	Fases do Projeto	29
3.5.3	Infraestrutura técnica	30

3.5.4	Infraestrutura das comunicações	37
4	Metodologia de análise de desempenho da rede BT	39
4.1	Metodologia <i>Knowledge Discovery in Databases</i>	39
4.2	<i>Data Mining</i>	40
4.3	Métodos de Apoio à Decisão Multicritério	41
4.3.1	Método de ponderação	43
4.3.2	Métodos de atribuição de pesos na análise multicritério . .	43
4.4	Arquitetura BI	46
4.5	Ferramentas de tratamento e visualização de dados	49
4.5.1	<i>SAS Enterprise Guide</i>	49
4.5.2	<i>SAS Visual Analytics</i>	50
5	Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho da rede BT	53
5.1	Etapa 1: Aquisição de conhecimentos	53
5.2	Etapa 2: Análise e definição dos indicadores	54
5.2.1	Etapa 3: Estudo e construção do indicador global	58
5.2.2	Etapa 4: Tratamento dos modelos de dados	62
5.2.3	Etapa 5: Representação	67
6	Conclusões e propostas de desenvolvimento futuro	75
6.1	Conclusões	75
6.2	Propostas de desenvolvimento futuro	76
	Referências	77

Lista de Figuras

1	Organigrama DORI.	2
2	Estrutura da rede elétrica.	5
3	Tipos de instalações a ligar em BT [2].	9
4	Esquema de instalação BTN [2].	10
5	Esquema geral de instalação BT desde o PT até à instalação do cliente.	11
6	Contador eletromecânico [10].	15
7	Contador estático [10].	15
8	Arquitetura dos <i>smart meters</i> [8].	17
9	Estrutura das redes inteligentes [16].	22
10	Diagrama de elementos impulsionadores, adaptado de [18].	27
11	Diagrama de pontos chave para confrontar [18].	27
12	Evolução do projeto <i>Inovgrid</i> [20].	29
13	Contador inteligente marca Sagemcom [22].	32
14	Visor de contador inteligente [23].	32
15	Infraestrutura de comunicações <i>Inovgrid</i> [30].	37
16	Infraestrutura de comunicações detalhada, adaptado de [30].	38
17	Metodologia KDD [32].	39
18	Arquitetura de BI [37].	47
19	Diagrama do Indicador de sucesso das OS.	55
20	Diagrama do Indicador de duração das OS.	56
21	Diagrama do Indicador de tempo de recolha de leitura.	57
22	Processo indicadores OS.	63
23	Processo de EBs telegestão.	64
24	Processo de leituras.	64
25	Processo de diagramas de carga.	65
26	Processo final de indicadores.	65
27	Processo método ROC.	66
28	Processo método ordenação.	66
29	Processo método taxação.	66
30	Processo método <i>swing</i>	66
31	Processo final de métodos de ponderação e indicadores	66
32	Relatório inicial do <i>dashboard</i> (Indicador global de estado)	68
33	Mapa do indicador global de estado de PTDs.	70
34	Indicadores OS (A e F).	71
35	Segundo Gráfico indicadores OS	71
36	Indicador de EBs em telegestão.	72

37	Diagrama de dispersão de EBs, por marcas de DTC.	72
38	Indicadores de leitura (C, D, G).	73
39	Indicadores de diagramas de carga (E, H).	74
40	Gráfico de linhas para comparação de parâmetros.	74

Lista de Tabelas

1	Principais elementos das redes de distribuição.	6
2	Escalões de potência contratáveis ou requisitadas em BTN.	7
3	Comparação das características entre as <i>smart grids</i> e as redes convencionais.	21
4	Modelo típico de matriz.	45
5	Pesos do Método ROC.	59
6	Atribuição de pesos do Método de ordenação simples.	60
7	Atribuição de pesos do Método de taxação simples.	61
8	Atribuição de pesos do Método <i>Swing</i>	62

Lista de Abreviaturas e Siglas

AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
AMR	<i>Automated Meter Reading</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
AT	Alta Tensão
BI	<i>Business Intelligence</i>
BSC	<i>Balanced Scorecards</i>
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
BTN	Baixa Tensão Normal
COSEM	<i>Companion Specification for Energy Metering</i>
CPE	Código do Ponto de Entrega
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
CT	Centro de Trabalho
DCP	Disjuntor de Controlo de Potência
DLMS	<i>Device Language Message Specification</i>
DM	<i>Data Mart</i>
DTC	<i>Distribution Transformer Controller</i>
DW	<i>Data Warehouse</i>
EB	<i>Energy Box</i>
ECCE	Equipamento de Contagem e Controlo de Energia
EDP	Energias De Portugal
EG	<i>Enterprise Guide</i>
ER	Entidade-Relacionamento
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETL	<i>Extraction, Transformation, Loading of data</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HAN	<i>Home Area Network</i>
ICP	Interruptor Controlador de Potência
IP	Iluminação Pública
KDD	<i>Knowledge Discovery in Database</i>
kVA	Quilovolt-Ampère
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>

LED	<i>Light Emitting Diode</i>
M-BUS	<i>Meter Bus</i>
MCDA	Métodos de Apoio à Decisão Multicritério
MDU	Modelo de Dados Único
MEES	<i>Modern Electrical and Energy Systems</i>
MT	Média Tensão
ODS	<i>Operational Data Store</i>
ORD	Operador de Rede de Distribuição
OS	Ordem de Serviço
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
OT	Ordem de Trabalho
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PRIME	<i>Powerline Intelligent Metering Evolution</i>
PT	Posto de Transformação
PTD	Posto de Transformação e Distribuição
QoS	<i>Quality of Service</i>
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RND	Rede Nacional de Distribuição
RNT	Rede Nacional de Transporte
ROC	<i>Ranking Order Centroid</i>
RRC	Regulamento de Relações Comerciais
SA	<i>Staging Area</i>
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SG	<i>Smart Grids</i>
SMEE	Sistema de Medição de Energia Elétrica
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TAN	<i>Transformer Area Network</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TIC	<i>Information and Communication Technology</i>
TPL	Terminais Portáteis de Leitura
TPs	Transformadores de Potência
UCT	Unidades Centrais de Telecontagem
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
VA	<i>Visual Analytics</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

1 Introdução

O presente capítulo pretende ser uma introdução ao Relatório de Estágio, começando pela apresentação da empresa onde este foi desenvolvido. De seguida apresenta-se uma descrição da motivação e do enquadramento para a realização do estágio, bem como os objetivos a atingir. Finalmente, descreve-se sucintamente o conteúdo e a organização dos capítulos do presente relatório.

1.1 Apresentação da empresa

A EDP Distribuição é uma empresa do Grupo EDP que exerce atividades na área de Operador de Rede de Distribuição de Energia Elétrica em Média Tensão (MT), Alta Tensão (AT) e das concessões municipais em Baixa Tensão (BT), sendo esta uma atividade regulada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) [1].

A sua missão baseia-se na garantia da expansão e da fiabilidade da rede, do abastecimento de eletricidade e no fornecimento de serviços aos comercializadores. Alguns dos serviços prestados pela EDP Distribuição são, nomeadamente ligações à rede elétrica, assistência técnica à rede e clientes, apoio na escolha de soluções energéticas eficientes e leitura de equipamentos de contagem.

O departamento onde foi realizado o presente estágio designa-se por Direção de Operações de Redes Inteligentes e tem como objetivos principais: assegurar a progressiva transição para as redes inteligentes; a gestão dos ativos de medição e as operações e serviços associados, garantindo a recolha e disponibilização dos dados dos consumos; promover a integração das funcionalidades correspondentes da tecnologia nos processos de negócio da empresa; definir e operacionalizar os sistemas de gestão e operação da plataforma de redes inteligentes; assegurar a resposta da plataforma de redes inteligentes às solicitações dos diversos *Stakeholders*.

Assim, este departamento está afeto às seguintes atribuições:

- Gerir os ativos de medição e das *Smart Grids* associadas.
- Coordenar a renovação dos ativos de medição convencionais, de acordo com a estratégia definida.
- Coordenar a gestão de operações (locais e remotas) sobre ativos de medição, infraestrutura de controlo e de comunicações associada.
- Promover a flexibilidade e qualidade dos serviços fornecidos pela plataforma *Inovgrid*.
- Desenvolver e consolidar a marca *Inovgrid*.

Na Figura 1 apresenta-se o organigrama da Direção de Operações de Redes inteligentes. A área mais específica onde o estágio foi realizado foi: “Exploração da infraestrutura”.



Figura 1: Organigrama DORI.

1.2 Motivação e enquadramento

O sistema de distribuição de energia elétrica evolui sendo reforçado e modernizado, de forma a dar resposta a novas exigências, como o crescimento demográfico e a consequente evolução dos consumos. Este objetivo atinge-se com a implementação das redes inteligentes, tornando o sistema de distribuição mais eficiente, inovador, dinâmico e sustentável.

Os principais fatores envolvidos nesta nova concepção de rede são a importância da sustentabilidade ambiental e uma maior penetração de fontes de energia renovável distribuídas, a melhoria da qualidade no processo de fornecimento de energia, o novo papel ativo do consumidor, e as mudanças no mercado energético europeu. Estes são fatores que produziram, ao mesmo tempo, novos desafios seguidos de novas diretivas e maiores imposições regulatórias e de transparência.

Neste contexto, novas dificuldades resultam do aumento da complexidade da operação da rede e da exigência de uma maior eficiência operacional. As redes inteligentes representam o novo paradigma que tenciona dar resposta a estas dificuldades, tendo a EDP Distribuição otimizado desde 2007 o projeto *Inovgrid* com o objetivo de implementar as infraestruturas e as atualizações requeridas por este novo conceito.

Com a implementação do projeto *Inovgrid* e com a sua massificação, aumenta-se também a quantidade de dados e a adquirir e analisar. É assim imprescindível possuir a capacidade para gerir e analisar grandes volumes de dados e a utilização de ferramentas e sistemas capazes de suportar o aumento da complexidade da rede.

Em relação a esta necessidade, identificaram-se os desafios que motivaram a realização deste estágio. Devido ao elevado volume de dados a ser recolhido da rede e o elevado número de equipamentos, foi necessário criar uma ferramenta de *software*, capaz de dar resposta à análise do desempenho da rede elétrica em baixa tensão. Para atingir este resultado, foi necessário desenvolver uma metodologia de extração, tratamento e análise de dados. Do mesmo modo, foi necessário estudar toda a infraestrutura *Inovgrid*, assim como desenvolver indicadores que permitissem servir de base à criação da referida ferramenta de *software*.

1.3 Objetivos do Estágio

O presente trabalho teve por objetivo aprofundar a formação da estagiária em contexto de trabalho, no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, na Área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, ministrado pelo Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Esta componente é parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre nesta área de conhecimento.

O trabalho desenvolvido durante o estágio integrou-se nas atividades da EDP Distribuição – Direção de Redes Inteligentes e incluiu numa primeira fase a aquisição de conhecimentos sobre toda a infraestrutura que suporta as operações *Inovgrid* em redes BT, que vai desde a própria estrutura da rede, aos equipamentos existentes, o tipo de comunicações utilizadas, os serviços pretendidos e o sistema de informação de gestão de suporte.

O principal objetivo proposto para ser desenvolvido durante a realização deste estágio foi, o desenvolvimento de um sistema que qualificasse e indicasse graficamente o desempenho da rede elétrica em baixa tensão. Nomeadamente, que indicasse o desempenho de equipamentos incluídos na infraestrutura da rede, como são os DTCs (*Distribution Transformer Controller*), as EBs (*Energy Box*) e os PTs (Postos de Transformação). Para este efeito, foi desenvolvido um indicador global do estado da rede, constituído por outros indicadores mais específicos, desenvolvidos para reflectir o comportamento da rede nos seus aspectos mais importantes.

Criou-se um modelo de dados que permitisse calcular estes indicadores e utilizando ferramentas de BI (*Business Intelligence*) aplicou-se uma

metodologia de análise de decisão que desse resposta aos objetivos estabelecidos e que se ajustasse às necessidades da organização.

Partindo de uma iniciativa de melhoria dos processos da organização e da eficiência do trabalho dos ORD, criou-se uma ferramenta automática de apoio, capaz de mostrar o estado de uma única rede ou de um conjunto de redes.

1.4 Organização do Relatório

A estrutura do Relatório de Estágio foi organizada em seis capítulos antecidos por um Resumo e *Abstract* que sintetizam os objetivos, atividades, resultados e conclusões do presente trabalho.

No Capítulo 1 (o presente capítulo) é feito um breve enquadramento do Estágio e dos temas a serem tratados ao longo do relatório, assim como uma descrição da empresa e do departamento no qual se inseriu o Estágio.

No Capítulo 2 são explicados alguns conceitos de Redes Elétricas de Distribuição, para ajudar a contextualizar os capítulos seguintes.

No Capítulo 3 é realizada uma abordagem às Redes Elétricas Inteligentes, e mais concretamente ao projeto *Inovgrid*. Há uma breve introdução teórica à estrutura e ao funcionamento das *Smart Grids*. São analisados com detalhe os equipamentos que integram a infraestrutura *Inovgrid*, bem como o tipo de comunicações utilizadas, os serviços permitidos e os sistemas de informação de gestão de suporte.

No Capítulo 4 apresenta-se, um estudo teórico das metodologias intervenientes, no processo de desenvolvimento da ferramenta de análise de comportamento da rede BT. Primeiro é descrita a metodologia escolhida, que é seguida pela definição dos indicadores que vão conformar o indicador global do estado da rede. Analisam-se depois as diferentes metodologias aplicadas para a obtenção do indicador global de estado, e finalmente são descritas as ferramentas de BI usadas para a análise e desenvolvimento da aplicação.

No Capítulo 5 descreve-se, o processo de criação da ferramenta automática ilustrativa do estado da rede BT. Sendo o processo dividido em 5 etapas, onde são definidos e explicados os indicadores e os métodos necessários para a construção do indicador global de estado. Seguidamente, é apresentado todo o processamento posterior, efetuado através de várias ferramentas de *software*, para a criação do *dashboard* e relatórios finais. Estes relatórios, representam os resultados da utilização da aplicação desenvolvida para análise da *performance* da rede BT.

No Capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões do Estágio assim como um conjunto de propostas para desenvolvimentos futuros.

2 Rede Elétrica

De forma a estruturar os capítulos seguintes é essencial descrever como são estabelecidas as ligações às Redes Elétricas de Distribuição e algumas definições nas quais se baseia a infraestrutura *Inovgrid*. A informação apresentada neste capítulo é descrita no Manual de Ligações à Rede Elétrica de Serviço Público [2].

2.1 Definição

O estabelecimento da ligação à rede é fundamental para os consumidores de energia elétrica, dado que é a condição precedente de acesso ao fornecimento de energia elétrica. A ligação à rede de qualquer instalação elétrica, produtora ou consumidora, é inserida em exploração nas redes de transporte e distribuição (Figura 2).

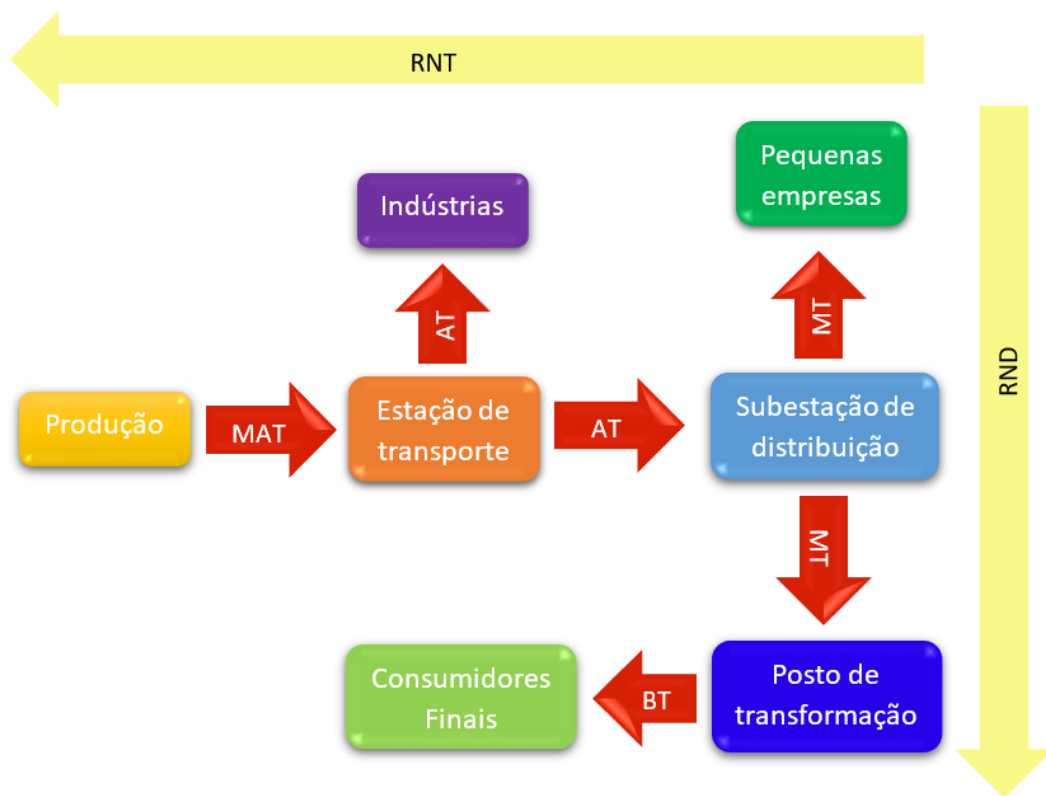


Figura 2: Estrutura da rede elétrica.

O propósito das instalações produtoras é injetar a energia elétrica produzida, nas redes elétricas de serviço público. A ligação, baseada na potência instalada, pode ser realizada diretamente com a Rede Nacional de Distribuição (RND), ou com a Rede Nacional de Transporte (RNT) quando as potências são superiores a 10 MVA, sempre que seja a solução global mais vantajosa para o

sistema elétrico nacional. A transmissão de energia elétrica em Muito Alta Tensão (MAT) é exclusiva para as redes de transporte. Tanto a RND como a RNT apenas são operadas por entidades licenciadas para esse efeito. A transmissão da energia elétrica procedente da rede de transporte é realizada através das redes de distribuição, até as instalações dos consumidores, por meio dos principais elementos inseridos na Tabela 1.

Tabela 1: Principais elementos das redes de distribuição.

Linhas Aéreas e Cabos Subterrâneos em:	
Alta Tensão (AT)	60 kV (tensão nominal)
Média Tensão (MT)	30 kV, 15 kV, 10 kV (tensões nominais) 10 kV
Baixa Tensão (BT)	400/230 V (tensão nominal)
Subestações Postos de Seccionamento Postos de Transformação Ligações às instalações particulares Instalações de Iluminação Pública Órgãos, equipamentos e telecomando da rede	

Quer as redes de distribuição quer as redes de transporte, ao longo do tempo vão sendo modernizadas e reforçadas, para corresponder às necessidades regulatórias que promovem o aumento da qualidade de serviço e a diminuição de perdas na rede, assim como também para satisfazer as necessidades de consumo. Portanto, as redes devem poder adaptar-se à evolução. Neste relatório, apenas será aprofundado a rede de baixa tensão (BT), ou seja, tudo o que se encontra entre o Posto de Transformação (PT) e o consumidor final.

2.2 Potências e tensões normalizadas em redes de BT

As ligações em BT são divididas em Baixa Tensão Normal (BTN) e Baixa Tensão Especial (BTE), em função da potência contratada das instalações. A tensão máxima possível para contratar numa instalação de BT é de 1 kV. Seguindo a potência contratada, as instalações de BT com uma potência inferior a 41,4 kVA consideram-se BTN, aquelas que são superiores a 41,4 kVA são definidas como BTE. Para instalações BTN as potências contratadas até 41,4 kVA são normalizadas por escalões, para instalações BTE não existe estrutura de escalões, portanto qualquer valor de potência, acima de 41,4 kVA pode ser contratada.

Tabela 2: Escalões de potência contratáveis ou requisitadas em BTN.

Monofásico		Trifásico	
P(kVA)	In(A)	P(kVA)	In(A)
1,15	5	6,90	3x10
2,30	10	10,35	3x15
3,45	15	13,80	3x20
4,60	20	17,25	3x25
5,75	25	20,70	3x30
6,90	30	27,60	3x40
10,35	45	34,50	3x50
13,80	60	41,40	3x60

2.3 Elementos de Rede BT

A rede elétrica de distribuição em BT é composta por diversos elementos. De seguida, são descritos os elementos de maior importância e as suas respetivas funções.

2.3.1 Postos de Transformação

O Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento (Decreto-Lei n.º 42895, de 31/03/60, alterado pelo Dec. Regulamentar n.º 14/77, de 18 de Fevereiro), define Posto de Transformação (PT) como uma instalação composta por um ou vários transformadores redutores, que permite a distribuição elétrica por diferentes tensões, ao mesmo tempo que possibilita a ligação às linhas e redes em qualquer ponto acordado previamente [3].

Quanto à sua localização, podem classificar-se como:

- Aéreos: o equipamento é montado num poste.
- Em cabine: todos os equipamentos são inseridos numa cabine.

Os postos de transformação são constituídos geralmente pelos seguintes componentes:

- Aparelhos de interrupção, seccionamento e proteção.
- Um ou mais transformadores, responsáveis pela transformação de média a baixa tensão.
- Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), de onde partem as linhas de saída que constituem a rede de distribuição de BT [4].

2.3.2 Armários de Distribuição

Os armários de distribuição são integrados nas redes subterrâneas de BT, utilizam-se como proteção de interligação de redes, assim como proteção de linhas ou ramais a partir da linha principal. Os armários de distribuição são constituídos essencialmente por quatro partes diferentes:

- Invólucro: destinado a assegurar a proteção do equipamento, bem como de pessoas.
- Bastidor: destinado a servir de estrutura de suporte e de fixação.
- Suporte de cabos.
- Maciço de fundação: garante a estabilidade do armário e permite a passagem dos cabos [5].

2.3.3 Portinhola

A portinhola define-se como o quadro onde termina o ramal, de que faz parte, por conseguinte, estabelece o ponto de fronteira entre a instalação e a rede de distribuição. Assegura a proteção contra sobreintensidades nas instalações coletivas de edifícios ou entradas ligadas a jusante. Encontram-se nas redes de distribuição de BT, instaladas na via pública com fácil acesso e permitem o seccionamento e a interrupção do fornecimento de energia elétrica nas instalações.

2.3.4 Ramais

Os ramais são canalizações elétricas, sem qualquer derivação. O ramal parte de uma central geradora, bem de um quadro de um posto de transformação ou bem de uma canalização principal, e termina numa portinhola, quadro de colunas ou aparelho de corte de entrada de uma instalação de utilização [6].

2.3.5 Caixa de Contagem

As caixas de contagem encontram-se no exterior dos edifícios dotados de uma ou mais instalações de utilização, tais como vivendas unifamiliares, edifícios comerciais, prédios coletivos, etc. Sempre, num local de fácil acesso para o operador de distribuição, de forma a facilitar a leitura, verificação ou substituição do equipamento de medida e contagem.

2.3.6 DCP e ECCE

O DCP (Disjuntor de Controlo de Potência contratada) funciona como Disjuntor Limitador de Potência (até 41,4 kVA) e ainda se pode encontrar instalado em alguns edifícios. A EDP deixou de o instalar, para ser substituído progressivamente pelo ECCE (Equipamento de Contagem e Controlo de Energia). O ECCE também conhecido por *Energy Box* (EB) no âmbito do projeto *Inovgrid*, é um único aparelho que desempenha as funções de Contador e ICP (Interruptor Controlador de Potência) [2].

2.4 Estruturas de Rede BT

Dentro das redes BT, as suas ligações podem ser, subterrâneas ou aéreas, tais redes são estabelecidas e exploradas de forma radial. A configuração e estrutura da rede está ligada à densidade de cargas a alimentar. Podem encontrar-se vários tipos de instalações ligadas à rede de distribuição de BT, que poderão ser BTN ou BTE. A Figura 3 mostra a distinção entre zona urbana e zona rural, dependendo das suas características de ligação.



Figura 3: Tipos de instalações a ligar em BT [2].

Redes Aéreas

Nesta classe, a rede é realizada à vista comum, a uma altura regulamentar, por meio de condutores aéreos suportados por apoios de rede designados por postes, seguindo a regulamentação técnica construtiva, tendo em conta, os materiais normalizados e as normativas de segurança. Este tipo de redes são utilizadas geralmente no meio rural e semi-urbano, com um custo de investimento relativamente baixo. Os cabos apropriados para as linhas de baixa tensão são os agrupados em feixe.

Redes Subterrâneas

Nesta classe, a rede é estabelecida no subsolo, enterrada a distâncias regulamentares, por meio de cabos subterrâneos, de acordo com regras técnicas de construção, materiais especializados e normativas de segurança. Este tipo de redes é utilizado em meios urbanos e semi-urbanos, tem um custo mais elevado, não obstante a capacidade de transporte ser maior, não tem tanto impacto ambiental, é mais estético e não está tão sujeito a incidentes ou danos de origem externa.

Ponto de Fronteira

Define-se o ponto de fronteira como o ponto entre a rede de distribuição BT e as instalações de utilização. Na Figura 4, é apresentado um exemplo de ponto de fronteira para uma instalação de distribuição BTN [2].

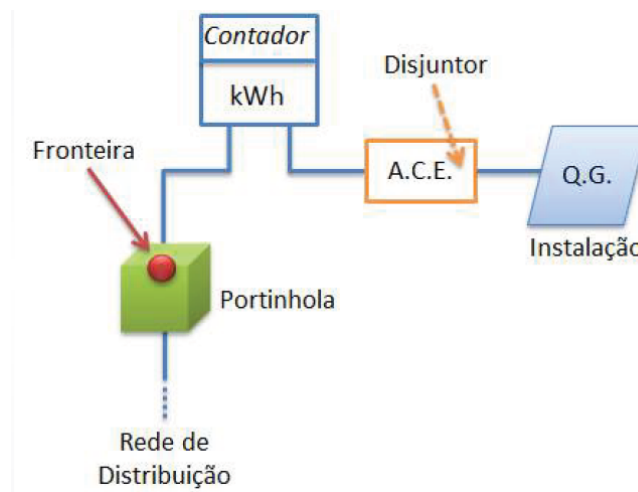


Figura 4: Esquema de instalação BTN [2].

2.5 Circuito Rede BT

Na Figura 5, apresenta-se um esquema geral onde se mostram os diferentes tipos de instalação dentro de uma rede BT, desde o posto de transformação até à instalação do cliente.

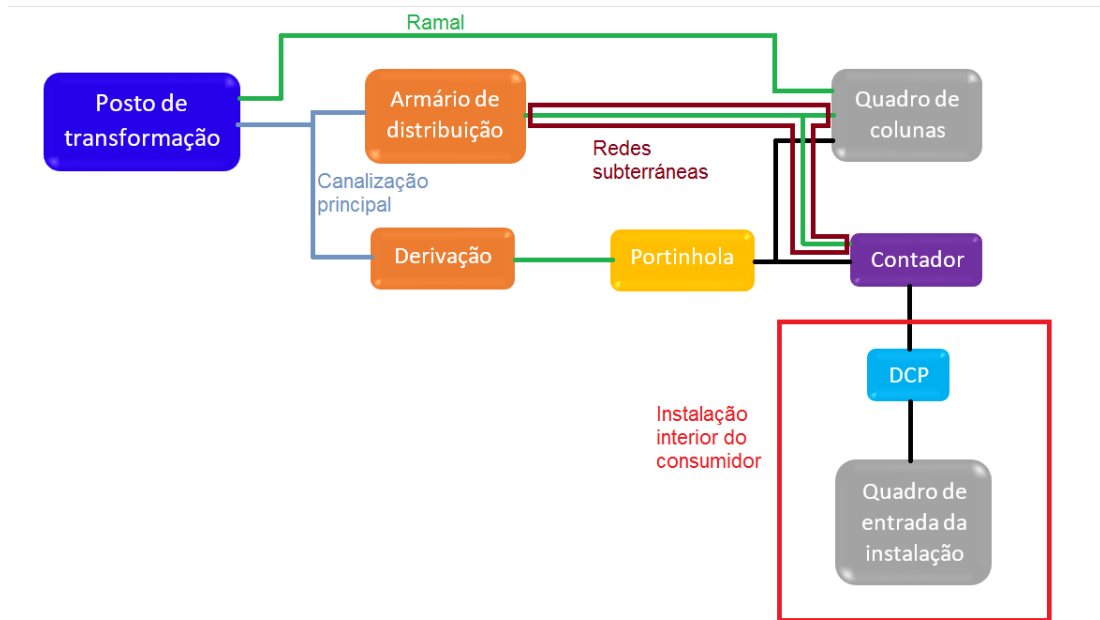


Figura 5: Esquema geral de instalação BT desde o PT até à instalação do cliente.

O ponto de partida é o posto de transformação de BT da rede de distribuição, a partir de aqui, há três opções de ligação: por meio de uma canalização principal, a ligação a uma derivação ou a ligação a um armário de distribuição e a ligação direta com um quadro de colunas através do ramal. Do armário de distribuição parte o ramal, que deve ser subterrâneo, e pode chegar a um quadro de colunas ou a um contador. Por meio de uma derivação chega-se à portinhola, e da portinhola ao contador. Desde o contador parte até à instalação do consumidor, onde se encontra o dispositivo controlador de potência e por último o quadro do consumidor.

2.6 Medição de Energia Elétrica

A ERSE é a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. A sua função é a regulação dos setores do gás natural, petróleo liquefeito, e da eletricidade em Portugal. Esta entidade desenvolveu um Guia de Medição, Leitura e Disponibilização de dados, aplicado às entidades afetadas pelo Regulamento de Relações Comerciais (RRC), por conseguinte, a EDP Distribuição como

entidade operadora de rede de distribuição, é afetada por este guia. Seguindo o estabelecido no Guia de Medição, o suporte base para a quantificação do fluxo de energia elétrica é constituído pelo Sistema de Medição de Energia Elétrica (SMEE). O SMEE é necessário na recolha de dados do fluxo de energia elétrica utilizado para as liquidações associadas aos relacionamentos comerciais entre as várias entidades do Sistema Elétrico Nacional (SEN). O SMEE é formado por dois tipos de equipamentos: os equipamentos locais, que efetuam a contagem de energia elétrica, os quais podem ser acedidos tanto no local como remotamente, e os equipamentos centrais que efetuam o tratamento dos dados recolhidos, especialmente para efeitos de liquidação e faturação [7].

2.7 Sistemas de medição

Sistemas de medição com leitura remota

O sistema de medição de leitura remota, ou telecontagem, forma o suporte base para a recolha e o processamento de dados associados aos fluxos de energia elétrica em consumidores e em produtores no caso de MAT, AT ou MT. Para atingir este objetivo, é preciso um sistema de medição composto por equipamentos locais, os quais comunicam entre si e com equipamentos centrais. Os equipamentos centrais são os responsáveis pela recolha centralizada de informação e o seu posterior tratamento. Tanto em instalações produtoras como consumidoras de energia elétrica, é normalmente instalado no local um sistema de telecontagem de energia elétrica. Este sistema é fundamentalmente composto por transformadores de medição, contadores, unidades remotas de telecontagem e respetivas ligações. A instalação de um concentrador remoto de dados é essencial, já que recolhe a informação dos diferentes contadores da instalação. A transmissão da informação entre os concentradores remotos e as Unidades Centrais de Telecontagem (UCT) é efetuada através do suporte de sistemas de telecomunicações estáveis e fiáveis.

Sistemas de medição com leitura local

Os sistemas de medição com leitura local de dados são utilizados quando não é possível realizar a leitura remota com os correspondentes sistemas de medição. Têm como objetivo o acesso direto aos equipamentos de medição e o acesso à informação registada nos mesmos em cada instante. O sistema de contagem com leitura local é composto por um conjunto de equipamentos locais que realizam a contagem da energia elétrica transacionada de forma acumulada. No caso dos consumidores finais em BTN, a leitura do equipamento de medição é efetuada

pelos ORD, e a recolha de informação dos contadores é realizada com Terminais Portáteis de Leitura (TPL), sendo depois, transmitida para uma unidade central de tratamento de informação de contagens [7].

2.8 Grandezas a medir ou a calcular

Para determinar as grandezas relevantes, de acordo com o RRC, é necessária a medição, a leitura dos equipamentos de medição e o processamento dos dados. As grandezas objeto de medição são as seguintes:

- Potência tomada.
- Potência contratada.
- Potência em horas de ponta.
- Energia ativa.
- Energia reativa.

Quando não é possível a obtenção de todas as grandezas necessárias por consulta aos equipamentos de medição, é necessária a sua determinação através de cálculos auxiliares [7].

2.9 Equipamentos

Seguindo a Guia de Medição, Leitura e Disponibilização de Dados, onde se estabelece as especificações técnicas dos diversos equipamentos que integram o sistema de medição, são considerados como equipamentos integrantes, designadamente:

- Transformadores de medição (transformadores de tensão e de corrente).
- Contadores.
- Dispositivos controladores de potência.
- Unidades remotas de telecontagem.
- Classes de exatidão dos contadores e transformadores de medição.

Nesta parte do relatório apenas vão ser aprofundados os contadores. Seguindo o Guia de Medição, os equipamentos de medição a instalar em pontos de medição de instalações de clientes finais em BTN devem satisfazer as normas EN 62052-11. Complementarmente, os tipos de equipamentos de contagem (eletromecânicos ou estáticos) devem satisfazer a norma correspondente [7].

2.9.1 Contadores

O contador é o aparelho que regista a energia elétrica consumida na instalação do cliente. Os contadores utilizados são monofásicos ou trifásicos. Em termos construtivos, podem ser estáticos e, aqueles em instalações já existentes, dos tipos híbridos ou eletromecânicos. Existem também os contadores inteligentes (*smart meters*) que são a nova geração de contadores. Atualmente, os contadores híbridos encontram-se em desuso, por conseguinte só serão descritos os contadores eletromecânicos, os estáticos e os inteligentes.

2.9.2 Evolução dos contadores

A medição do consumo de eletricidade começou com os contadores de indução eletromecânicos, os quais operam contando as revoluções de um disco de metal rodando a uma velocidade proporcional à potência transferida, e com o número de revoluções proporcional ao uso de energia. Mais tarde, nos 1990s, os contadores eletrónicos foram introduzidos com o uso de ecrãs LED, ou LCD. Estes contadores podiam também transmitir leituras remotamente, mas apenas podiam usar uma comunicação (unilaterais). Para uma melhor comunicação entre o operador e os clientes, e para uma faturação adequada e a tempo, a primeira geração de *smart meters* foi introduzida em 2005.

Os *smart meters* são a nova geração de dispositivos eletrónicos, utilizados para medições e para comunicar remotamente as leituras para que seja feita a faturação dos clientes, e também permitir o acesso ao seu sistema operativo. Estes contadores podem tirar leituras e enviar a informação repetidamente ao gabinete de controlo, em pequenos períodos de tempo. O gabinete de controlo pode monitorar os contadores porque é utilizada uma comunicação bilateral num sistema de medição inteligente. São capazes de detetar interrupções elétricas e monitorar perfis de consumo.

Sendo comunicações bilaterais, os consumidores terão informação sobre o seu consumo diário de eletricidade e os respetivos custos, podendo assim gerir os mesmos. Isto também ajudará a reduzir a pegada de dióxido de carbono e assim preservar a natureza e o meio ambiente [8].

2.9.3 Tipos de contadores

Contadores eletromecânicos

Os contadores eletromecânicos fazem a medição da quantidade de energia

elétrica consumida por meio de um sistema mecânico. Este sistema mecânico é essencialmente composto por um disco que, ao girar, aciona um conjunto de bobinas (tensão e corrente), e que através de um integrador faz a contabilização da energia. Atualmente, este tipo de contadores, já não são instalados em Portugal, entretanto ainda existem instalações onde se podem encontrar [9]. Na Figura 6 é ilustrado um exemplo de contador eletromecânico.



Figura 6: Contador eletromecânico [10].

Contadores estáticos

Este tipo de contadores é mais recente e portanto apresentam uma melhoria considerável na medição de energia elétrica, já que permitem uma maior complexidade de tarifários, facilitam a integração de telecontagem e possibilitam uma maior exatidão. Apenas com um equipamento é possível medir a energia ativa e reativa em ambos os sentidos (produção e consumo). Na figura 7 apresenta-se um contador deste tipo.



Figura 7: Contador estático [10].

Neste tipo de contadores, as grandezas analógicas de corrente e de tensão são inicialmente transformadas por divisores internos e depois convertidas em grandezas digitais, que são filtradas e processadas, sendo convertidas em impulsos proporcionais à energia [9].

Seguindo a Guia de Medição [7], os contadores estáticos devem estar equipados com:

- Tarifa múltipla para medição de energia ativa.
- Porta ótica para a realização de trabalhos locais de programação ou de recolha de dados.
- Calendário e relógio interno de tempo real, sincronizável. Memória não volátil, do tipo circular, onde sejam guardados, pelo menos, os valores acumulados dos quatro últimos períodos de faturação.
- Dispositivo de selagem no acesso aos terminais e, estando esta função disponível no mercado, no ponto de acesso à programação.

Devem, ainda, conter as funcionalidades de programação seguintes:

- Ciclos horários previstos no Regulamento Tarifário.
- Discriminação do consumo em todos os períodos tarifários contratados.
- Data de fecho automático e/ou manual do período de faturação.
- Data de mudança automática da hora legal.
- Unidade de medida.

Contadores Inteligentes ou *Smart Meters*

Um contador inteligente é um medidor de energia avançado que para além de medir o consumo de energia de um consumidor, partilha informação útil com o ORD. Os contadores inteligentes conseguem ler informação de consumo em tempo real e depois comunicar esses dados de forma segura. A comunicação bidirecional possibilita a troca de informação entre a rede elétrica e as instalações do cliente [11]. Na Figura 8 ilustra-se a arquitetura dos *smart meters*.

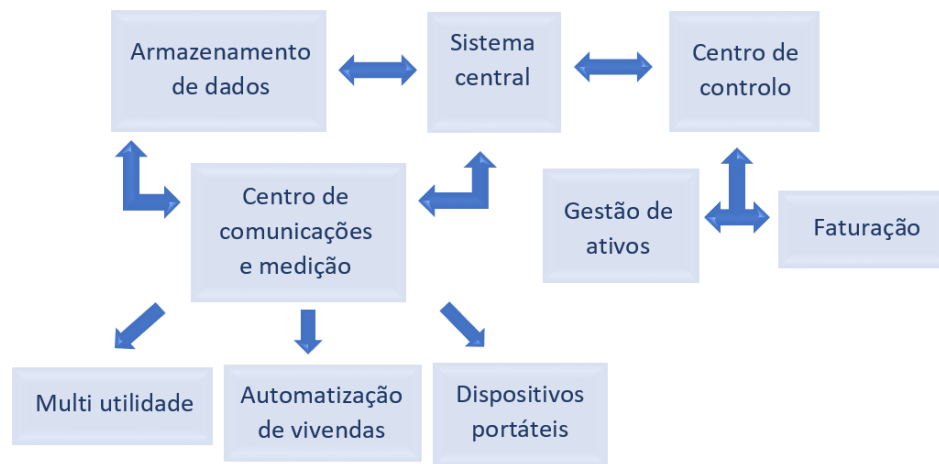


Figura 8: Arquitetura dos *smart meters* [8].

Standard para leitura remota de Smart Meters

O M-Bus (*Meter-Bus*) (EN 13757) é um *standard* europeu para a leitura remota de consumo em *smart meters*. O EN 13757-1 especifica a comunicação e as trocas de dados de uma forma genérica. O EN 13757-2 refere-se à camada física e de ligação enquanto o EN 13757-3 especifica a camada de aplicação. Existem duas versões de interfaces M-Bus: uma versão que possibilita a comunicação utilizando cabos e outra variante que utiliza comunicação via rádio, ou *Wireless M-Bus*, especificada no EN 13757-4.

Este sistema de *bus* para a leitura de medidores foi desenvolvido com base no Modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), a fim de criar um sistema aberto, que pudesse utilizar qualquer protocolo. O M-Bus não é uma rede uma vez que não define uma camada de transporte ou de sessão e portanto estes dois níveis do modelo OSI não são utilizados. No M-Bus apenas as camadas física, de ligação e de aplicação possuem funções associadas [12].

3 *Smart Grids* – Infraestrutura *Inovgrid*

Neste capítulo vão ser tratados os conceitos de *Smart Grids* e de *Smart Metering*, as suas relações e as diferenças quando comparados com os modelos convencionais de funcionamento da rede elétrica, assim como, de uma forma mais aprofundada, a infraestrutura *Inovgrid*, ligada à EDP Distribuição. A evolução desta infraestrutura desde o seu começo até a atualidade, incluindo a sua estrutura, os seus componentes principais e as comunicações entre eles, são também descritos de forma detalhada.

3.1 Introdução às *Smart Grids*

No contexto deste trabalho, uma *smart grid* é um sistema que permite a comunicação bidirecional entre o consumidor final da energia, podendo ser um utilizador particular ou uma indústria, e as companhias elétricas. A informação obtida neste processo de comunicação permite às companhias elétricas realizar uma operação mais eficiente da rede elétrica [13].

A rede inteligente é considerada uma rede elétrica com capacidade para entregar eletricidade de uma forma inteligente e controlada, desde os pontos de geração aos consumidores, os quais são considerados uma parte integral das *smart grids*, porque podem modificar os seus padrões de consumo e comportamento, em relação com a informação que recebam e os incentivos.

A gestão da demanda representa uma parte muito relevante dentro das *smart grids*. A completa integração desta gestão requer sistemas de comunicação e sensores, contadores automatizados, dispositivos inteligentes e processadores especializados.

O *smart metering*, a informação avançada e as tecnologias de comunicação (TIC), aparecem como uma oportunidade tangível de atingir poupanças energéticas, explodir recursos de energia renováveis e a participação ativa dos clientes no mercado de eletricidade.

As novas infraestruturas TIC suportam uma operação de rede mais eficiente, permitem a comunicação de atualizações de preços e oferecem novas soluções à gestão da demanda. Permitem um mecanismo de tarifa reativo muito mais dinâmico, tendo em conta a disponibilidade em tempo real dos recursos de energia renovável flutuantes e para seguir a evolução do balanço, entre o fornecimento e a demanda em tempo real. A gestão da demanda normalmente refere-se a programas implementados por companhias de serviços para gerir o seu consumo

de energia desde o lado do consumidor e o seu contador. Ao mesmo tempo, os consumidores e os serviços podem ser beneficiados pelos programas de gestão de demanda, que podem ajudar os mercados de potência de eletricidade a operar de uma forma mais eficiente, e portanto reduzir a demanda de pico e a volatilidade do preço de mercado.

Um amplo leque de programas de resposta de demanda e tarifas são oferecidas por serviços que têm instalado o uso de energia disponível de forma mais eficiente e motivar o consumidor e os comercializadores de energia a ser competitivos. Estes programas consistem em programas de conservação e de eficiência energética, programas de substituição de combustível, programas de resposta de demanda e programas de gestão de carga comercial [14].

3.2 Benefícios das *Smart Grids*

Os benefícios antecipados e requerimentos das *smart grids* são os seguintes:

- Melhorar a fiabilidade da energia e qualidade.
- Otimizar a utilização da instalação e prevenção de construção de centrais de energia.
- Melhorar a capacidade e eficiência de redes de energia elétricas existentes.
- Melhorar a capacidade de recuperação a interrupção.
- Possibilitar uma manutenção preditiva e autorreparação em relação as distorções no sistema.
- Facilitar a implantação expandida de fontes de energia renováveis.
- Adaptação de fontes de energia distribuídas.
- Manutenção automática e operação.
- Redução da emissão de gases de efeito estufa, disponibilizando a utilização de veículos elétricos e novas fontes de energia.
- Redução do consumo de petróleo reduzindo a necessidade de uma geração ineficiente durante os períodos de utilização de pico.
- Apresentar oportunidades para melhorar a segurança da rede
- Permitir a transição para veículos elétricos *plug-in* e novas opções de armazenamento de energia
- Incrementar a escolha do consumidor.
- Permitir a evolução para novos produtos, serviços e mercados.

3.3 Comparação entre as *Smart Grids* e as redes convencionais

Tradicionalmente, a terminologia "rede" é utilizada para um sistema de eletricidade que pode estar composto pelas seguintes quatro operações: geração de eletricidade, transmissão de eletricidade, distribuição de eletricidade e controlo. Uma *smart grid* é uma melhoria definitiva da rede de energia do século XX. As redes de energia tradicionais são geralmente utilizadas para levar a energia desde algumas centrais de geração, a um grande número de clientes ou utilizadores. Em contraste, as *smart grids* utilizam fluxos bidirecionais de eletricidade e informação para criar uma rede de entrega de energia avançada e distribuída. Utilizando tecnologias de informação modernas, as *smart grids* são capazes de entregar energia de forma mais eficiente e respondendo a diferentes condições e eventos. Em termos gerais, as *smart grids* podem responder a eventos que aconteçam em qualquer parte da rede, como na produção de energia, transmissão, distribuição e consumo, e adotar as estratégias correspondentes [15]. A Tabela 3 resume as características diferenciadoras das *smart grids* com as redes convencionais.

Tabela 3: Comparação das características entre as *smart grids* e as redes convencionais.

Características	Rede convencional	Rede inteligente
Comunicações	Nenhuma ou unidirecional	Bidirecional
Interação com os consumidores	Limitada	Generalizada
Medidores de energia	Eletromecânico	Digital
Operação e manutenção	Checagem manual de equipamentos	Monitorização à distância
Geração de eletricidade	Centralizada	Centralizada e distribuída
Controlo de fluxos de energia	Limitado	Generalizado e flexível
Fiabilidade de fornecimento	Falhas e interrupções	Proteções adaptativas e funcionamento em ilha
Restabelecimento do fornecimento	Manual	Automático
Topologia	Radial	Malha

Na Figura 9 é representado um esquema geral de uma rede elétrica inteligente.

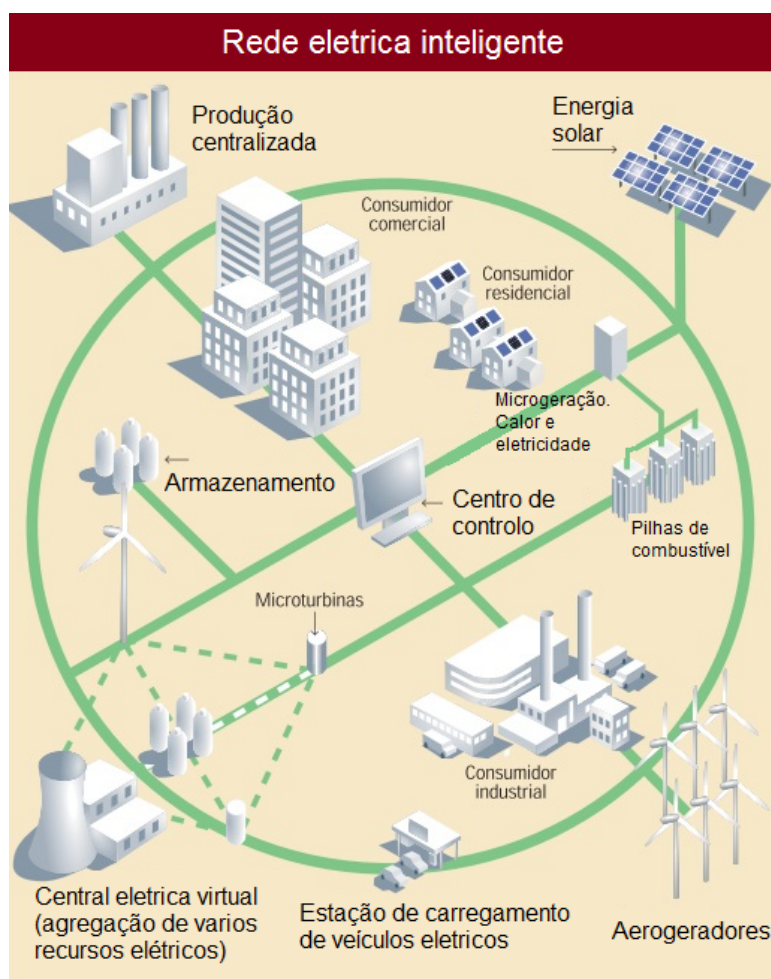


Figura 9: Estrutura das redes inteligentes [16].

Definitivamente, as *smarts grids* integram tecnologias mais avançadas de sensoramento e aquisição de dados, assim como métodos de controlo e comunicações na rede elétrica. Combinam infraestruturas elétricas e tecnologias da informação e comunicação. Além disso, facilitam a incorporação de energias renováveis, com as particularidades associadas às próprias limitações das fontes de energia alternativas. Por um lado pela produção irregular destas fontes, e por outro, pela falta de infraestruturas elétricas nas suas localizações [13].

3.4 Classificação dos sistemas das *Smart Grids*

Existem três sistemas maiores dentro das *smart grids*, classificados seguindo uma perspetiva técnica: o sistema de infraestrutura inteligente, o subsistema de informação avançada de medição, monitorização e gestão e o subsistema de tecnologias de comunicação avançadas [15].

3.4.1 Sistema de infraestrutura inteligente

O sistema de infraestrutura inteligente é a energia, informação e infraestrutura de comunicação subjacente às *smart grids*, que suporta um fluxo bidirecional de eletricidade e informação. Este fluxo, implica que a entrega já não é mais unidirecional. Na rede de energia tradicional a eletricidade é produzida por uma central de produção, levada à rede de transporte, de distribuição e finalmente entregue aos consumidores. Numa rede inteligente a eletricidade pode ser devolvida à rede pelos utilizadores.

O sistema de infraestrutura inteligente pode ser dividido, por sua vez, em três subsistemas:

1) Subsistema de geração avançada de eletricidade, entrega e consumo

Divide-se em três partes:

- Geração de energia.

Uma geração de energia chave, vai ser a geração distribuída. A geração distribuída vai beneficiar dos sistemas de recursos de energia distribuídos, os quais são normalmente geradores de potência de pequena escala, para melhorar a qualidade da energia e a fidelidade. Por exemplo, as instalações de microgeração, as quais são um grupo de geradores de eletricidade e cargas, que podem desconetar das macroredes para que os geradores continuem a fornecer aos utilizadores na microrede, sem obter energia de fora. Assim, a distorção na macrorede pode ser isolada nela mesma e a qualidade de fornecimento da energia elétrica é melhorada.

- Transmissão.

Na parte da transmissão de energia, fatores como os desafios da infraestrutura e as tecnologias de inovação conduzem ao desenvolvimento das redes de transmissão inteligentes. A rede de transmissão inteligente pode ser observada como um sistema integrado que consiste em três componentes interativos: centros de controlo, redes de transmissão de energia inteligentes e subestações inteligentes. As principais características de uma subestação inteligente devem incluir digitalização, autonomização, coordenação e autorreparação. Suportando estas características, uma subestação inteligente pode responder rapidamente e proporcionar um operador de segurança incrementado. Com uma plataforma digitalizada comum na rede de transmissão, é possível mais flexibilidade no controlo e

operação, permitindo inteligência integrada e promover a resiliência e a sustentabilidade da rede.

- Distribuição.

Na rede de distribuição, o problema mais importante é como entregar energia para servir melhor os consumidores finais. No entanto, muitos geradores distribuídos serão integrados na rede distribuída inteligente. Isto, por um lado, incrementará a flexibilidade do sistema para a geração de energia. Por outro, tornará o controlo de fluxo de energia muito mais complexo, o que por sua vez obrigará à investigação da distribuição de energia inteligente e mecanismos de entrega.

2) Subsistema de informação avançada de medição, monitorização e gestão

A evolução das *smart grids* baseia-se também na sofisticação da monitorização, análises, optimização e controlo. Exclusivamente, desde locais de utilidade centrais às redes de transmissão e distribuição. Esta secção concentra-se na exploração da medição de informação e nas medidas obtidas, as quais geram informação para as entidades finais. Esta informação é normalmente utilizada para a faturação, monitorização do estado da rede e para o controlo de aplicação do utilizador.

Smart Metering

O *smart metering* é o mecanismo mais importante utilizado nas *smart grids* para obter informação dos dispositivos dos utilizadores finais, sendo que o comportamento destes dispositivos é controlado. Os sistemas de infraestruturas de medição automáticas ou *Advanced Metering Infrastructure* (AMI), são construídos sobre sistemas de leitura de contadores automáticos ou *Advanced Metering Readers* (AMR).

O *smart metering* é o mecanismo mais importante utilizado nas *smart grids* para obter informação dos dispositivos dos utilizadores finais, sendo que o comportamento destes dispositivos é controlado. Os sistemas AMI de infraestruturas de medição automáticas, construídos sobre os sistemas de leitura de contadores automáticos AMR, são vistos como uma estratégia para perceber as redes inteligentes. AMR é a tecnologia de recolha automática de diagnósticos, consumos e dados de estado dos contadores e que permite transferir esses dados a uma base de dados central para a faturação, solução de

problemas e análise. Os AMI diferenciam-se dos AMR tradicionais por permitirem uma comunicação em duas direções. Por conseguinte, quase toda a informação é disponibilizada em tempo real, permitindo operações de sistemas melhorados e uma gestão da demanda de energia do cliente. Os *smart meters*, que suportam comunicações bidirecionais entre o contador e o sistema central, são similares em vários aspetos aos contadores AMI e por vezes são considerados como parte dos AMI. Um *smart meter* é normalmente um contador elétrico que armazena os consumos em intervalos de uma hora ou menos e envia essa informação, pelo menos diariamente, para um centro para monitorização e faturação. Um *smart meter* também tem a possibilidade de ligar e desligar remotamente e controlar as aplicações dos utilizadores e dispositivos, com o objetivo de gerir as cargas e demandas dentro dos futuros “*smart-buildings*”. Na perspetiva do consumidor, o *smart metering* oferece vários potenciais benefícios, como por exemplo os consumidores finais poderem estimar o valor das faturas, e assim gerir o seu consumo de energia e reduzir os custos. Na perspetiva da entidade, os contadores inteligentes podem ser utilizados para implementar tarifas em tempo real, o que por sua vez motiva os utilizadores a reduzir as suas demandas em períodos de carga de pico, ou otimizar o fluxo de energia de acordo com a informação enviada desde o lado dos demandantes.

3) Subsistema de tecnologias de comunicação avançadas

Este subsistema é responsável pela conectividade da comunicação e aplicações no contexto das *smart grids*. Existe um acordo geral sobre a necessidade das redes de comunicações suportarem um fluxo de informação em duas direções entre as várias entidades na rede elétrica. Há ainda muito debate acerca de quais as tecnologias específicas que deveriam ser utilizadas em cada aplicação das *smart grids* e como deveriam ser implementadas. Uma razão porque isto não é ainda claro é porque as *smart grids* consistem em diferentes tipos de redes, incluindo:

- 1) *Bus* empresarial que conecta o centro de aplicações de controlo, mercados e geradores.
- 2) Redes de área ampla que conectam geograficamente sítios distantes.
- 3) Redes de área de campo que conectam dispositivos, como dispositivos eletrónicos inteligentes que controlam disjuntores e transformadores.
- 4) Redes de instalações que incluem redes de clientes, assim como redes da entidade dentro do domínio do cliente.

A chave para o êxito das comunicações nas *smart grids* é um intercâmbio de informação eficiente e fiável, tendo portanto que satisfazer os seguintes requisitos

básicos:

- O subsistema de comunicação deve suportar a qualidade do serviço de dados (QoS). Isto é requerido pelos dados críticos (ex: informação do estado da rede) que devem ser entregues rapidamente.
- Deve ser altamente fiável. Devido ao grande número de dispositivos intervenientes, deve garantir a fiabilidade de uma rede enorme e heterogénea.
- Deve ter uma elevada cobertura, isto é, obedecer ao princípio de que as *smart grids* podem responder a qualquer evento de forma pontual.
- Deve garantir segurança e privacidade.

3.4.2 Sistema de gestão inteligente

O sistema de gestão inteligente é o sistema das *smart grids* que proporciona gestão avançada de objetivos como a melhoria da eficiência da energia, a redução do custo de operação, o balanço entre o fornecimento e a demanda, o controlo da emissão e a maximização da sua utilidade.

3.4.3 Sistema de proteção inteligente

O sistema de proteção inteligente é o subsistema das *smart grids* que proporciona uma análise fiável e avançada da rede, a proteção de falhas e serviços de proteção de privacidade e segurança .

3.5 Projeto Inovgrid

Devido à mudança das circunstâncias climáticas, nasceu uma necessidade crescente de otimização energética e de novos modelos de gestão de energia, mais eficientes, sustentáveis e fiáveis no seu fornecimento. Em resposta a esta nova problemática, a EDP iniciou, em 2007, o desenvolvimento do projeto *InovGrid*. Este projeto inovador dota a rede elétrica de equipamentos inteligentes capazes de automatizar a gestão de energia, melhorando assim a qualidade do serviço, diminuindo os custos e promovendo a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental [17]. Este projeto renovaria o setor elétrico, e este tenderia a enfrentar novos desafios de interação, em diferentes âmbitos. Na Figura 10 apresenta-se um diagrama com os elementos impulsionadores da implementação das *smart grids* no setor elétrico europeu.

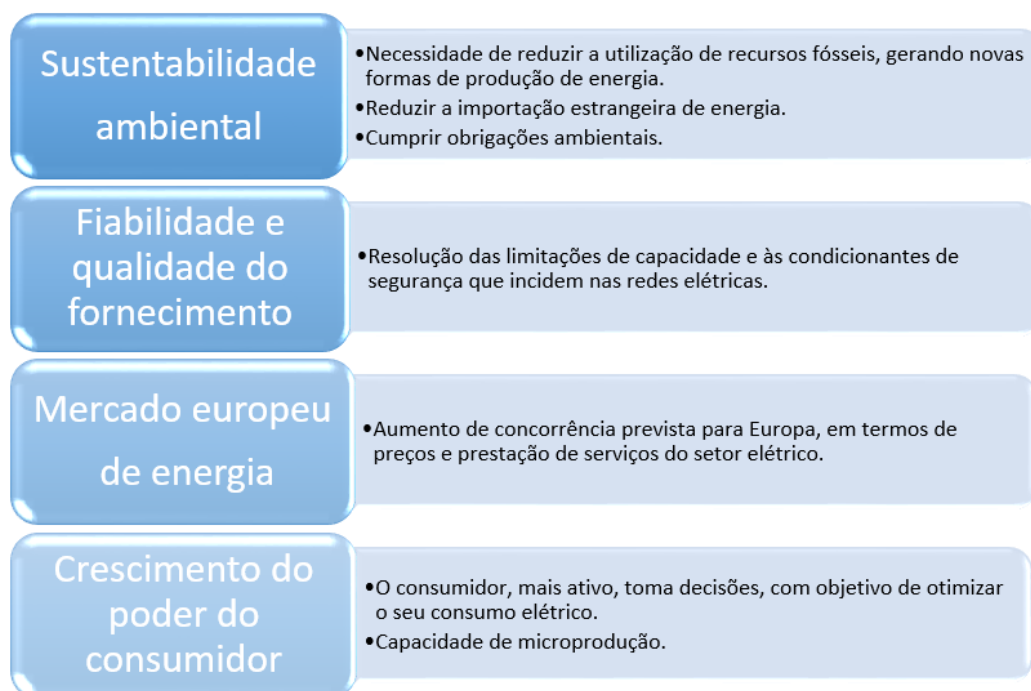


Figura 10: Diagrama de elementos impulsionadores, adaptado de [18].

Como resposta aos anteriores desafios, era essencial a profunda mudança do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica em Portugal, conferindo-lhe a inteligência suficiente para confrontar os pontos chave constantes do diagrama da Figura 11:

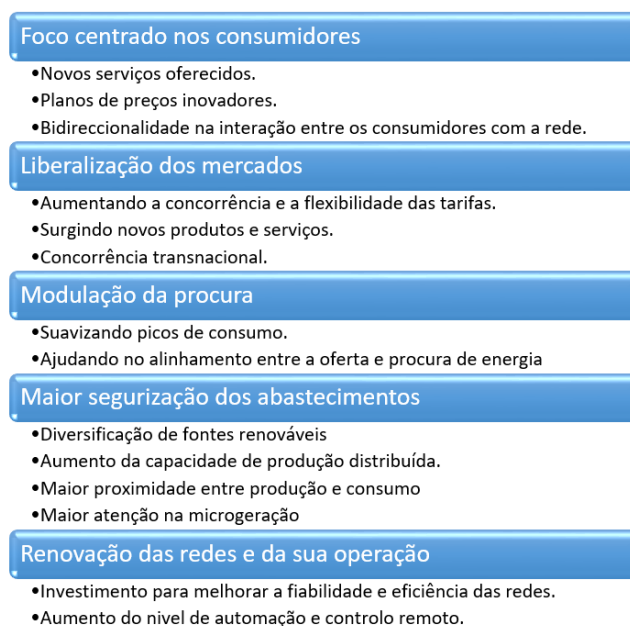


Figura 11: Diagrama de pontos chave para confrontar [18].

3.5.1 Benefícios do Projeto para os *stakeholders*

Alguns benefícios do Projeto *Inovgrid* para os vários *stakeholders* do setor elétrico são os seguintes:

Operador de Rede de Distribuição

- Redução dos custos operacionais e de manutenção da rede elétrica.
- Redução de perdas na rede.
- Gestão e controlo otimizados da rede.
- Otimização do investimento.
- Maior fiabilidade e qualidade do fornecimento de energia.

Comercializador

- Disponibilização de novos serviços.
- Planos de preços inovadores e tarifação em quase *real time*.
- Capacidade melhorada na gestão da relação com os seus clientes.
- Atenuação das barreiras à entrada.

Consumidor/Produtor

- Microprodução.
- Diminuição dos custos de energia.
- Novos serviços, tarifas e preços.
- Facilitação da mudança de comercializador.

Regulador

- Aumento de concorrência.
- Eficiência do mercado elétrico.
- Aumento da fiabilidade e qualidade do fornecimento da energia.
- Mais informação sobre o funcionamento da Rede Elétrica.
- Ganho de eficiência energética.
- Maior aproveitamento das energias endógenas, redução de dependência de recursos fósseis e de emissão de CO₂.
- Geração de emprego e exportação.

3.5.2 Fases do Projeto

Em 2007 nasceu o Projeto *Inovgrid*, desenvolvido pela EDP Distribuição. *Inovcity* foi a primeira implementação do projeto em Portugal, especificamente em Évora [19]. Em 2009, decorreu uma primeira fase de pré-instalação, com contadores inteligentes (EB) e em 2010 o projeto começou no município de Évora, com validações tecnológicas e de processo. Em fevereiro de 2010 foram detalhados os planos para a primeira cidade *smart* do país. De seguida continuou a fase de instalação massiva em 2011. Évora *Inovcity* foi a primeira cidade que integrou todas as dimensões do projeto, abrangendo 54 mil habitantes e instalando 340 controladores de postos de transformação e mais de 30 mil contadores inteligentes. O projeto deu a conhecer uma nova forma de conceber a distribuição e produção de eletricidade, ao mesmo tempo foi reconhecido, a nível europeu de redes inteligentes de energia, pela Comissão Europeia e pela Eurelectric, como *single case study* [20].

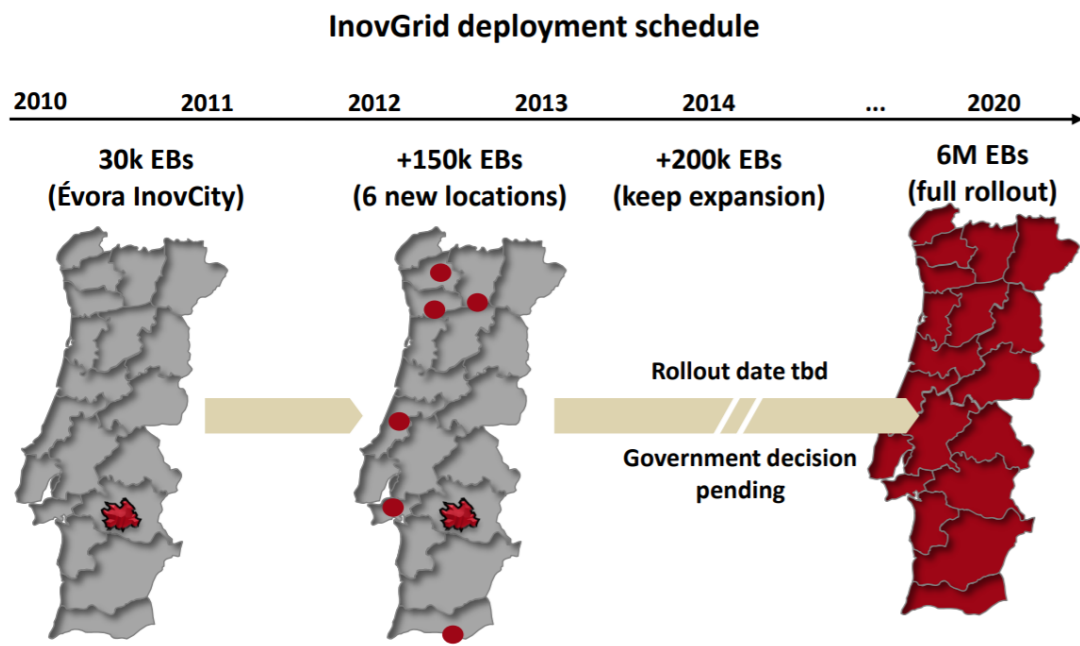


Figura 12: Evolução do projeto *Inovgrid* [20].

Depois do sucesso na cidade de Évora entre 2013 e 2014, foram selecionados sete novos municípios. Nesta época desenvolvia-se a tecnologia e o mercado de equipamentos. S. João da Madeira, Lamego, Marinha Grande, Batalha, Alcochete e as ilhas de Faro e Olhão foram as cidades escolhidas para implementar o sistema elétrico de distribuição inteligente. No período de 2015-2017 produz-se um alargamento progressivo, no que se atingiram até 515 mil clientes. Este período caracteriza-se pelas campanhas com foco na captura de benefícios junto de clientes com maior potencial, bem como na

recuperação de idade de ativos de contagem. Fora de Portugal o projeto chegou também a Espanha e ao Brasil. Foi implementado na cidade de Pola del Sierro, Astúrias, Espanha e no município de Aparecida, no Estado de São Paulo e em Domingos Martins e Marechal Floriano, no Estado do Espírito Santo, no Brasil, dotando a estes municípios de uma rede inteligente de energia [20].

3.5.3 Infraestrutura técnica

A infraestrutura técnica adoptada no projeto *Inovgrid* desenvolve-se em três níveis:

- **Consumidor-Produtor:** Integram-se os contadores inteligentes ou *Energy Box* (EB) os quais substituem aos contadores convencionais, possibilitando a comunicação bidirecional entre consumidores/produtores com a empresa provedora de serviços.
- **Posto de Transformação:** Deste nível faz parte o *Distribution Transformer Controller* (DTC).
- **Controlo e Gestão Centralizada:** Neste nível realiza-se a agregação da informação comercial e de gestão de energia, e também se realiza o controlo técnico e operacional da rede.

Energy Box (EB)

A EB é um contador inteligente que conta com funções de contagem e telegestão de energia para dar apoio ao controlo de equipamentos de consumidores e aos equipamentos dos sistemas de geração dos clientes. Fazem ainda a sinalização de falhas de tensão e diferentes anomalias [2]. As EBs podem comunicar e executar comandos de controlo remotamente, assim como localmente. Desta forma, podem ser utilizadas para monitorizar e controlar as instalações e os dispositivos que as compõem, da forma mais eficiente, por meio da sua programação. Adicionalmente, podem limitar o consumo de eletricidade máximo e terminar ou re-ligar o fornecimento de eletricidade a qualquer cliente remotamente [11]. Com este tipo de equipamento, a EDP Distribuição pode fazer remotamente todas as operações, como leituras, alterações de potência, configurações tarifárias, ligação, desligamento. Este equipamento promove também a participação ativa do consumidor na gestão dos seus consumos, disponibilizando-lhe informação que se traduz em eficiência energética e menor custo. Assim, o consumidor pode conhecer as horas do dia em que mais consome e aquelas em que pode usar eletricidade a um preço mais favorável.

Para seu conforto e comodidade, o cliente pode realizar alterações contratuais de potência, ciclo ou tarifário, por si próprio. O consumidor pode ainda consultar a análise do seu padrão de consumo ou fazer simulações de ciclos horários, sendo até possível a programação de avisos automáticos em função de parâmetros definidos por si. Quanto á microprodução, os contadores inteligentes permitem a consulta de balanços energéticos da habitação, sendo possível ao consumidor/microprodutor identificar facilmente os períodos em que é consumidor e os em que é produtor. Os comercializadores, ou as empresas de serviços energéticos, podem oferecer aos consumidores serviços e planos de preços permanentemente adaptados aos diversos perfis e necessidades de consumo, bem como acesso a soluções integradas de domótica para interagir com vários dispositivos de consumo doméstico [21].

Especificações da EB

Em cada EB pertencente à EDP distribuição aparece uma identificação, a qual indica o tipo de EB e o tipo de comunicação que estabelece. Segundo o tipo de EB, existem:

- EB BTN monofásica ou trifásica.
- EB IP monofásica ou trifásica.
- EB BTE.

Segundo o tipo de comunicação:

- PLC PRIME.
- GPRS.
- RF MESH.
- RS485/HDLC.

Os estados que caraterizam a comunicação com qualquer dos modelos de EB são:

- Online - Comunicações bem-sucedidas entre EB e DTC (ativo).
- Offline - Comunicações em falha (temporária). O DTC tem dificuldades para trocar informação com determinada EB.
- Inativo - Sem comunicações (falha permanente).

Na Figura 13 apresenta-se um tipo de dispositivo contador inteligente utilizado pela EDP Distribuição, na qual se indica cada um dos seus componentes.

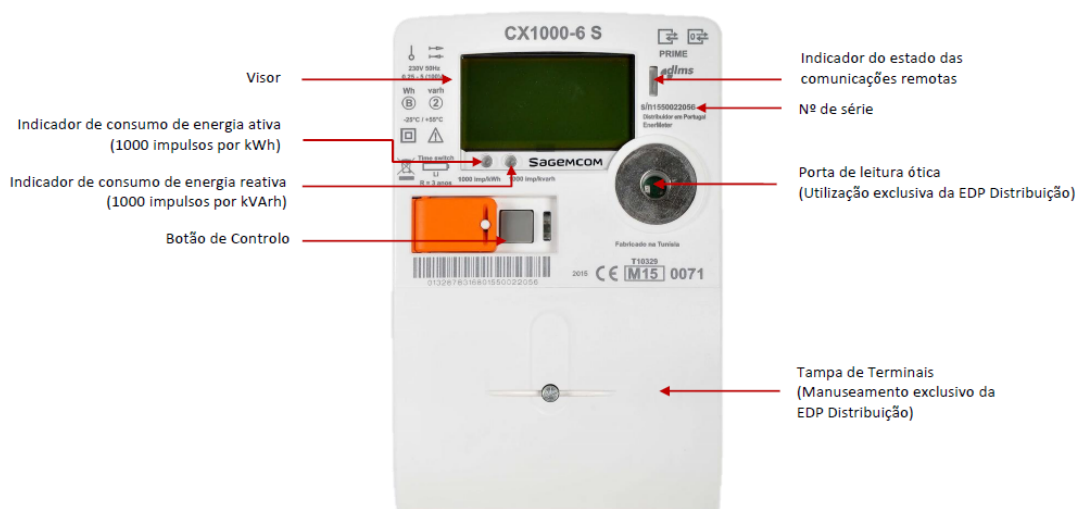


Figura 13: Contador inteligente marca Sagemcom [22].

Através do visor e dos botões no painel frontal é indicada a informação referente ao estado do contador, à comunicação, e toda a informação relativa aos consumos do cliente final, tal como se apresenta na Figura 14.

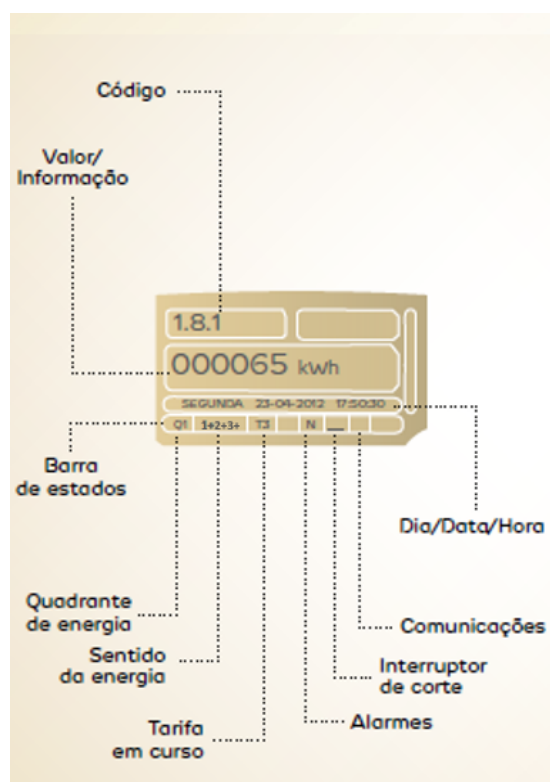


Figura 14: Visor de contador inteligente [23].

O contador está equipado com um botão e um pulsador acessível mediante elemento penetrante. O botão utiliza-se para aceder aos menus e submenus do visor e o pulsador acessível através de elemento penetrante, situado por baixo

da tampa, permite ao utilizador repor alguns parâmetros ou programar o contador [24]. As EBs possuem um LED indicador do estado das comunicações PLC PRIME com o seguinte código de cores:

Apagado: Não deteta a presença de nenhum outro equipamento com tecnologia PLC PRIME na rede (não deteta EBs nem DTCs/concentradores).

Vermelho: Deteta outros equipamentos PLC PRIME na rede, mas não consegue registar-se no DTC/Concentrador.

Amarelo: Iniciado o processo de registo da EB no DTC/Concentrador, o qual pode durar alguns minutos.

Verde: A EB registou-se num DTC/Concentrador e está em pleno funcionamento. Se o indicador piscar, significa que estão a ser levadas a cabo comunicações [23]. As EDP BOX dispõem das funcionalidades seguintes:

- A medição de energia ativa importada é exportada conforme os *standards*.
- Medição de energia reativa nos 4 quadrantes conforme a norma.
- Tensão e intensidade instantâneas.
- Potencia ativa instantânea importada (W).
- Potencia instantânea (W): P (média no período de integração).
- Potencia aparente instantânea (VA): S (média no período de integração)
- Potencia reativa instantânea (VAR): Q (média no período de integração) quatro quadrantes.

O contador tem as seguintes características:

- Gestão de tarifas.
- Múltiplos perfis de carga com dois períodos de integração diferentes.
- Sistema de tarifação periódica automática.
- Controlo de demanda.
- Desconexão do cliente: elemento de corte.
- Comunicação PLC de acordo com as especificações PRIME.
- Comunicação remota com concentrador de dados. [24].

Distribution Transformer Controller (DTC)

O DTC é um equipamento destinado a ser instalado em Postos de Transformação (PT) MT/BT, que realiza funções de controlo e automação.

Existe um DTC por cada rede de BT, o que significa um DTC por cada transformador de potência (exceto nos casos especiais determinados pela EDP Distribuição). Utilizado em *smart grids*, com múltiplas funções, como a coleta e gestão de dados de contagem da rede BT por meio de várias interfaces de comunicação *standard*. O DTC conta com um servidor *Web* embestado, E/S, armazenamento de dados, detecção de defeitos, comunicações, monitorização, contagem local e análise da qualidade de energia. Em termos de *software*, o DTC dispõe de algumas Interfaces de Programação de Aplicações (*Application Programming Interface*, API), de uma Interface Homem Máquina (*Human Machine Interface*, HMI), que pode ser acedida local ou remotamente. Além disso existem os DTCs virtuais, os quais utilizam uma variante de *software* do controlador que permite a recolha de dados de contagem inteligente [25].

Funções

O equipamento tem como funções principais as que se referem a seguir:

1. Exploração da infraestrutura de EBs: O DTC gere os equipamentos terminais (EBs) de monitorização de rede, de telegestão e de contagem que se encontram instalados nas instalações de consumo dos clientes, os quais estão associados ao DTC ou no PT da rede BT. Além disso, configura, recolhe informação e envia os comandos para as EBs. Inclui também a gestão da própria rede de comunicações com as EBs, que pode ser composta por diversas tecnologias. Além disso, esta função inclui a comunicação com os sistemas centrais de informação, nomeadamente o sistema de dados comerciais.

2. Monitorização e gestão da rede BT: O controlador analisa a informação do transformador de potência e das EBs para a gestão da rede BT, monitoriza sinais e gere dispositivos do transformador de potência ou do PT. No futuro o DTC deverá completar outras funções emergentes como a gestão da microprodução e o controlo do carregamento do veículo elétrico. Esta função também inclui a comunicação com os sistemas de informação centrais, nomeadamente o sistema de dados técnicos [26]. Existem outras funções adicionais, como:

Alguns DTCs, equipados ou não com módulos adicionais, têm capacidade para controlar a iluminação pública, para proceder ao controlo automático de tensão, ao carregamento e integração na rede elétrica de veículos elétricos e à gestão da microgeração, entre outras funções [19].

Protocolos e interfaces de comunicações.

O DTC dispõe de um conjunto de opções de comunicação que suportam múltiplas arquiteturas de sistema.

Interfaces:

- Ethernet
- GPRS/UMTS
- RS485
- PLC
- RF Mesh

Tecnologia Ethernet: A tecnologia Ethernet é considerada um mecanismo de transmissão que permite a ligação de redes locais com fios (LAN) e permite que computadores e dispositivos comuniquem entre si, através do protocolo TCP/IP [27].

Tecnologia GPRS: GPRS é uma tecnologia ligada a comunicações móveis via rádio para transmissão de dados. A GPRS é normalmente usada em *smart metering* quando se trata de contadores isolados, como por exemplo em zonas rurais. Neste caso a comunicação pode ser levada a cabo diretamente entre as EBs e os sistemas centrais, através de DTCs virtuais. Em comparação com o PLC, esta tecnologia requer um *modem* mais complexo e de maior custo.

Tecnologia RS485: A tecnologia RS485 é uma interface tradicional série, utilizada para a comunicação entre equipamentos electrónicos através de portas série. Extremamente comum na automação industrial, a RS485 é utilizada em redes industriais e suporta longas distâncias de cablagem em ambientes electricamente ruidosos, podendo suportar múltiplos dispositivos no mesmo *bus*. Actualmente, a comunicação série RS485 é considerada a forma mais eficiente de comunicação em série [28].

Tecnologia PLC: O PLC (*Powerline Communications*) é uma tecnologia que tem por objetivo transportar dados num condutor o qual é também usado para a transmissão de energia eléctrica. Esta tecnologia aproveita a infraestrutura existente da linha de distribuição e permite que a informação de um evento ou estado flua entre subestações dentro da rede. Nas redes de baixa tensão existem numerosas aplicações.

-A tecnologia PLC de banda estreita encaixa bem na infraestrutura de *smart metering* e opera numa banda entre os 3 kHz e os 500 kHz. Nesta classe encontra-se a tecnologia PRIME, que está a ser implementada em Portugal. A tecnologia PLC PRIME é baseada em OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e tem a sua principal aplicação nas redes inteligentes. Consiste numa nova solução de telecomunicações aberta, pública e não proprietária [29].

-A tecnologia PLC possibilita as comunicações entre veículos elétricos e a rede de energia via linha elétrica sem a introdução de outros equipamentos cablados ou sem cablagem.

-A tecnologia PLC de banda larga pode fornecer o serviço de transferência de dados de forma eficiente desde os controladores das *smart grids* às redes dos consumidores finais e vice-versa, operando em bandas de 1.8 MHz a 250 MHz [15].

RF Mesh: Trata-se de uma arquitetura de comunicações via rádio, constituída por elementos de rede que comunicam via rádio-frequência (RF) e se encontram organizados numa tipologia de malha [19]. Para efetuar a ligação entre DTCs ou dispositivos de terceiros na TAN (*Transformer Area Network*), são normalmente utilizadas as interfaces série. Para interface com EBs na BT é principalmente utilizada a porta PLC. Para a implementação do sistema na WAN são utilizados o *modem* GPRS/UMTS ou as portas Ethernet. Para o diagnóstico e gestão do dispositivo são utilizadas as portas Ethernet, duas portas USB e uma porta RS232. Através das portas Ethernet existe um servidor *Web* embebido para o diagnóstico, gestão, controlo, e extração de registo de todas as funções disponíveis no dispositivo.

Protocolos

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| • IEC 60870-5-104 (TCP/IP). | Controlo remoto. |
| • Serviços <i>Web</i> . | Gestão remota. |
| • DLMS/COSEM. | Comunicação da rede BT. |
| • MODBUS. | Comunicação local. |

Existem várias possibilidades para a implementação dos protocolos, as quais podem ser concretizadas através de várias interfaces como Ethernet, GPRS/UMTS, RS485, PLC ou RF Mesh. Os protocolos DLMS/COSEM (*Device Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering*) e os serviços *Web* são utilizados habitualmente pelos ORD, e permitem ao utilizador realizar diferentes funcionalidades, as quais podem ser: configuração geral do DTC e dos *smart meters*; diagramas de carga; registo e configuração de tarifas e de gestão de procura; ICP e gestão de eventos espontâneos. O protocolo DLMS/COSEM opera a função de leitura automática dos medidores e gere a procura num ambiente interoperacional. O DLMS define a modelagem abstrata de entidades de comunicação e o COSEM encarrega-se de especificar as regras, por meio de padrões existentes, para a troca de dados com os contadores [21]. Além disso, os serviços *Web* interagem com os sistemas centrais da empresa distribuidora de energia elétrica.

3.5.4 Infraestrutura das comunicações

A infraestrutura de comunicações seguida pela EDP Distribuição conta com um conjunto de equipamentos e tecnologias que permitem realizar o intercâmbio de informação de forma eficiente. Resumem-se a seguir algumas das tecnologias principais existentes. Na Figura 15 ilustra-se o modelo de ligações do DTC com os restantes equipamentos através da rede LAN (*Local Area Network*), TAN (*Transformer Area Network*), WAN (*Wide Area Network*) e HAN (*Home Area Network*), possibilitando a troca de informação entre as EBs, ou equipamentos pertencentes ao PT, e os sistemas centrais [30].

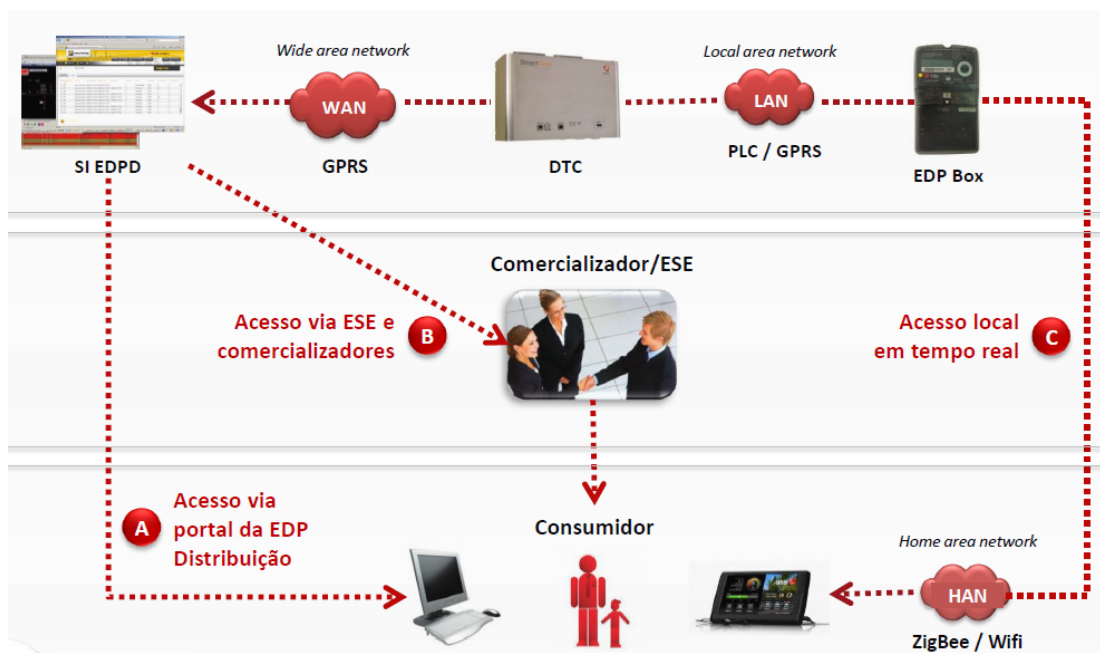


Figura 15: Infraestrutura de comunicações *Inovgrid* [30].

O DTC, o qual se encontra instalado no posto de transformação, é o equipamento que se situa no ponto intermédio da infraestrutura, possibilitando a comunicação entre as EBs e os sistemas centrais. O DTC tem capacidade para gerir as EBs instaladas na sua rede através da tecnologia de comunicação PLC PRIME, a tecnologia de comunicação GPRS e adicionalmente a tecnologia de comunicação RS485. Salvo contraindicação, os requisitos aplicáveis para a comunicação PLC PRIME também o são para as EBs GPRS, que se podem ligar ao *modem* GPRS/UMTS do próprio DTC ou à porta Ethernet do DTC através de *router* externo, assim como para as EBs com interface física RS485 que se ligam diretamente à porta RS485 do DTC ou à porta Ethernet do DTC através do *router* externo. O DTC deve gerir de forma independente as tecnologias de comunicação disponíveis, com prevenção para que as limitações de uma tecnologia (por exemplo, a sua latência) não influenciem negativamente

o desempenho do serviço realizado por meio de outra tecnologia. O DTC deve também ser capaz de detetar de forma automática as EBs que são ligadas à rede através da tecnologia PLC PRIME e gerir de forma autónoma o seu registo [26].

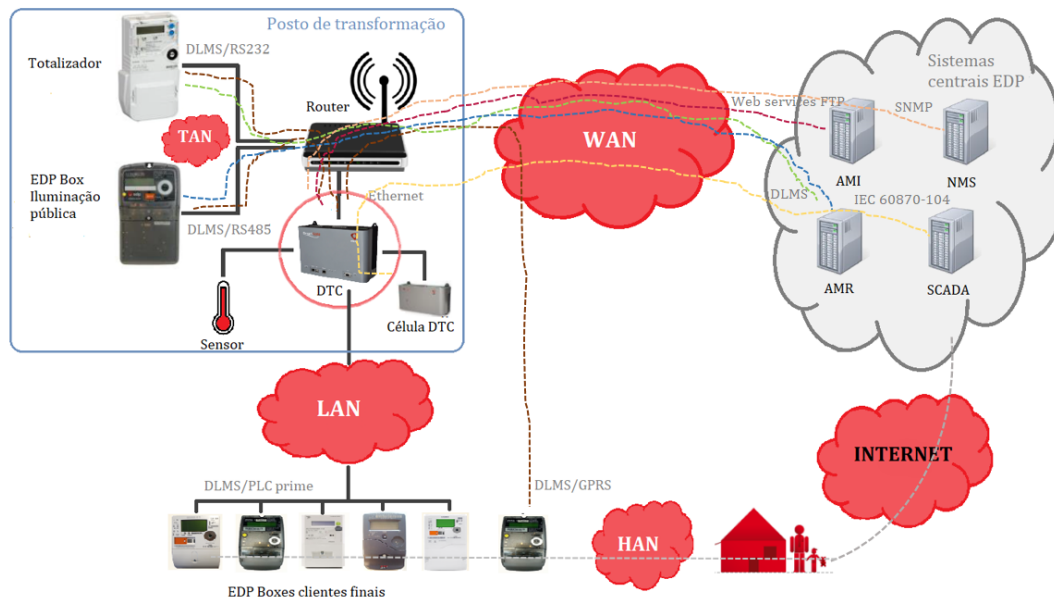


Figura 16: Infraestrutura de comunicações detalhada, adaptado de [30].

Para além dos fluxos de comunicação esperados entre os sistemas e dispositivos centrais dentro do posto de transformação, o *router* também permite gerir as comunicações entre dispositivos que estão dentro do PT, nomeadamente entre o DTC e os contadores. Adicionalmente, os sensores instalados no posto de transformação podem ser conectados ao *router* para informar ou alertar os sistemas centrais. As redes intervenientes no processo são:

WAN: Na WAN, o DTC tem ligado um *router* através de uma interface Ethernet, que permite a ligação com os sistemas centrais, através de tecnologia GPRS.

LAN: Na LAN, a comunicação é efetuada com a tecnologia PLC PRIME, que permite o intercâmbio de informação entre as EBs e o DTC.

TAN: A partir da TAN realizam-se comunicações locais do PTD via série, através das portas RS485 e RS232. A porta RS485 determina a ligação com as EBs, sendo estas IP (Iluminação Pública) ou não, e a ligação com dispositivos de controlo e monitorização do PT. A porta RS232 permite a comunicação com o contador totalizador ou com o contador de IP [31].

4 Metodologia de análise de desempenho da rede BT

Este capítulo apresenta a metodologia adotada e as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento e análise do desempenho da rede em Baixa Tensão (BT). O conhecimento desta metodologia foi necessário para dar resposta ao problema proposto no estágio.

4.1 Metodologia *Knowledge Discovery in Databases*

À medida que avançamos na era da informação digital, o problema da sobrecarga de dados nos sistemas de informação é cada vez maior. A capacidade de analisar e entender grandes conjuntos de dados fica muito aquém da capacidade de adquirir e armazenar esses mesmos dados. São necessárias novas técnicas e ferramentas computacionais para apoiar a extração de conhecimento útil de um volume de dados cada vez maior. Essas técnicas e ferramentas formam parte de um campo emergente de Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados ou, em Inglês, *Knowledge Discovery in Databases* (KDD), e da Mineração de Dados ou, em Inglês *Data Mining*. O termo KDD é utilizado para se referir ao processo completo de descoberta de informação útil, a partir de dados em bruto. Este processo de descoberta é iterativo e iterativo, envolvendo vários passos que se ilustram na Figura 17 e que se resumem de seguida.

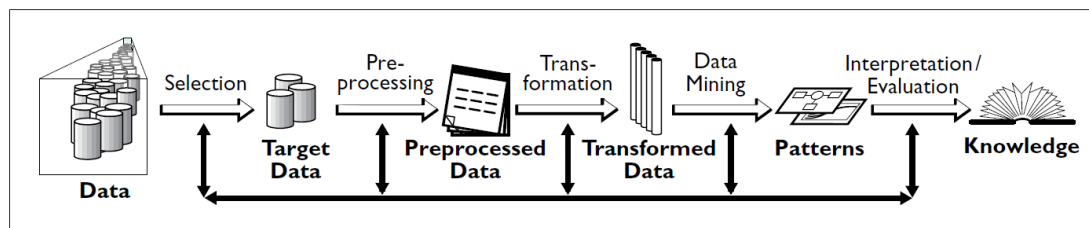


Figura 17: Metodologia KDD [32].

Passo 1 - Aquisição de conhecimento do domínio da aplicação: inclui conhecimento prévio relevante e os objetivos da aplicação.

Passo 2 - Seleção do conjunto de dados: inclui o agrupamento de um conjunto de dados ou a divisão num subconjunto de variáveis ou amostras de dados.

Passo 3 - Limpeza e pré-processamento de dados: inclui operações básicas de limpeza de dados e eliminação de ruído (se necessário), criação de estratégias para lidar com os campos de dados vazios e a contabilização de

informação de sequência temporal e mudanças conhecidas, pesquisa de características úteis para a representação de dados, dependendo do objetivo da tarefa.

Passo 4 - Método de Mineração de Dados ou *Data Mining*: aplicação dos métodos para atingir os objetivos do processo KDD. Esta etapa é constituída por uma análise, pela criação do modelo exploratório e da seleção de hipóteses. É realizada a escolha do algoritmo de *data mining* e selecionado o método ou métodos utilizados para a procura de padrões de dados. Este processo inclui decidir os modelos e parâmetros que podem ser apropriados e fazer coincidir um método particular de *data mining* com o critério geral do processo KDD (pode ser mais interessante compreender o modelo que a sua capacidade preditiva).

Passo 5 - Interpretar os padrões obtidos: interpretação, possivelmente voltando a qualquer dos passos anteriores para uma iteração adicional. Este passo também pode implicar a visualização dos padrões e os modelos extraídos ou a visualização dos dados sendo estes como modelos extraídos.

4.2 *Data Mining*

A mineração de dados, além de ser o passo mais importante do processo, envolve o ajuste de modelos ou a determinação de padrões a partir dos dados observados. Os modelos ajustados desempenham o papel do conhecimento deduzido. A maioria dos algoritmos de *data mining* podem ser vistos como composições de algumas técnicas básicas e princípios. Os algoritmos de mineração de dados consistem na sua maior parte, numa mistura de três componentes:

- **O modelo:** existem dois fatores relevantes, a função do modelo e a forma de representação do modelo. O modelo contém parâmetros que têm de ser determinados a partir dos dados.
- **O critério de preferência:** a base para a preferência do modelo e o conjunto de parâmetros sobre outros, dependendo dos dados disponíveis.
- **O algoritmo de procura:** a especificação de um algoritmo para encontrar modelos particulares e parâmetros, os dados disponíveis, o modelo e o critério de preferência.

As funções de modelação mais comuns na prática atual de mineração de dados são:

- **Classificação:** representação dos dados numa das várias classes categóricas predefinidas.

- Regressão: representação dos dados numa variável de predição de valor real.
- Clustering: representação dos dados numa das várias classificações categóricas. *Clusters* em que as classificações devem ser determinadas encontrando grupos naturais de itens de dados baseados em métricas similares ou modelos de densidade de probabilidade.
- Sumarização: fornece uma descrição compacta para um subconjunto de dados.
- Modelação de dependência: descreve dependências significantes entre variáveis. Os modelos de dependência existem a dois níveis: estruturado e quantitativo. O estruturado especifica que variáveis são localmente dependentes, o quantitativo especifica as forças e dependência utilizando uma escala numérica.
- Análise de ligação: determina relações entre campos nos conjuntos de dados. O foco está na obtenção de correlações de vários campos, satisfazendo os limites de suporte e confiança.
- Análise sequencial: os padrões sequenciais de modelos. O objetivo é modelar o estado do processo gerando a sequência, extraindo e relatando o desvio e as tendências no tempo.

As representações populares de modelos incluem árvores e regras de decisão, modelos lineares, modelos não lineares (por exemplo, redes neuronais), métodos baseados em exemplos, modelos probabilísticos de dependência gráfica e modelos de atributos relacionais [32].

4.3 Métodos de Apoio à Decisão Multicritério

Este tipo de análise, em conjunto com as diferentes ferramentas existentes vão servir de apoio para a elaboração das bases teóricas do projeto. O foco da decisão multicritério abrange a realidade das decisões nas empresas, já que considera explicitamente múltiplos critérios para a abordagem de forma correta dos problemas de decisão por meio da construção, em forma sucessiva, de síntese destes critérios. A variação dos problemas reais de decisão (tomada de decisões) nas empresas, tem feito com que a contribuição dos grupos de investigação de operações seja necessária, como no caso da metodologia MCDA para a construção de esquemas coerentes (modelos) cada vez mais amplos, em benefício do processo da seleção ótima de cursos de ação. A nova visão no

mundo empresarial da teoria da decisão multicritério (análise multicritério), sustenta que as organizações não otimizam as suas decisões com base num só objetivo, mas pretendem atingir um equilíbrio entre o conjunto de objetivos em conflito ou, na medida do possível, satisfazer uma série de metas que estão associadas aos ditos objetivos. A decisão ou análise multicritério é uma ajuda efetiva na prática da tomada de decisões e da gestão das organizações, pois constitui uma forma de modelar os processos de decisão: uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar o resultado ou os resultados, os possíveis cursos de ação e o resultado ou os resultados dos mesmos. Por meio dos modelos multicritério, o decisor poderá estimar as possíveis implicações que podem tomar cada curso de ação, de forma a obter uma maior compreensão das vinculações entre as suas ações e os seus objetivos. No desenvolvimento da aplicação dum modelo fundamentado na análise multicritério é necessário identificar os elementos que podem dar dinâmica ao dito padrão para o processo da tomada de decisões. Estes são:

Decisor: pessoa ou grupo de indivíduos que ponderam uma decisão, os quais assumem o papel de ser os encarregados de analisar a mesma.

Tomada de decisões: processo ao longo do tempo, onde se identificam as fases:

- Recolha da informação.
- O desenho.
- A seleção.
- A revisão.

Em conjunto, formam a reflexão do decisor.

Analista: é quem modela a situação relativa ao objetivo de estudo e faz recomendações relativas à seleção final.

Conjunto de escolha: conjunto de alternativas que deve escolher o decisor, com as características de serem diferentes, exclusivas e exaustivas: $\mathbf{A}(i) = [A_1, A_2, \dots, A_i]$; $i = 1 \dots m$.

O decisor não pode escolher uma solução mista, isto é, intermédia entre duas alternativas $\mathbf{A}(i)$ e $\mathbf{A}(k)$, nem escolher uma alternativa que não pertença ao conjunto de escolha. Se é introduzida uma nova alternativa, é necessário recomençar o processo de tomada de decisões com um novo conjunto de escolha.

Atributos: são as características, ou qualidades que possuem as respetivas alternativas.

Critérios: são as preferências que o decisor tem, para um certo atributo. $\mathbf{C}(n)$; $i = 1 \dots n$. Os critérios devem estar no mesmo plano de igualdade, isto é, serão critérios quantitativos quando estejam numa escala numérica ou qualitativa.

4.3.1 Método de ponderação

Na decisão multicritério é comum que alguns critérios $\mathbf{C}(n)$ tenham para o decisor mais importância que outros. Os pesos ou ponderações, são medidas da importância relativa dos critérios $\mathbf{C}(n)$. A sua atuação frente a uma tomada de decisões, pode adquirir uma conotação objetiva ou subjetiva. Dentro da análise multicritério é indispensável identificar alguns aspetos no procedimento da ponderação; estes aspetos são: $\mathbf{w}(j)$ = Peso atribuído ao critério ou atributo j . Um procedimento na ponderação de pesos, que serve para ajudar a tomar uma decisão, é o método da Soma Ponderada, o qual compreende três fases:

- Identificação dos dados de partida: assume-se que o problema de decisão compreende $\mathbf{A}(i)$ alternativas e $\mathbf{C}(n)$ critérios.
- Transformação dos dados: é efetuada por meio de uma normalização das avaliações feitas pelo decisor.
- Processo de normalização.

4.3.2 Métodos de atribuição de pesos na análise multicritério

Por meio destes procedimentos determinam-se os respetivos valores para os pesos $\mathbf{w}(j)$, já que, dependendo dos valores que tome $\mathbf{w}(j)$, estes pesos incidem na análise multicritério como indicador da importância que designa o decisor a cada critério $\mathbf{C}(n)$. A atribuição de pesos pretende refletir de forma eficaz as preferências do decisor. É bastante comum, que para o decisor uns aspetos tenham mais relevância que outros, sendo determinante nos resultados da decisão a tomar, a forma de medir a importância relativa destes (peso ou ponderação, $\mathbf{w}(j)$). Os pesos são de natureza ordinal, denominam-se coeficientes de importância ou também de natureza cardinal se o seu aspeto mais relevante é o seu valor numérico. Alguns dos diversos métodos para a atribuição de pesos na decisão multicritério são os que se identificam a seguir:

Método da taxação simples

Este método atribui um peso aos $\mathbf{C}(n)$ critérios, onde o decisor dá uma valorização subjetiva a cada peso, numa escala de medida $[0 \dots k]$, sendo k o peso mais elevado. Posteriormente procede-se à respetiva normalização dos

pesos por meio de ponderação linear como indicado na Equação (1).

$$w_j = \frac{w_j}{\sum_j w_j} \quad (1)$$

Método da ordenação simples

Realiza-se uma classificação dos n critérios ou atributos, seguindo a importância ou preferência que estes tenham para o decisor, nos quais os empates quantificam-se ao seu valor médio. Estas ordenações normalizam-se com o propósito de que os valores possam tomar valores no intervalo $[0, 1]$. Procedimento: Os critérios $\mathbf{C}(n)$ ordenam-se de maior a menor importância, admitindo-se empates entre estes. Designa-se um valor de 1 ao critério menos importante e n ao mais importante. Divide-se cada atribuição de valor pela soma dos n critérios, para obter os respetivos pesos $\mathbf{w}(j)$ [33].

Método ROC

O método ROC (*Ranking Order Centroid* ou Ordem de Classificação Centróide), é uma forma simples de dar peso a um número de critérios classificados de acordo com a sua importância. Produz uma estimativa dos pesos, que minimizam o máximo erro de cada peso, identificando o centróide de todos os possíveis pesos, mantendo a ordem de classificação de importância objetiva. Se é conhecida a ordem de classificação do peso real, mas no entanto não existe outra informação quantificada sobre eles, então deve-se assumir que os pesos são uniformemente distribuídos por ordem de classificação simples onde $\mathbf{w}(1) + \mathbf{w}(2) + \dots + \mathbf{w}(k) = 1$ [34]. Este método toma essas classificações como entradas e converte-as em pesos para cada um dos critérios. A conversão é baseada na fórmula na Equação (2).

$$w_i = \frac{1}{M} \cdot \sum_{n=1}^M \frac{1}{n} \quad (2)$$

Onde M é o número de critérios e $\mathbf{w}(i)$ é o peso para o critério i^{th} [35].

Método *Swing Weighting*

No método *Swing Weighting* ou de Ponderação Oscilante, o primeiro passo é estabelecer uma ordenação dos coeficientes de ponderação dos critérios. A seguir procede-se à sua quantificação e por último, normalizam-se os valores obtidos para que a sua soma seja igual à unidade. No método de *swing weighting* ou de ponderação oscilante, o decisor deve selecionar uma alternativa com o pior

resultado e escolher o critério cujo desempenho é possível de mudar (ou oscilar), do pior para o melhor. O critério com a oscilação mais preferível recebe maior peso (ex:100). Depois, o critério cujo desempenho o decisor considere possível de mudar do pior ao melhor nível, é selecionado de novo e valorizado entre 0 e 100 para representar a sua importância relativa tendo em conta que o critério mais importante já foi fornecido. A seguir, é preciso obter os pesos médios normalizados e o intervalo de pesos normalizado. Um modelo típico de matriz é o apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Modelo típico de matriz.

		Importância da medida de valor dos decisores		
		Alta	Média	Baixa
Varição da escala	Alta	R	S	T
	Media	U	V	W
	Baixa	X	Y	Z

O primeiro passo é criar uma matriz onde no topo se definem os valores em termos de importância relativa. Do lado esquerdo, representa-se o intervalo de variação dos valores. Designar uma medida de valor que é mais preferível à decisão e ao mesmo tempo tem uma variação grande na parte alta esquerda da matriz. A medida de valor que tem a pior importância preferida e tem a variação mais pequena na sua escala é situada na parte baixa direita da matriz.

No entanto, a regra de consistência para o método de *swing weight* é muito importante e é necessária para assegurar a consistência dos pesos designados a células individuais da matriz. Para apoiar as regras de consistência, as seguintes condições ou relações de *swing weights* devem ser seguidas:

$$C_R > C_I$$

$$C_U > C_X, C_V, C_Y, C_W, C_Z$$

$$C_S > C_V, C_T, C_Y, C_W, C_Z$$

$$C_X > C_Y, C_Z$$

$$C_V > C_Y, C_W, C_Z$$

$$C_T > C_W, C_Z$$

$$C_Y > C_Z$$

$$C_W > C_Z$$

Por exemplo, pode-se assumir que $C_R = 100$ e $C_Z = 1$, depois utilizar a

Equação (3), onde C_i é o *swing weight* não normalizado [36].

$$w_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (3)$$

4.4 Arquitetura BI

O *Business Intelligence* (BI) é um processo orientado pela tecnologia para analisar dados e apresentar informação útil que ajude os executivos, gestores e outros utilizadores finais da empresa a tomarem decisões de negócio. O BI engloba uma grande variedade de ferramentas, aplicações e metodologias que permitem às organizações recolher dados de sistemas internos e de fontes externas, prepará-los para análise, desenvolver e executar consultas a estes, e criar relatórios, *dashboards* e visualizações de dados, para disponibilizar os resultados analíticos aos decisores empresariais, bem como aos trabalhadores operacionais. Geralmente, o papel do *business intelligence* consiste em melhorar todas as partes de uma empresa, melhorando o acesso aos dados da empresa e utilizando esses dados para aumentar a sua rentabilidade. As empresas que utilizam práticas de BI podem traduzir os seus dados recolhidos em conhecimentos dos seus processos de negócio. Estes conhecimentos podem ser utilizados para criar decisões estratégicas de negócio que melhorem a produtividade, aumentem os benefícios e acelerem o crescimento. Os dados de BI podem incluir informação histórica, bem como novos dados recolhidos dos sistemas de origem à medida que são gerados, permitindo que as ferramentas de BI apoiem tanto os processos de decisão estratégicos como os táticos. Antes de serem utilizados em aplicações de BI, os dados em bruto de diferentes sistemas de origem devem ser integrados, consolidados e limpos utilizando ferramentas de integração e qualidade de dados para garantir que os utilizadores analisem informações precisas e consistentes. Os dados de BI são normalmente armazenados num *data warehouse* ou em pequenas marcas de dados que contêm subconjuntos de informação de uma empresa (*data marts*) [37]. A organização, o armazenamento, a limpeza e a extração dos dados deve ser efetuada por um sistema de repositório central, nomeadamente o *data warehouse*, que é considerado como o componente fundamental do BI [38].

Os programas de BI normalmente incorporam formas de análise avançada, tais como mineração de dados, análise preditiva, mineração de texto, análise estatística e análise de dados. Na atualidade, praticamente todas as principais ferramentas de BI incorporam características de descoberta de dados visuais:

- *software* de visualização para desenho de gráficos e outros infográficos.

- Indicadores-chave de desempenho de uma forma fácil de classificar.
- Ferramentas para construir *dashboards* de BI e *scorecards* de desempenho que apresentam dados visualizados em métricas empresariais [37].

A arquitetura de *business intelligence* é um termo utilizado para descrever normas e políticas de organização de dados com a ajuda de técnicas e tecnologias baseadas em computadores que criam sistemas de BI utilizados para visualização, relatórios e análise de dados online.

O diagrama de arquitetura do BI representa como o processo flui através de várias etapas, que se ilustram na Figura 18 e que se descrevem de forma geral. As etapas não têm que ser aplicáveis a todas as organizações, já que nem sempre são necessárias as cinco etapas.

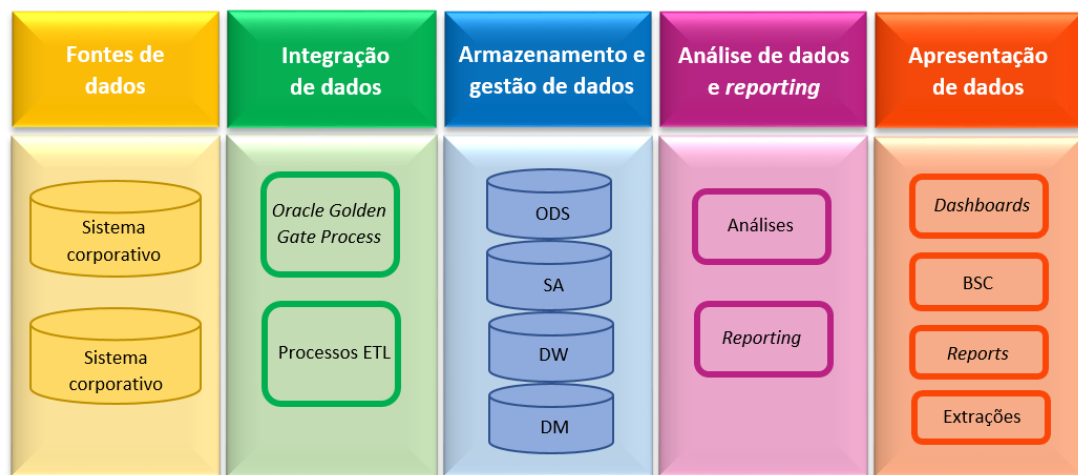


Figura 18: Arquitetura de BI [37].

Etapa 1 - Recolha de dados

O primeiro passo para criar uma arquitetura estável começa na recolha de dados de várias fontes de dados, como CRM (*Customer Relationship Management*), ERP (*Enterprise Resource Planning*), bases de dados, *Flat files* (ficheiros Excel ou CSV), dependendo dos requisitos e recursos da empresa. No caso da EDP, devido à sua dimensão, utiliza diferentes sistemas corporativos. As ferramentas de BI oferecem muitos conectores de dados diferentes, rápidos e fáceis para tornar este processo simples, utilizando processos de ETL (*Extract-Transform-Load*) em segundo plano. Estas ferramentas permitem a comunicação entre departamentos e sistemas dispersos que, de outra forma, seria difícil de fazer. Do ponto de vista empresarial, este é um elemento crucial na criação de uma cultura de decisão bem sucedida, orientada por dados, que pode eliminar erros, aumentar a produtividade e racionalizar as operações.

Etapa 2 - Integração de dados

No caso da EDP, quando os dados são recolhidos através de sistemas dispersos, o passo seguinte continua com a extração de dados e o seu carregamento para o serviço de gestão e armazenamento de dados. São utilizados dois processos neste caso, o ETL (*Extract-Transform-Load*) e o *Oracle Golden Gate*. Por um lado, o ETL é um processo simples, os dados são extraídos de fontes externas, assegurando que estas fontes não sejam negativamente afetadas pelo desempenho ou por outras questões. Em segundo lugar, os dados estão em conformidade com a norma exigida. Por outras palavras, esta etapa (transformação) assegura que os dados estão limpos e preparados para a fase final: o carregamento no armazenamento de dados. Por outro lado, para obter dados em diferentes fontes de dados, pode-se utilizar o processo *Oracle Golden Gate* para carregar, distribuir e filtrar transações dentro da empresa em tempo real e permitir migrações entre diferentes bases de dados em tempo quase nulo.

Etapa 3 - Armazenamento e gestão de dados

Continuando com o processo de *Oracle Golden Gate*, os dados são recolhidos e armazenados num *Operational Data Store* (ODS), que se trata de uma base de dados cujo objetivo é integrar dados corporativos de diferentes fontes de dados, para facilitar a criação de relatórios operacionais em tempo real. Numa outra alternativa, o ETL garante o carregamento dos dados no armazenamento de dados, neste caso numa *Staging Area* (SA). Um repositório temporário, onde se realiza a limpeza e transformação dos dados antes de serem carregados para o *Data Warehouse* (DW), para diminuir o impacto dos dados nos sistemas operacionais. O DW é um repositório centralizado que quando atinge uma dimensão significativa divide-se em *subsets*, *Data Marts* (DM), que normalmente são focados numa determinada área ou necessidade específica. O acesso a informação pode ser feito de forma direta ao DW ou aos DM especificamente. A EDP Distribuição tem uma grande variedade de fontes de dados, alimentadas por diferentes sistemas corporativos. Com o objetivo do acesso e gestão destes sistemas foi criado um Modelo de Dados Unificado (MDU). O MDU é um modelo de dados único que suporta os dados dos processos de negócio de uma empresa e realiza integração e transformação de alguns dados dentro da arquitetura BI. O MDU permite armazenar os dados relevantes de cada conjunto de dados para apoio a *reporting* dos sistemas operacionais, ajuda ao cruzamento de dados entre sistemas operacionais, *back office* e entre áreas diversas da cadeia de valor.

Etapa 4 - Análise dos dados e *reporting*

Nesta etapa da arquitetura BI, realiza-se a análise dos dados após o seu tratamento, processamento e limpeza em etapas anteriores com a ajuda do repositório de dados e *software* específico. Podem utilizar-se diferentes metodologias para a sua execução, como o *data mining*, o *data analytics* ou o *business reporting*. Com a informação processada resultante das etapas anteriores, podem criar-se relatórios que podem ser partilhados com destinatários selecionados, de acordo com um calendário definido. Os painéis de controlo são atualizados automaticamente numa base diária, semanal ou mensal, o que elimina o trabalho manual e permite a atualização da informação.

Etapa 5 - Apresentação dos dados

Existe uma etapa de apresentação onde os utilizadores visualizam os dados, através de *dashboards*, BSC (*Balanced ScoreCards*), relatórios ou extrações. Nesta fase verificam-se os resultados que permitem tomar decisões acertadas para o bom desempenho da empresa [38].

4.5 Ferramentas de tratamento e visualização de dados

As ferramentas utilizadas na EDP Distribuição durante todo o estágio foram relacionadas com a análise e tratamento dos dados (*data mining*) e a sua posterior visualização. O *software* disponibilizado pela empresa, foi o mesmo com o qual trabalham em alguns departamentos. O SAS (*Statistical Analysis System*) é um pacote de *software* utilizado para análise estatística e visualização de dados. Foi desenvolvido pelo *SAS Institute* para a gestão de dados, análise avançada, análise multivariada, *business intelligence*, investigação criminal e análise preditiva. Permite partilhar, criar e integrar informação de uma forma simples, acompanhando a arquitetura do BI em cada uma das suas partes. Possibilita a transformação dos dados em bruto, em informação útil para o desenvolvimento da empresa. Dentro deste pacote de *software* foram utilizadas no estágio as aplicações de *SAS Enterprise Guide* e *SAS Visual Analytics* [39].

4.5.1 SAS Enterprise Guide

O *SAS Enterprise Guide* é uma ferramenta de *software*, que permite aos utilizadores analisar dados e publicar resultados. Uma interface gráfica fornece fácil acesso à integração, preparação, análise e relatórios de dados, enquanto os fluxos de processo ajudam a organizar e manter visualmente os seus projetos.

Permite distribuir resultados através da publicação em vários canais, incluindo o *SAS BI report/content repository*, o *SAS storage process server*, impressoras, documentos do *Microsoft Office* e correio electrónico. Proporciona acesso transparente a dados externos diretamente de bibliotecas em servidores, ou fazer importações locais de outros ficheiros (Excel, HTML, ficheiros de texto, CSV, etc.) com a capacidade de exportar resultados para outras aplicações. Os fluxos de processos são definidos como *workflows*, construídos executando *queries*, que permitem diminuir o volume de dados de forma eficiente, focando-se no resultado que se pretende atingir, através de *joins* e filtros entre as tabelas de dados. Cada vez que se executa uma *query*, que gera um *log* com informação sobre o processamento, que inclui notas, avisos e erros, o que torna o *software* bastante intuitivo. Deteta automaticamente a disponibilidade de uma aplicação na rede para um processamento mais eficiente. Permite configurar ramos do *workflow* para funcionar em paralelo em diferentes nós da rede. O *SAS Enterprise Guide* integra uma vasta gama de análises com o potencial do *software* SAS numa aplicação de interface gráfica de utilizador eficiente e fácil de utilizar. Os analistas de negócio podem produzir as suas próprias análises e distribuir relatórios. Os utilizadores podem aceder rapidamente aos dados para análise, agendar projectos, partilhar resultados e integrar facilmente os resultados para utilização repetida, incluindo o acesso a análises avançadas e outras capacidades SAS. Um sistema de segurança centralizado e gerido por TI garante que os utilizadores têm os privilégios certos para aceder aos dados da empresa, permitindo-lhes reagir rapidamente à mudança das condições de negócio [40].

4.5.2 SAS Visual Analytics

O *SAS Visual Analytics* oferece uma plataforma completa de visualização analítica, permitindo identificar padrões e relações nos dados que anteriormente não eram evidentes. O *SAS Visual Analytics* aproveita as tecnologias analíticas de alto desempenho da SAS e fornece às empresas a ferramenta para explorar rapidamente grandes volumes de dados para identificar padrões, tendências e oportunidades para análises posteriores. A interface de dados altamente visual, com funcionalidade de “arrastar e largar” do SAS VA, combinada com a velocidade do *SAS Cloud Analytic Services* (CAS), acelera os cálculos analíticos e permite às empresas obter valor a partir de grandes quantidades de dados. Tudo isto cria uma capacidade sem precedentes para resolver problemas difíceis, melhorar o desempenho empresarial, prever o desempenho futuro e mitigar rapidamente os riscos em segurança. Os utilizadores podem criar rapidamente

relatórios ou *dashboards*, que podem depois visualizar num dispositivo ou na *Web*. O SAS VA permite explorar, descobrir e prever usando os dados e, criar, testar e comparar modelos baseados em padrões descobertos durante a exploração de dados. É possível exportar o modelo antes ou depois da comparação para utilização noutras aplicações. Entre as competências do SAS VA descrevem-se as seguintes:

- Na plataforma existe um tipo de documento chamado "relatório". Quer se trabalhe com um texto, uma tabela, um medidor, uma imagem ou um gráfico, todos os objetos são adicionados às páginas desse relatório. As capacidades de *layout* de precisão proporcionam flexibilidade no mesmo e no desenho dos relatórios.

- As capacidades de filtragem, ordenação e seleção podem ser facilmente acrescentadas aos relatórios com elementos comuns, tais como caixas de recolha/combinção, caixas de verificação e barras deslizantes.

- A sua capacidade de aerocartografia ajuda a determinar o gráfico mais adequado para exibir os dados com base nos elementos selecionados para análise.

- As visualizações analíticas incluem gráficos de caixa, mapas, gráficos de bolhas, gráficos animados de bolhas, diagramas de rede, árvores de decisão, diagramas *Sankey*, entre outros. Também podem ser customizados modelos de gráficos e *mashups*.

- Podem ser calculadas e acrescentadas novas medidas, em qualquer ponto.

- Podem ser criadas hierarquias de funcionamento para a disposição de dados nos relatórios.

- Os dados podem ser carregados no SAS® LASR™ Servidor Analítico a partir da interface de desenho de relatórios [41].

5 Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de desempenho da rede BT

O objetivo inicial deste estágio na EDP Distribuição foi a criação de uma aplicação que qualificasse e indicasse graficamente o desempenho da rede elétrica em baixa tensão, para facilitar o trabalho dos ORD. A ideia passou por realizar um estudo numérico, através de dados disponibilizados pela empresa, que permitisse uma ilustração do desempenho da rede, por meio das ferramentas de *software*. A EDP Distribuição continua com a instalação em massa de sistemas de medição inteligente. Assim, é imprescindível para os ORD saber se os sistemas instalados estão a funcionar corretamente e quais precisam de intervenção, imediata ou a prazo, e se precisarem, de que tipo. Toda esta informação deve poder ser obtida de forma rápida e visual, para evitar perdas de tempo na procura nas bases de dados da empresa.

A conceção do resultado final, era a representação de um índice global de estado da rede BT, construído a partir dos indicadores que se considerassem mais adequados para este objetivo. Em primeiro lugar, foram escolhidos e calculados os indicadores que constituiriam o índice composto global. De seguida, utilizaram-se diferentes metodologias para a construção desse índice global. A estrutura seguida para a abordagem do projeto baseou-se na metodologia de *Knowledge Discovery in Databases* e na metodologia de Apoio à Decisão Multicritério. Para atingir o objetivo final foram necessárias várias etapas, onde se foi estudando o problema concreto em cada uma delas, e decidindo qual a forma mais eficiente de o resolver.

Neste capítulo descreve-se o percurso do estágio na EDP Distribuição, estruturado numa classificação do trabalho por etapas, e na perspetiva do desenvolvimento da ferramenta de análise desempenho da rede BT. São descritas em detalhe as etapas correspondentes à análise e definição dos indicadores, ao estudo e construção de um indicador global, ao tratamento dos modelos de dados e à representação e análise de resultados aplicados a redes exemplo.

5.1 Etapa 1: Aquisição de conhecimentos

A primeira etapa consistiu no estudo dos conceitos apresentados no Capítulo 2 e no Capítulo 3, fundamentais para a compreensão dos requisitos necessários para a construção dos indicadores e da sua análise, assim como a associação destes conceitos a estruturas concretas em exemplos de redes BT da EDP Distribuição.

Nesta fase inicial o objetivo era perceber o funcionamento de uma rede elétrica de baixa tensão e o papel que desempenha cada um dos componentes que a formam. Para isso escolheu-se uma rede concreta dentro de Coimbra, para poder identificá-la fisicamente e perceber melhor o seu funcionamento. A rede escolhida foi analisada identificando cada um dos seus componentes e a sua função, e também as suas características diferenciadoras, para assim poder caracterizá-la de forma precisa. A partir do número de Posto de Transformação foram obtidas várias especificações da rede correspondente, como por exemplo: as coordenadas do PT, o número de clientes que pertencem a esse PT, o tipo de DTC, o número de EBs instaladas, qual era a potência contratada pelo cliente, a antiguidade dos equipamentos de medição, etc. Isto simplificou o entendimento das bases de dados, fazendo *queries* e *joins* de tabelas através do SAS, para obter o resultado desejado. Foi uma forma de estabelecer contato com o tratamento dos dados, de forma simples, para mais tarde continuar a acrescentar dificuldade na estrutura dos dados.

5.2 Etapa 2: Análise e definição dos indicadores

O passo seguinte foi atribuir os KPI já existentes na EDP Distribuição à rede escolhida, para um dia em concreto. Através do *SAS Enterprise Guide* fizeram-se as *queries* e *joins* de tabelas pertinentes até chegar ao resultado que se procurava. Repetindo as mesmas ações para curtos períodos de tempo, por exemplo de dois meses. Escolheu-se outra rede de estrutura similar à que já se tinha analisado, também dentro de Coimbra, para comparar o desempenho das duas e como aproximação ao conceito que se queria desenvolver: poder comparar redes através de indicadores escolhidos, que pudessem mudar dependendo das circunstâncias. Posteriormente, com a supervisão da equipa da EDP Distribuição, escolheram-se os indicadores de forma subjetiva, com o auxílio da experiência dos colaboradores. Estes indicadores foram os que mais se adequavam para descrever o comportamento da rede. Foram oito indicadores, contruídos através dos KPI que já existiam, ou através dos dados obtidos das tabelas, e que se apresentam de seguida.

A: Indicador de sucesso das OS = Quantidade de OS realizadas com sucesso no dia

Este indicador foi construído a partir dos KPI: Quantidade de OS (Ordens de Serviço) abertas no dia e Quantidade de OS fechadas com sucesso, no dia. A lógica aplicada foi a indicada no diagrama da Figura 19, aplicando uma escala por intervalos.

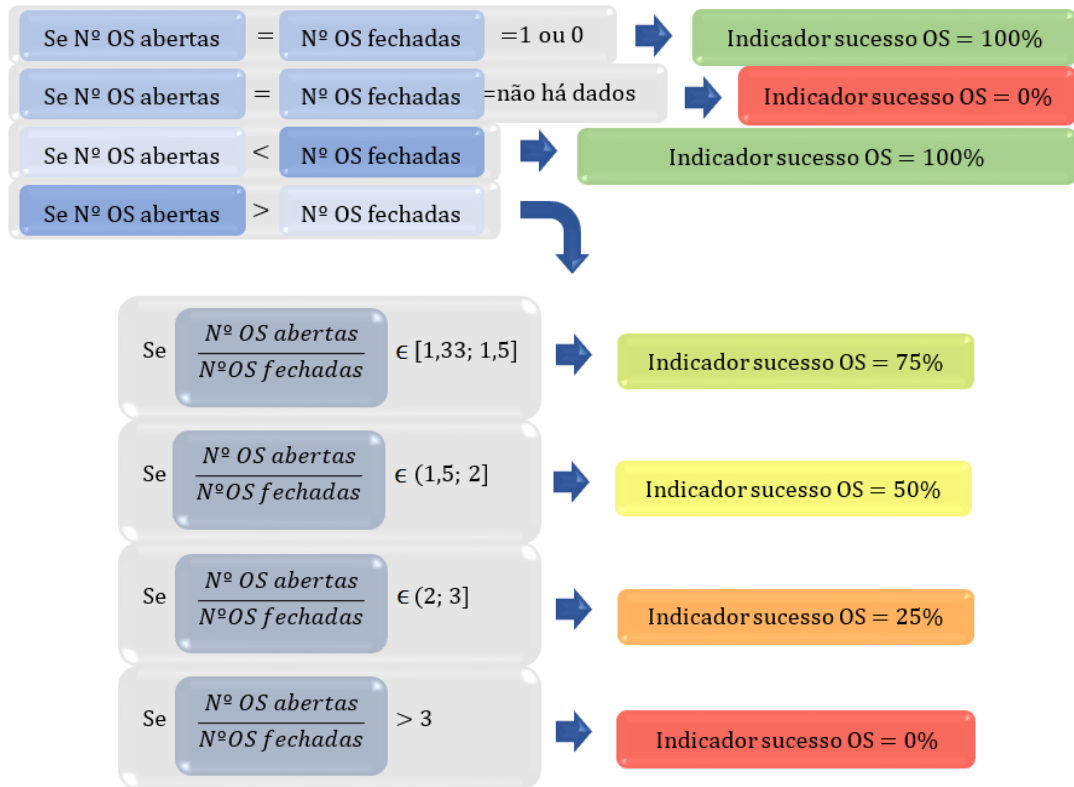


Figura 19: Diagrama do Indicador de sucesso das OS.

$$\mathbf{B: \text{Indicador EB telegestão}} = \frac{Qtde \text{ EBs em telegestão}}{Qtde \text{ EBs registradas}}$$

Este indicador foi construído a partir dos KPI: Quantidade de EBs em telegestão ou teleleitura (EBs que estão a transmitir dados) e Quantidade de EBs registradas no sistema.

$$\mathbf{C: \text{Indicador leituras EBs registradas}} = \frac{Qtde \text{ leituras por DTC}}{Qtde \text{ EBs registradas}}$$

Este indicador foi construído a partir dos KPI: Quantidade de leituras acumuladas por dia no DTC e Quantidade de EBs registradas no sistema.

$$\mathbf{D: \text{Indicador leituras DTC EBs telegestão}} = \frac{Qtde \text{ leituras por DTC}}{Qtde \text{ EBs em telegestão}}$$

Este indicador foi construído a partir dos KPIs: Quantidade de leituras acumuladas por dia no DTC e Quantidade de EBs em telegestão ou teleleitura (EBs que estão a transmitir dados).

$$\mathbf{E: Indicador\ recolhha\ DC} = \frac{Qtde\ EBs\ com\ DC}{Qtde\ EBs\ registadas}$$

Este indicador foi construído a partir dos KPI: Quantidade de EBs que fazem diagramas de carga e Quantidade de EBs registadas no sistema.

$$\mathbf{F: Indicador\ duração\ OS} = \text{Duração em dias de uma OS}$$

Este indicador foi construído a partir dos KPI: Duração de OS fechadas com sucesso (em dias). Aplicou-se de novo uma lógica por escala de intervalos tal como mostrado na Figura 20.

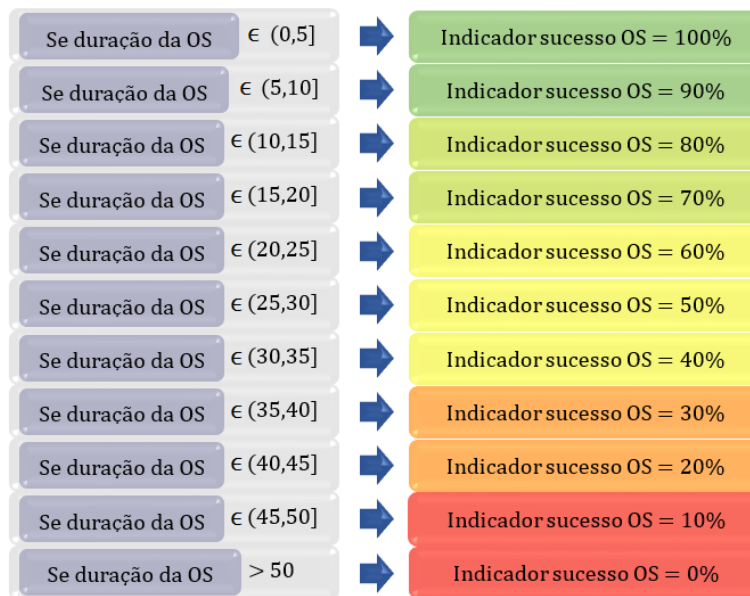


Figura 20: Diagrama do Indicador de duração das OS.

$$\mathbf{G: Indicador\ tempo\ recolha\ leitura} = \text{Duração recolha de uma leitura (h)}$$

Este indicador foi construído a partir do KPI: Tempo de recolha de uma leitura em horas. Aplicou-se de novo uma lógica por escala de intervalos como mostrado na Figura 21.

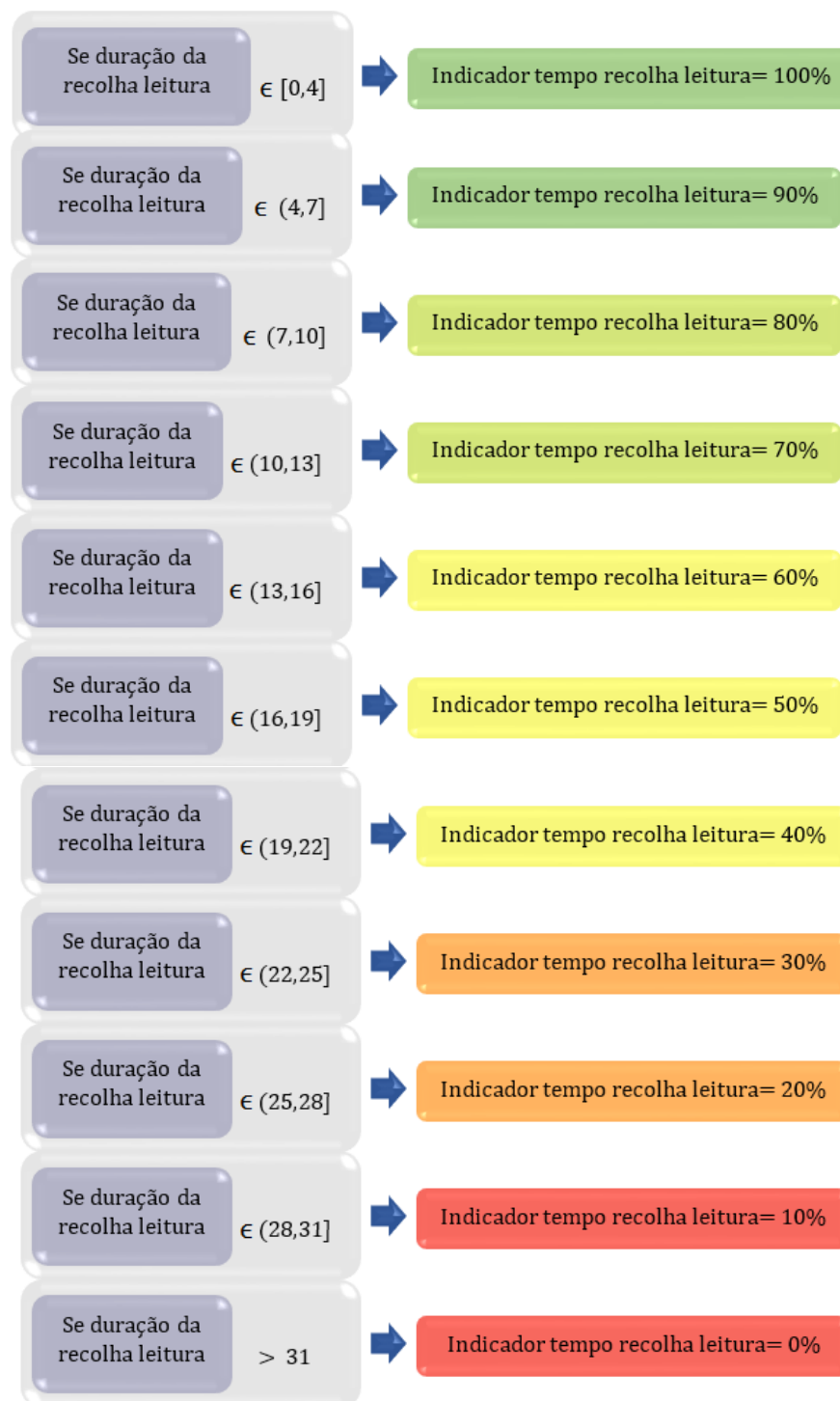


Figura 21: Diagrama do Indicador de tempo de recolha de leitura.

$$\text{H:Indicador registros DC} = \frac{Qtde\ registros\ recolhidos}{Qtde\ EBs\ com\ DC * 96}$$

Este indicador foi construído a partir dos KPIs: Quantidade de registros de diagramas de carga recolhidos no total e a Quantidade de EBs que recolheram diagramas de carga. Na divisão aparece dividido por 96 porque a cada 96 horas se faz a recolha dos diagramas de carga.

Todos estes indicadores recolhem valores diariamente, com o objetivo de os armazenar, para depois fazer uma análise e interpretação dos resultados obtidos.

5.2.1 Etapa 3: Estudo e construção do indicador global

Uma vez já definidos os indicadores gerais, amplia-se o estudo de redes para a região de Coimbra, obtendo assim os resultados de cada um dos indicadores para cada um dos PT de Coimbra. O passo seguinte é criar uma fórmula, a partir dos indicadores que já temos, para a construção do indicador global do estado da rede. Este indicador global de estado da rede vai ser composto pelos indicadores que previamente calculámos, e vai possibilitar a troca destes por outros diferentes, quando seja necessário. A construção do indicador global fundamentou-se nos Métodos de Apoio à Decisão Multicritério, em concreto, utilizaram-se os métodos de ponderação mencionados previamente. Atribuíram-se valores dependendo da importância que se queria dar a cada um dos critérios.

Método 1 - Método ROC

Seguindo o método ROC (*Rank Order Centroid* ou Ordem de Classificação Centróide), no cálculo dos pesos de ponderação, e tendo em conta que possui 8 critérios, normaliza-se por 8, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Pesos do Método ROC.

Peso	Cálculo
1	$\frac{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}}{8}$
2	$\frac{\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}}{8}$
3	$\frac{\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}}{8}$
4	$\frac{\frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}}{8}$
5	$\frac{\frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}}{8}$
6	$\frac{\frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}}{8}$
7	$\frac{\frac{1}{7} + \frac{1}{8}}{8}$
8	$\frac{\frac{1}{8}}{8}$

Cálculo do indicador global:

$$\begin{aligned}
 & peso1 \cdot A + peso2 \cdot B + peso3 \cdot C + peso4 \cdot D + peso5 \cdot E + peso6 \cdot F \\
 & + peso7 \cdot G + peso8 \cdot H = \text{Indicador global de estado da rede}
 \end{aligned}$$

Método 2 - Método de ordenação simples

A atribuição dos valores aos indicadores e consequentemente, os pesos de ponderação seguindo a ordem de importância é indicada na Tabela 6

Tabela 6: Atribuição de pesos do Método de ordenação simples.

Valor atribuído	Indicador	Peso	Cálculo
8	A	1	$\frac{8}{36}$
7	B	2	$\frac{7}{36}$
6	C	3	$\frac{6}{36}$
5	D	4	$\frac{5}{36}$
4	E	5	$\frac{4}{36}$
3	F	6	$\frac{3}{36}$
2	G	7	$\frac{2}{36}$
1	H	8	$\frac{2}{36}$
Total = 36			

Cálculo do indicador global:

$$peso1 \cdot A + peso2 \cdot B + peso3 \cdot C + peso4 \cdot D + peso5 \cdot E + peso6 \cdot F + peso7 \cdot G + peso8 \cdot H = \text{Indicador global de estado da rede}$$

Método 3 - Método de taxação simples A atribuição dos valores aos indicadores por ordem de importância, sendo o mínimo valor igual a zero, é a indicada na Tabela 7.

Tabela 7: Atribuição de pesos do Método de taxação simples.

Valor atribuído	Indicador	Peso	Cálculo
7	A	1	$\frac{7}{29}$
6	B	2	$\frac{6}{29}$
6	C	3	$\frac{5}{29}$
5	D	4	$\frac{4}{29}$
4	E	5	$\frac{3}{29}$
3	F	6	$\frac{2}{29}$
2	G	7	$\frac{1}{29}$
1	H	8	0
Total = 29			

Cálculo do indicador global:

$$\begin{aligned} & peso1 \cdot A + peso2 \cdot B + peso3 \cdot C + peso4 \cdot D + peso5 \cdot E + peso6 \cdot F \\ & + peso7 \cdot G + peso8 \cdot H = \text{Indicador global de estado da rede} \end{aligned}$$

Método 4 - Método *Swing*

Este método faz uma atribuição de valores aos indicadores, que sejam múltiplos de 10, sendo 100 o mais importante, e consequentemente, os pesos de ponderação seguindo a ordem de importância como ilustrado na Tabela 8

Tabela 8: Atribuição de pesos do Método *Swing*.

Valor atribuído	Indicador	Peso	Cálculo
100	A	1	$\frac{100}{520}$
90	B	2	$\frac{90}{520}$
80	C	3	$\frac{80}{520}$
70	D	4	$\frac{70}{520}$
60	E	5	$\frac{60}{520}$
50	F	6	$\frac{50}{520}$
40	G	7	$\frac{40}{520}$
30	H	8	$\frac{30}{520}$
Total = 520			

Cálculo do indicador global:

$$peso1 \cdot A + peso2 \cdot B + peso3 \cdot C + peso4 \cdot D + peso5 \cdot E + peso6 \cdot F + peso7 \cdot G + peso8 \cdot H = \text{Indicador global de estado da rede}$$

5.2.2 Etapa 4: Tratamento dos modelos de dados

Nesta etapa, os modelos de dados necessários foram estruturados e executados para atingir o objetivo principal de desenvolver o indicador global do estado da rede. Para este fim, foi utilizado o *software SAS Enterprise Guide*, onde foram extraídas as tabelas de dados apropriadas das bibliotecas de dados da EDP Distribuição. As tabelas de dados foram então processadas através de *joins* e *queries* até se obter o resultado desejado. A estrutura do modelo de dados foi dividida em dois projetos diferentes, implementados no *SAS Enterprise Guide*. No projeto inicial fez-se o desenvolvimento dos indicadores de estado necessários. Foi realizado um processo individual para o desenvolvimento de cada indicador, da mesma forma que foi realizado um processo individual para mais tarde reunir todos os indicadores finais obtidos, na mesma tabela.

Projeto 1

O tratamento dos dados começou pelos indicadores correspondentes às ordens de serviço, que foram calculados no mesmo processo, já que foram obtidos a partir das mesmas tabelas de dados e foi necessário realizar o mesmo pré-processamento sobre elas (Figura 22).

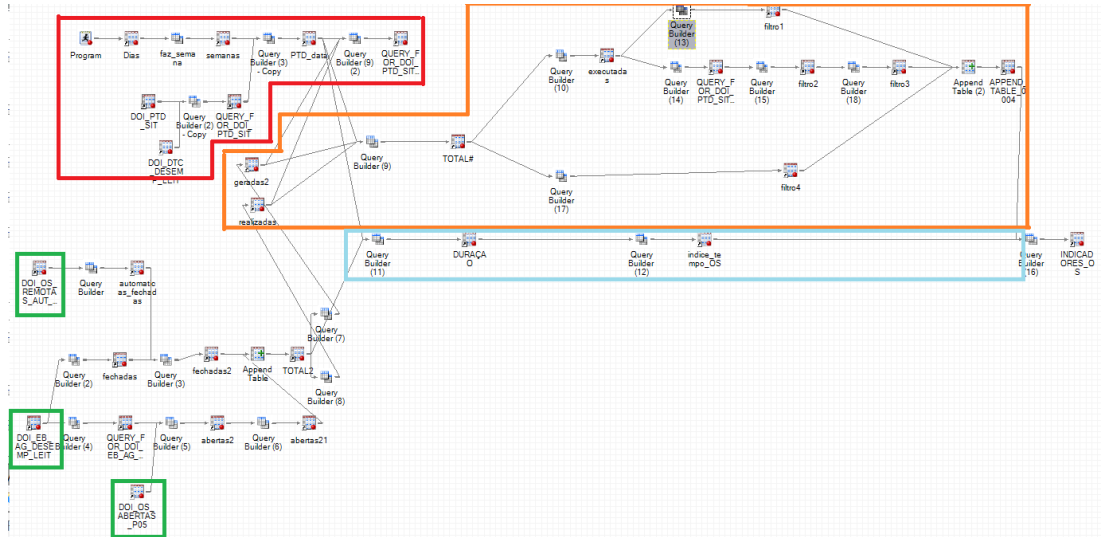


Figura 22: Processo indicadores OS.

O processo vermelho é um processo comum para todos os indicadores, pois combina os PTs de Coimbra e todas as suas características (por exemplo: latitude e longitude onde o PT está localizado) com a data diária. As tabelas com contorno a verde são as tabelas obtidas diretamente da biblioteca do departamento. O processo laranja representa o processamento aplicado para obter o indicador de sucesso das OS. Nesta parte estão inseridas as lógicas apresentadas na Etapa 2. Finalmente, o processo azul obtém o indicador de duração de uma OS. Os dois indicadores obtidos são inseridos numa tabela comum, em conjunto com as suas características descritivas.

Da mesma forma, é obtido o Indicador EB em tele-gestão ou tele-leitura. A partir do processo na caixa de bordo vermelho, onde se encontra a informação de data e os PTs com as suas características, e da tabela na caixa de bordo verde, obtida da biblioteca, executam-se os *queries*. De seguida, é feita uma junção onde as duas tabelas processadas são combinadas e, a partir daí, são feitas consultas até que o indicador desejado e as suas características sejam obtidos (Figura 23).

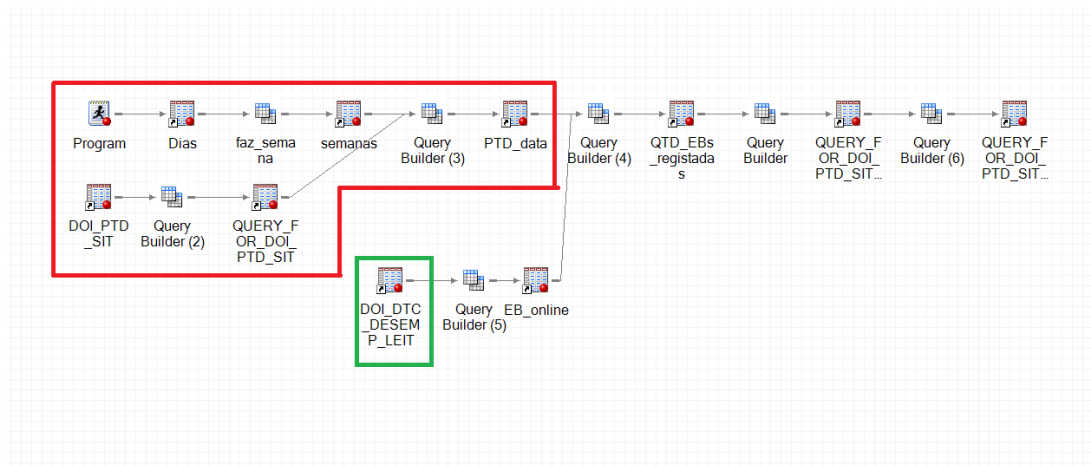


Figura 23: Processo de EBs telegestão.

Nos processos ilustrados na Figura 24, o indicador de leituras a partir das EBs registradas e o indicador de tempo de recolha das leituras, são desenvolvidos no processo azul, mais tarde, este processo, é unido com o processo laranja onde se obtém o indicador de leituras a partir das EBs em telegestão, para formar uma única tabela.

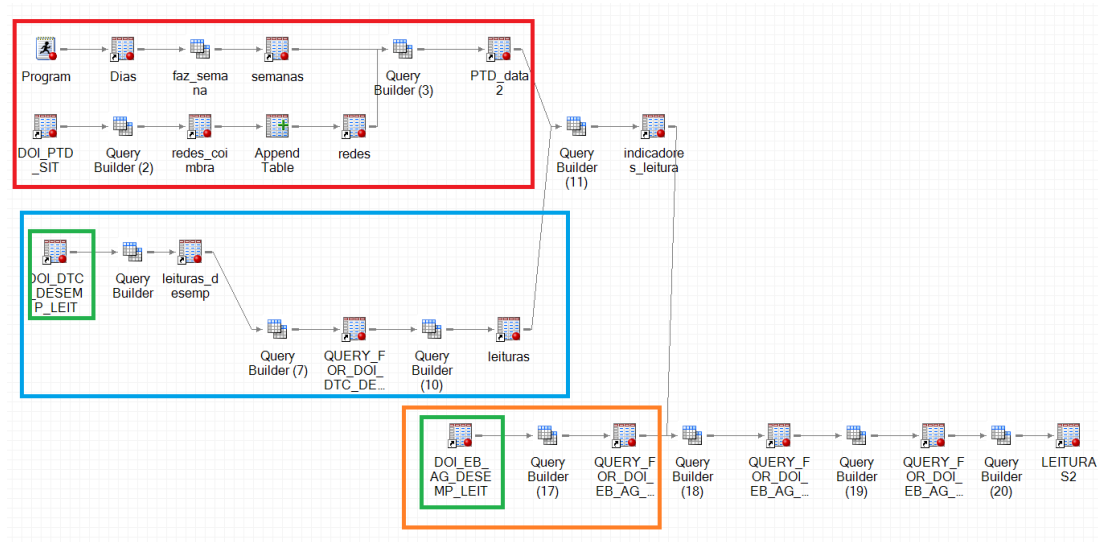


Figura 24: Processo de leituras.

O conjunto de processos no diagrama da Figura 25 corresponde aos indicadores encarregados da recolha de diagramas de carga. A partir das tabelas com contorno a verde, desenvolvem-se dois processos individuais. O processo com contorno a laranja obtém o indicador de recolha de DCs e o processo com contorno a azul desenvolve o indicador de registos obtidos de DCs. Uma vez obtidos, juntam-se com o processo vermelho e realizam-se *joins* até obter os dois indicadores, com as suas características principais, numa única tabela.

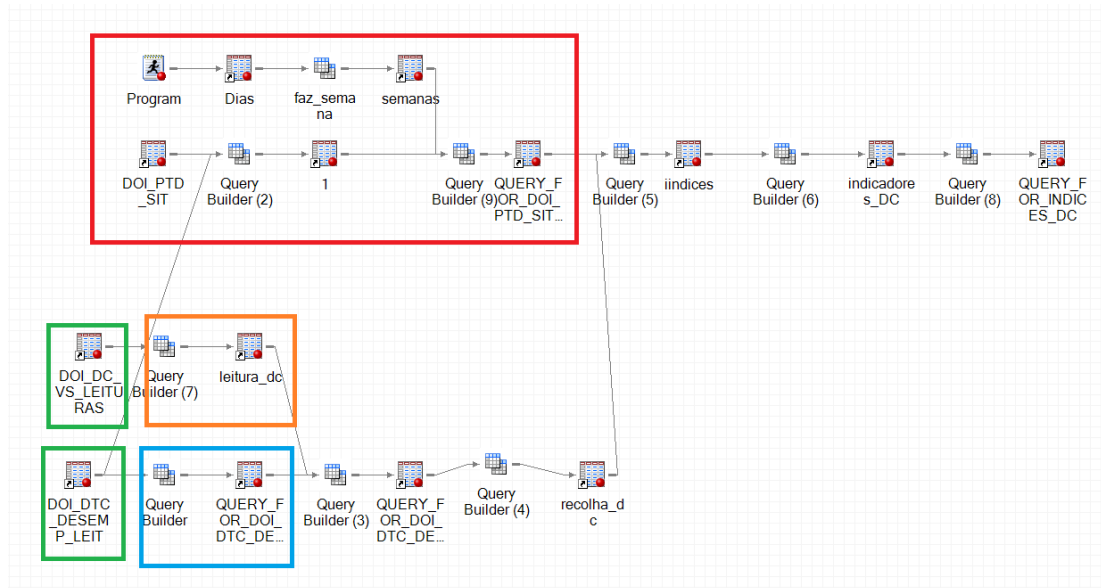


Figura 25: Processo de diagramas de carga.

O processo no diagrama da Figura 26 corresponde ao processo final onde são adicionadas cada uma das tabelas finais obtidas nos processos anteriores. Deste modo, forma-se uma tabela final onde aparecem os indicadores e as suas características principais, as quais mais tarde vão ser representadas em SAS VA. A tabela resultante *DOI_IND_REDES_TESTE* é agendada para se atualizar todos os dias e assim são obtidos resultados que permitem fazer um seguimento diário do comportamento da rede.

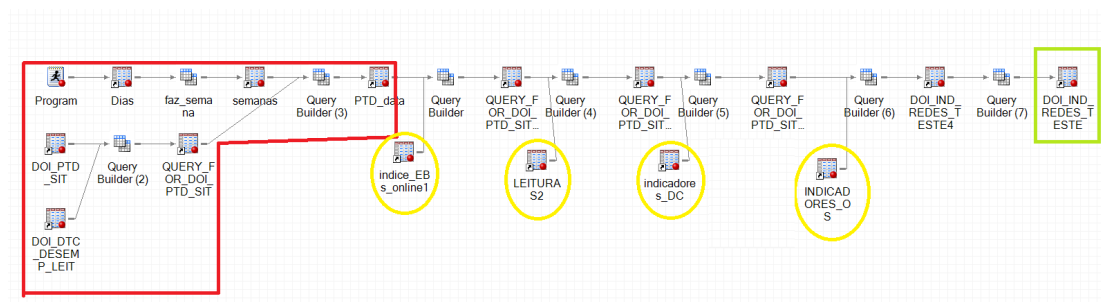


Figura 26: Processo final de indicadores.

Projeto 2

Uma vez agendada a tabela final do Projeto 1, neste projeto vão-se fazer os cálculos associados aos métodos de ponderação explicados na Etapa 3. Vão ser realizados quatro processos individuais, onde, através dos *queries*, são estabelecidas as fórmulas precisas para o cálculo do indicador global do estado da rede, por cada um dos métodos escolhidos. O resultado de cada um dos processos vai ser uma tabela com o indicador global de estado da rede seguindo

o método correspondente (Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30 e Figura 31).

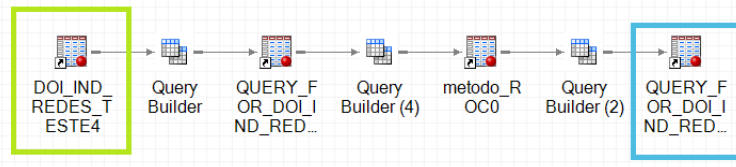


Figura 27: Processo método ROC.

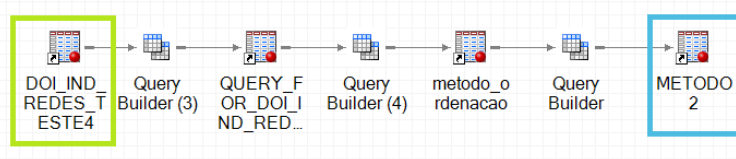


Figura 28: Processo método ordenação.

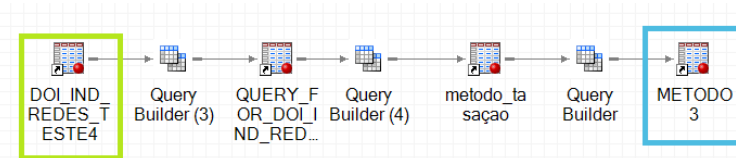


Figura 29: Processo método taxaço.

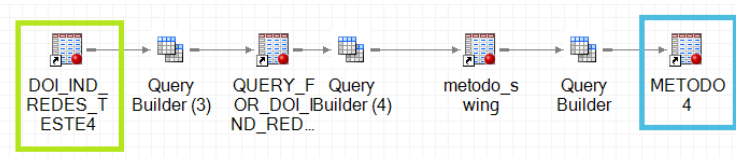


Figura 30: Processo método *swing*.

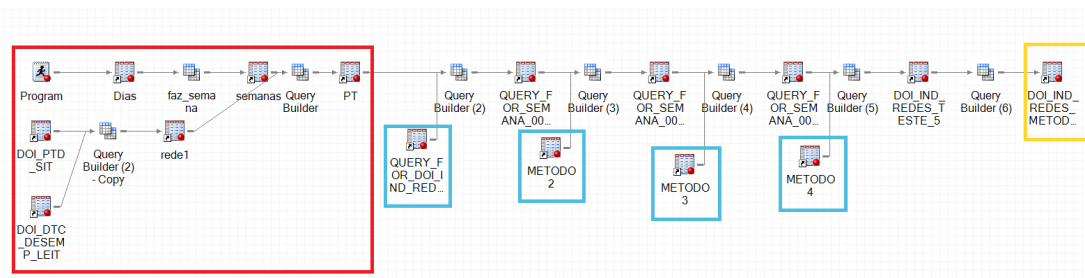


Figura 31: Processo final de métodos de ponderação e indicadores

Neste processo final , na parte com bordo vermelho, são combinados novamente os PTs e as datas. Ao resultado vão-se adicionando cada um dos

métodos obtidos, até formar a tabela final com bordo a amarelo, a qual contém os métodos de ponderação, os indicadores, e as suas características principais. A tabela *DOI_IND_REDES_METODOS* é também agendada para obter resultados diários. Esta tabela vai ser utilizada posteriormente no SAS VA para realizar os *dashboards*.

Depois de obter o indicador global de estado da rede para os PTs de Coimbra, para fazer uma comparação, fez-se o mesmo processo de tratamento de dados no *SAS Enterprise Guide* para o concelho da Marinha Grande. Escolheu-se a rede deste concelho sabendo de antemão que os seus indicadores apresentavam um bom desempenho, e ao mesmo tempo, a rede tinha uma estrutura parecida com a de Coimbra, e assim era possível perceber que posição ocupava relativamente a esta. Para verificar que as duas redes eram parecidas, foram estabelecidas dimensões para identificar e classificar os tipos de rede. As dimensões escolhidas foram:

- O número de DTCs por PT.
- O número de EBs registadas e em telegestão por PT.
- A marca do equipamento DTC.
- O tipo de configuração da rede.

5.2.3 Etapa 5: Representação

Nesta etapa integram-se os resultados obtidos anteriormente, representados em forma de *dashboards* no SAS VA. A partir dos dados da tabela final obtida, são criados gráficos de diferentes tipos e mapas que vão mostrar, de forma visual, o comportamento da rede.

Para chegar a este resultado, houve um processo de aprendizagem da utilização da ferramenta SAS VA. Tal como aconteceu no *SAS Enterprise Guide*, inicialmente foi realizada uma análise gráfica de uma única rede em Coimbra. Isto facilitou a compreensão da ferramenta. Mais tarde, a análise foi expandida a todas as redes de Coimbra, e finalmente foi realizada para todas as redes em Coimbra e Marinha Grande.

A nível gráfico, as representações foram alteradas, com o objetivo de as tornar coerentes, e que ao mesmo tempo fossem facilmente interpretadas por qualquer colaborador que tivesse acesso às mesmas. Foi realizado um processo de optimização contínua, que resultou num *dashboard* com vários relatórios, para cada concelho.

Seguidamente, encontra-se uma explicação de cada um dos relatórios do

dashboard; tanto da função que desempenham, como dos resultados obtidos. Em todas as imagens a apresentar a interface vai ser similar, os relatórios visualizam-se a partir do ambiente de modificação dos *dashboards*. Na área lateral esquerda das figuras, aparece a tabela obtida anteriormente no *SAS Enterprise Guide* com todos os indicadores e parâmetros que contém. Na área lateral direita destacam-se todas as opções aplicáveis aos objetos inseridos no relatório (gráficos, mapas, indicadores, etc).

Indicador global de estado

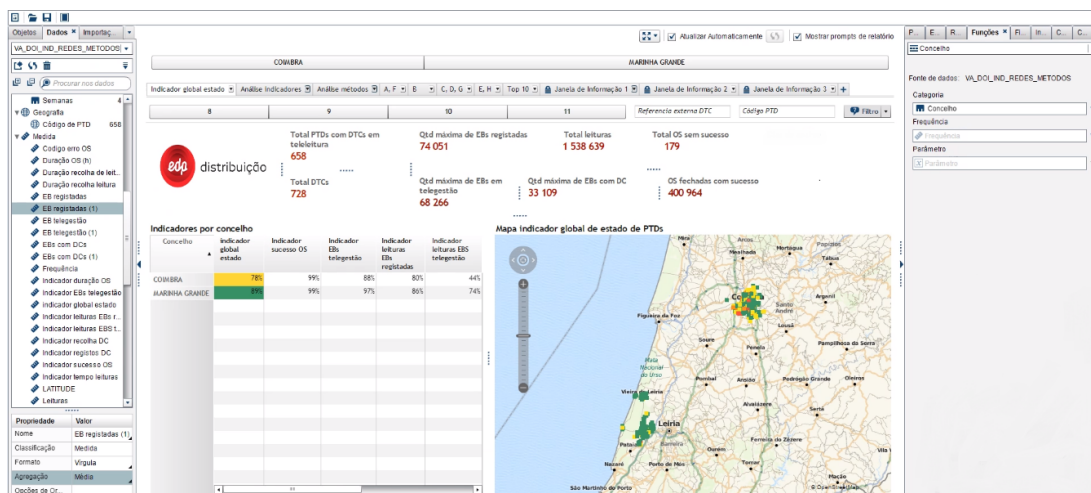


Figura 32: Relatório inicial do *dashboard* (Indicador global de estado)

A Figura 32 ilustra o relatório inicial do *dashboard*, e o mais representativo. Inclui os parâmetros mais importantes para um ORD, para identificar o estado da rede BT. Na parte superior existem dois separadores com o nome dos concelhos. Ao seleccionar um deles, os dados que se apresentariam nos gráficos de cada um dos relatórios seriam só para esse concelho. Se não se seleccionar nenhum concelho, os dados mostrados serão para todos os concelhos, neste caso, para Coimbra e Marinha Grande. Por baixo dos separadores do concelho, estão os nomes de cada um dos relatórios deste *dashboard*. Neste caso, aparece seleccionado o primeiro, o indicador global de estado.

Mais abaixo, há separadores com números, que representam o número de semana, desde a semana 8 de 2020 até à semana 11 de 2020. Como acontecia anteriormente, ao seleccionar um separador, os dados apresentados em cada um dos separadores serão para a semana seleccionada. No caso de não seleccionar nenhum separador, os dados apresentados serão para todas as semanas disponíveis. À direita dos separadores estão as dimensões mencionadas na Etapa 4, o número de referencia do PT e do DTC, em conjunto com um filtro que contém o resto das dimensões. Isto permite procurar por uma rede específica

ou por redes que satisfaçam requisitos específicos. Os números que aparecem próximos do símbolo da EDP Distribuição referem-se a indicadores que podem ser de muita utilidade para os ORD. Permitem realizar uma análise rápida do estado das redes do concelho.

- Total PTDs com DTCs em teleleitura: representa a soma de PTDs que possuem DTCs em teleleitura, podendo funcionar por concelho ou de forma global (todos os concelhos).
- Total DTCs: representa a soma de DTCs, podendo ser para o concelho, de forma global, ou para um PTD em concreto, já que é possível que existam vários DTCs num mesmo PTD.
- Qtd máxima de EBs registradas: mostra a quantidade máxima alcançada, de EBs que estão registradas no sistema, da semana seleccionada, ou para todas as semanas.
- Qtd máxima de EBs em telegestão: mostra a quantidade máxima alcançada, de EBs que estão em telegestão, da semana seleccionada, ou para todas as semanas.
- Total de leituras: é a soma total das leituras de todas as EBs em funcionamento, da semana seleccionada, ou para todas as semanas.
- Qtd máxima de EBs com DCs: representa a quantidade máxima numa semana, ou na soma de semanas, de EBs que estão a receber diagramas de carga.
- Total OS sem sucesso: são as ordens de serviço totais que foram abertas e que não puderam ser resolvidas.
- OS fechadas com sucesso: são as ordens de serviço totais que foram abertas e resolvidas com sucesso.

Os indicadores por concelho, basicamente, são o indicador do estado global, em conjunto com os indicadores que o compõem. Estes indicadores foram previamente calculados na Etapa 3, e são representados em percentagem. O indicador do estado global muda de cor dependendo do valor da sua percentagem.

O mapa na Figura 33 ilustra o indicador global do estado da rede através de pequenos símbolos quadrados de cores. Desta forma, o ORD pode visualizar o estado do conjunto de PTDs, ou de um único PTD, com uma simples observação.

Um PTD a vermelho corresponde a uma percentagem mais baixa e um PTD a verde a uma percentagem mais alta. O mapa também tem a possibilidade de se poder seleccionar os símbolos de cores, o que apresentará a referencia do PTD e o valor da percentagem exata.



Figura 33: Mapa do indicador global de estado de PTDs.

Análise de indicadores e análise de métodos

O relatório de análise de indicadores recolhe numa tabela cada um dos indicadores calculados, que compõem o indicador global, para cada DTC. Os resultados são recolhidos em forma de percentagens, com cores correspondentes ao estado em que se encontra a rede. Adicionalmente, aparecem parâmetros que se consideram importantes para a interpretação dos referidos indicadores. Para além da tabela, existem gráficos para visualizar os resultados de forma mais rápida.

O relatório de análise de métodos é similar ao anterior, diferenciando-se por, em vez de apresentar os indicadores na tabela, apresentar os diferentes métodos escolhidos para o cálculo do indicador global. Também está disponível um gráfico que possibilita observar e avaliar as diferenças de resultados entre os métodos. Há métodos que são mais pessimistas e outros mais otimistas, apesar de que as diferenças entre eles são mínimas.

Indicadores

Os diagramas na Figura 34 têm por objetivo apresentar os indicadores de sucesso e a duração das OS.

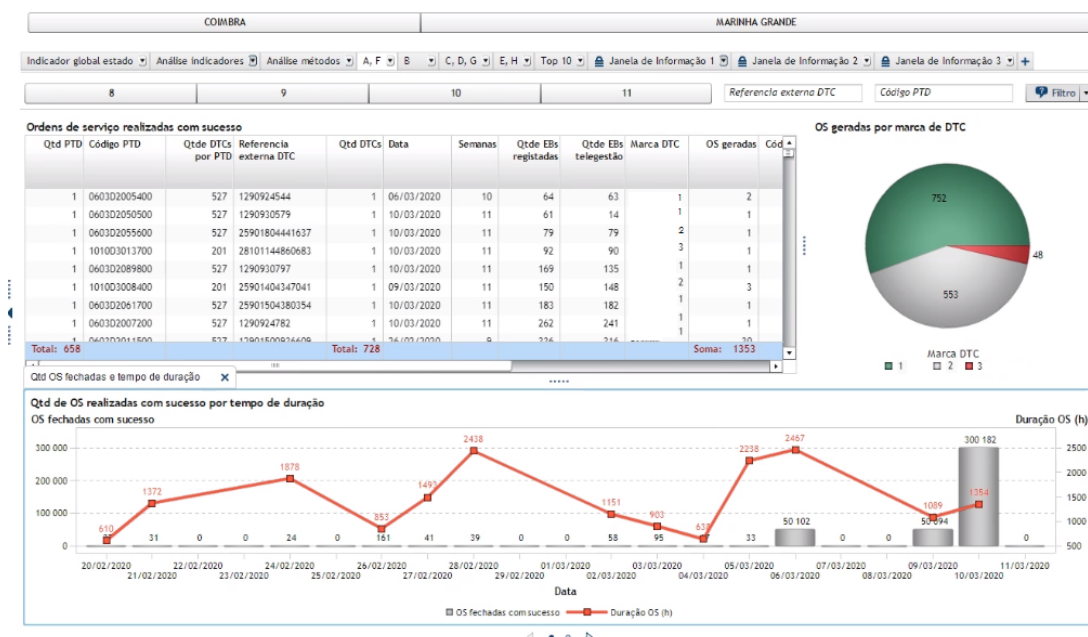


Figura 34: Indicadores OS (A e F).

A tabela de ordens de serviço realizadas com sucesso inclui os parâmetros necessários para o entendimento das percentagens resultantes, de cada um dos indicadores das OS. O gráfico à direita da tabela apresenta resultados por marca de DTC e mostra as OS geradas, dependendo da marca do DTC, podendo ser feita uma comparação entre marcas.

O gráfico "Qtd de OS realizadas com sucesso, por tempo de duração", representa uma comparação diária. Compara a quantidade total de OS realizadas com sucesso, por o tempo gasto em horas, para elas serem resolvidas. Existe um segundo gráfico neste relatório, ilustrado na Figura 35, que pretende comparar, de forma semanal, as OS geradas com as OS que foram fechadas sem sucesso.

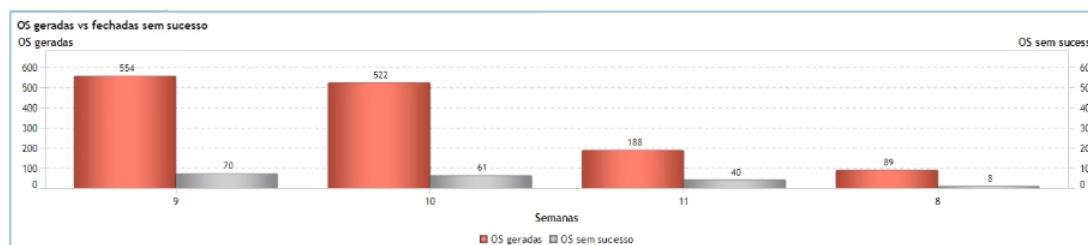


Figura 35: Segundo Gráfico indicadores OS

A Figura 36 ilustra o relatório associado ao indicador de EBs em telegestão. Neste caso, os dados mostrados são os correspondentes à semana 10. A tabela de EBs em telegestão contém o indicador correspondente a cada DTC, em

conjunto com os parâmetros relacionados com este. Toda esta informação ajuda a identificar onde podem ter origem os diferentes problemas que afetam este indicador e, por sua vez, o indicador global de estado.

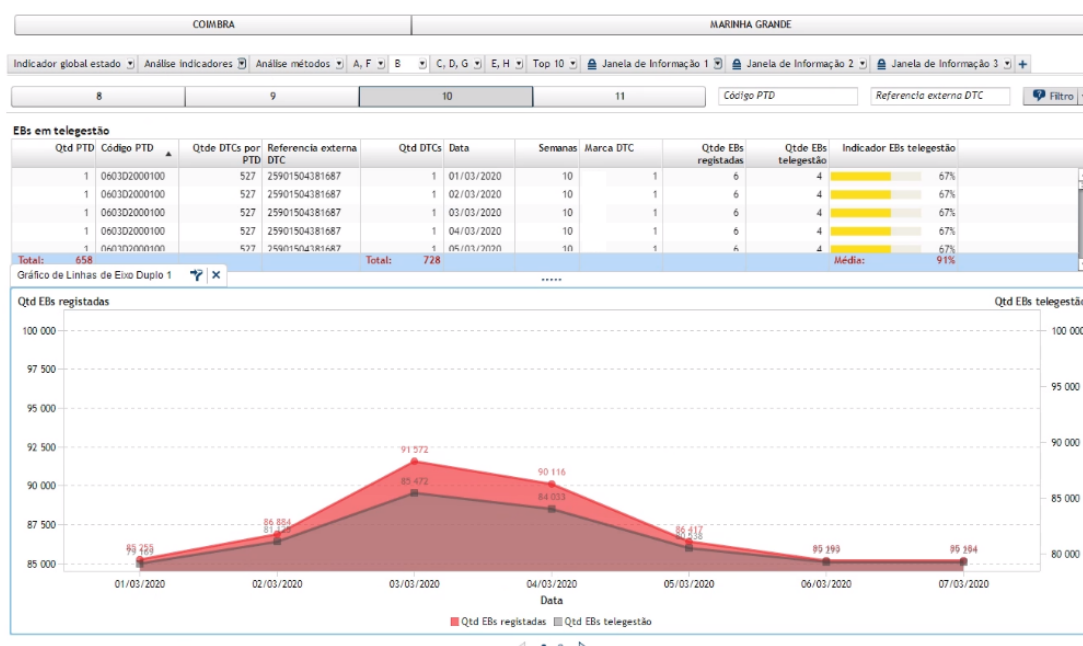


Figura 36: Indicador de EBs em telegestão.

Na Figura 37 apresenta-se um gráfico de linhas, que pretende ilustrar uma comparação diária da quantidade de EBs em telegestão com a quantidade de EBs registadas. Para além do gráfico de linhas, o relatório contém também um diagrama de dispersão, comparativo entre as marcas de DTCs. Desta forma, é possível analisar o comportamento de cada marca, na medida em que as EBs funcionam. Permanece neste diagrama também a comparação do gráfico anterior.

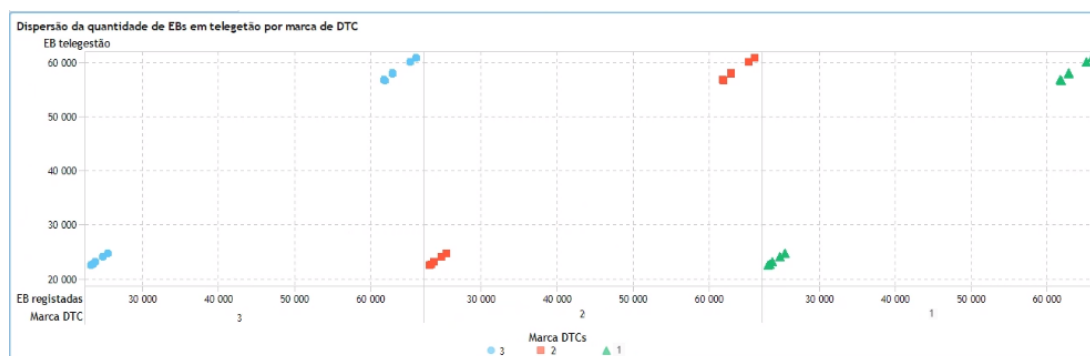


Figura 37: Diagrama de dispersão de EBs, por marcas de DTC.

O relatório associado aos indicadores de leituras, exemplificado nos diagramas da Figura 38, possui o mesmo formato que no caso dos indicadores anteriores. A tabela de "Leituras de Histórico Diário" apresenta os indicadores de leituras de

EBs registradas, de EBs em telegestão e do tempo de recolha das leituras. O gráfico de barras e linhas compara, de forma diária, a quantidade de EBs registradas por quantidade de leituras no DTC, fazendo uma comparação entre marcas de DTCs.

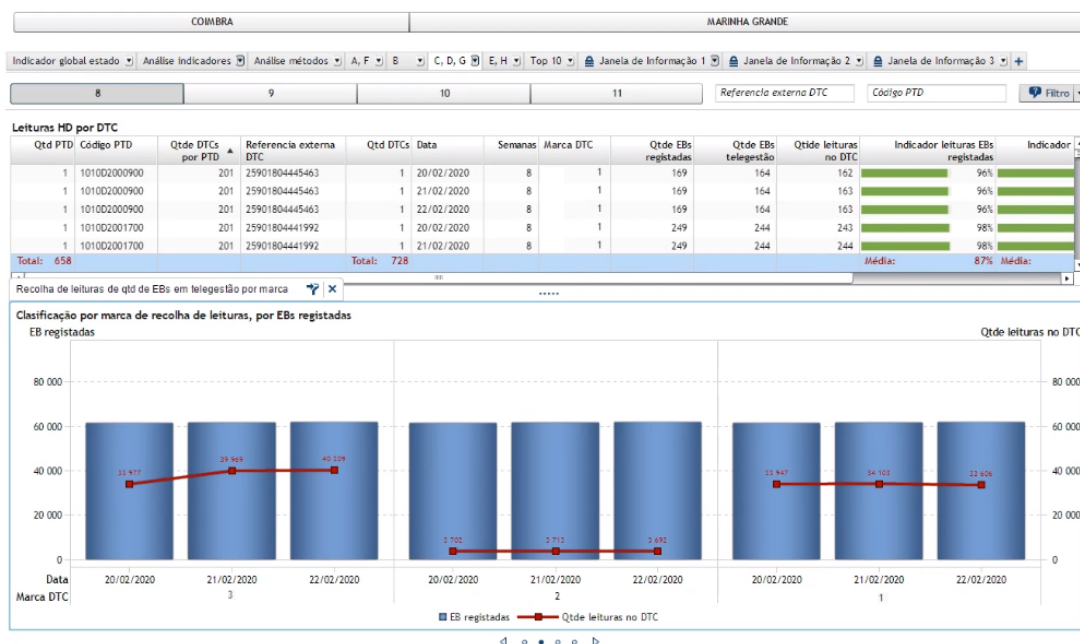


Figura 38: Indicadores de leitura (C, D, G).

Relativamente ao relatório de diagramas de carga, ilustrado na Figura 39, apresenta uma tabela que contém os indicadores de EBs com DCs e de registos DC. Também disponibiliza os identificadores de instalações em conjunto com parâmetros relevantes. À direita da tabela encontra-se um gráfico circular, que representa a quantidade de EBs que recebem DCs, por marca de DTC. Em baixo, o gráfico de barras e linhas, mostra a quantidade diária de registos, em conjunto com a quantidade de EBs com registos DC.

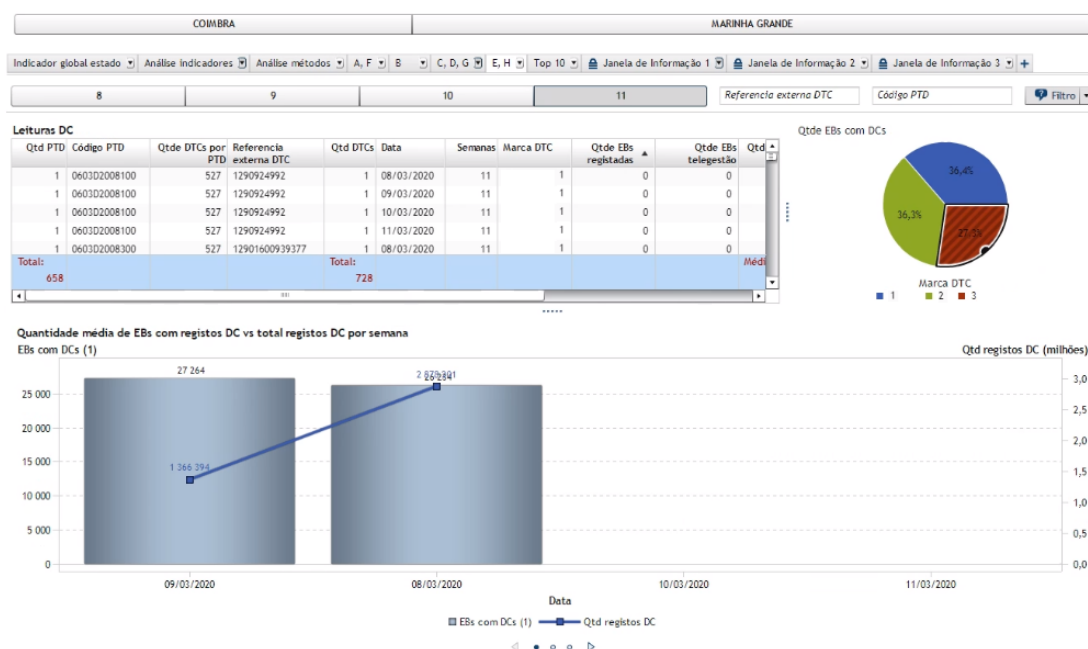


Figura 39: Indicadores de diagramas de carga (E, H).

Está também disponível um gráfico de linhas, exemplificado na Figura 40, que compara quatro parâmetros: a quantidade de EBs registradas em telegestão, as leituras no DTC, e as EBs com DCs. Estes valores deveriam de ser sempre semelhantes, de modo que se existir um problema em qualquer um deles, a representação no gráfico torna possível a sua detecção imediata.

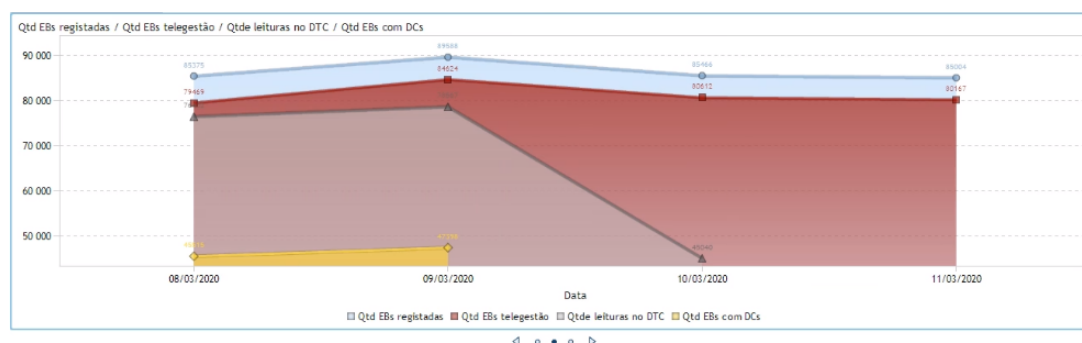


Figura 40: Gráfico de linhas para comparação de parâmetros.

Top 10

Existe ainda um outro relatório no *dashboard* designado "Top 10". Este relatório contém dois separadores, os quais mostram as 10 redes com melhor desempenho, e as 10 redes com pior desempenho. Estas 10 redes são inseridas em tabelas que mostram o resultado dos indicadores globais de cada uma delas, os indicadores que os compõem, e outros parâmetros identificativos da instalação. Desta forma, podem-se identificar de forma simples as redes com melhor ou pior desempenho.

6 Conclusões e propostas de desenvolvimento futuro

Este capítulo encontra-se dividido em dois subcapítulos, o primeiro refere-se a algumas conclusões que se podem extrair do trabalho realizado no âmbito do estágio na EDP Distribuição e o segundo apresenta propostas para trabalho futuro.

6.1 Conclusões

Este estágio foi caracterizado por uma grande adaptação às circunstâncias que se foram alterando ao longo do seu percurso. Em particular, foi necessário adaptar os objetivos e o trabalho a desenvolver à interrupção do acesso aos sistemas de informação da EDP Distribuição devida à epidemia Covid-19. Neste contexto, a principal meta, que era o desenvolvimento e utilização do indicador global de estado da rede BT foi atingida com sucesso.

De forma a preparar o desenvolvimento da aplicação de análise de desempenho da rede BT, foram revistos os conceitos das Redes Elétricas de Distribuição em geral e das Redes Elétricas Inteligentes em particular, incluindo uma apresentação do projeto Inovgrid. Por serem fundamentais para os objetivos do estágio em termos do desempenho da rede BT, foram analisados com detalhe os equipamentos que integram a infraestrutura Inovgrid, bem como o tipo de comunicações utilizadas, os serviços permitidos e os sistemas de informação de gestão de suporte.

Foi efetuado um estudo teórico das metodologias envolvidas no processo de desenvolvimento da aplicação de análise de comportamento da rede BT, sendo descrita em detalhe a metodologia selecionada e a definição dos indicadores que conformam o indicador global do estado da rede que foi desenvolvido. Foram estudadas e descritas as ferramentas de BI usadas para a análise e desenvolvimento da aplicação. A partir do estudo teórico realizado, as análises e cálculos foram otimizados progressivamente.

O processo de criação da ferramenta automática ilustrativa do estado da rede BT foi dividido em cinco etapas, incluindo a definição e explicação dos indicadores e os métodos necessários para a construção do indicador global de estado. Foi ainda desenvolvida uma sequência de processamento posterior usando as várias ferramentas de *software* necessárias para a criação do *dashboard* e relatórios finais.

Analizou-se o comportamento das redes correspondentes aos concelhos de

Coimbra e Marinha Grande, através da aplicação automática desenvolvida, em tempo real. Através do sistema da EDP Distribuição, e a partir dos resultados conseguidos através da ferramenta de SAS VA, é possível retirar conclusões do estado das redes indicadas.

Dos conhecimentos adquiridos no desenvolvimento do estágio, destacam-se os relacionados com a estrutura e operação da rede BT, com a área da matemática relativa aos métodos de ponderação e os relacionados com a área da *Business Intelligence*, relativa ao tratamento dos dados recolhidos.

6.2 Propostas de desenvolvimento futuro

Em termos de desenvolvimentos futuros pode-se propor complementar o trabalho desenvolvido nos aspetos que não foi possível avançar mais neste trabalho. Nos objetivos iniciais do Estágio pretendia-se a criação de uma aplicação automática que permitisse monitorizar o comportamento para todas as redes em Portugal. Este objetivo não pôde ser atingido na sua totalidade pelas limitações na recolha de informação a partir da interrupção no acesso ao sistema da EDP Distribuição.

Como desenvolvimento futuro, pode-se expandir o território analisado a todo o país. Sendo assim, a ferramenta poderá ser útil a todos os ORD que trabalham na área e necessitem de identificar o estado das redes à sua responsabilidade. Para este fim, seria necessário classificar todas as redes a partir das dimensões que as caracterizam. Isto porque não é comparável uma rede com uma pequena quantidade de EBs com outra rede com uma muito maior quantidade. Em termos dos resultados obtidos e descritos na Etapa 5 do Capítulo 5, estes não puderam ser atualizados a partir de certa fase, pelo que não podem ser considerados como definitivos. Por conseguinte, em termos dos métodos utilizados para obter o indicador global do estado da rede, não foi possível tirar uma conclusão definitiva acerca de qual método seria o mais adequado para a construção deste indicador.

Outro projeto futuro poderia consistir em desenvolver uma ferramenta semelhante, que realizasse predições sobre o estado futuro da rede com base nos dados registados anteriormente. Utilizando os dados armazenados poderia ser desenvolvido um algoritmo capaz de fazer predições sobre o comportamento futuro da rede, o que seria muito útil para os ORD, permitindo antecipar possíveis problemas nas redes.

Referências

- [1] EDP Distribuição. «EDP Distribuição - Quem somos». Em: (Acedido em: 19-09-2020). Documento disponível em: <https://www.edpdistribuicao.pt/en/about-us/who-we-are> [Online].
- [2] EDP Distribuição. «Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público». Em: *Guia técnico e logístico de boas práticas* 9 (2018, Acedido em: 27-06-2020).
- [3] A Guerrero. «Unidad 1. Configuración de los centros de transformación». Em: *Técnico en Instalaciones eléctricas y automáticas*. (Acedido em: 28-06-2020).
- [4] «Postos de transformação». Em: *eemt.pt* (2005, Acedido em: 15-06-2020).
- [5] EDP Distribuição. «Armarios de Distribuição». Em: *Materiais para derivações e entradas BT* (2007, Acedido em: 15-06-2020).
- [6] ERSE. «Glossário». Em: *ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos)* (Acedido em: 20-06-2020).
- [7] ERSE. «Guia de medição, leitura e disponibilização de dados». Em: *ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos)* (2015, Acedido em: 20-06-2020).
- [8] Karan Gandhi e Hari Om Bansal. «*Smart Metering in Electric Power Distribution System*». Em: *Electrical and Electronics Engineering Department Birla Institute of Technology and Science Pilani, India* (2017, Acedido em: 23-07-2020).
- [9] EDP FEUP. «Contagens de Energia Elétrica». Em: *Estágio Curricular no âmbito do Curso Licenciatura de Engenharia Electrotécnica e de Computadores* (Acedido em: 25-06-2020).
- [10] EDP Comercial. «Outros contadores de eletricidade». Em: *Contadores inteligentes* (Acedido em: 20-07-2020). Documento disponível em: <https://www.edp.pt/contadores-eletricidade/> [Online].
- [11] Vijay Devabhaktuni Soma Shekara Sreenadh Reddy Depuru Lingfeng Wang e Nikhil Gudi. «*Smart Meters for Power Grid - Challenges, Issues, Advantages and Status*». Em: (2013, Acedido em: 17-07-2020).
- [12] M-Bus. Documento disponível em: <https://m-bus.com/documentation> [Online] Acedido em: 16-03-2021.

-
- [13] AEC (*Asociación Española para la Calidad*). «*Smart Grids*». Em: AEC (Acedido em: 21-09-2020). <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/smart-grid> [Online].
- [14] Pierluigi Siano. «*Demand response and smart grids — A survey*». Em: *Department of Industrial Engineering, University of Salerno, Italy* (2013, Acedido em: 20-09-2020).
- [15] «*Smart Grid the New and Improved Power Grid: A survey*». Em: *IEEE Communications Surveys and Tutorials* (2012, Acedido em: 23-09-2020).
- [16] *Global Electricity*. «Diferencias entre *Smart Grids* y Redes Eléctricas Convencionales». Em: *Global Electricity - Electricidad y Energía* (2013, Acedido em: 12-09-2020).
- [17] EDP Distribuição. «Projeto Inovgrid». Em: *EDP Distribuição - Inovação* (2018, Acedido em: 11-07-2020).
- [18] António Aires Messias. «Redes Inteligentes de Energia – Smart Grids». Em: *9.º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Electrotécnica* (2009, Acedido em: 15-09-2020).
- [19] KEMA. «Estudo sobre contadores inteligentes de electricidade e de gás natural Relatório 1E/G: Situação actual e experiência com projectos-piloto em Portugal». Em: *KEMA* (2012, Acedido em: 26-08-2020).
- [20] EDP. «Évora *Inovcity*». Em: *EDP - Histórias* (Acedido em: 26-08-2020).
- [21] EDP Distribuição. «Novos Equipamentos - *Energy Box*». Em: *EDP Distribuição* (Acedido em: 18-07-2020).
- [22] EDP Distribuição. «Novos Equipamentos - Que equipamentos estão a ser instalados?» Em: *EDP Distribuição* (Acedido em: 21-08-2020).
- [23] EDP Distribuição. «Formação de Instalação de EDP Box e DTC (PPT)». Em: *EDP Distribuição* (Acedido em: 21-08-2020).
- [24] Sagemcom. «CX1000-6 ES Contador de telegestión monofásico PLC PRIME para uso residencial Manual de Usuario “CIDE/ARKOSSA”». Em: (Acedido em: 10-09-2020).
- [25] *SmartGate* Efacec. «Controlador inteligente - Concentrador de contadores». Em: *Efacec* (Acedido em: 03-08-2020).
- [26] «DEF-C98-405/N Automação, proteção, comando, controlo e comunicações - Controlador de Transformador de Distribuição para instalação em Postos de Transformação MT/BT». Em: (Acedido em: 17-07-2020).

-
- [27] Olga Weis. «¿Qué es Ethernet y cómo funciona?» Em: *Electronic Team Publishing* (2020). Documento disponível em: TeXstudio [Online] Acedido em: 29-09-2020.
- [28] Jason Kelly. «RS-485 Serial Interface Explained». Em: *CUI DEVICES* (Acedido em: 28-09-2020). Documento disponível em: <https://www.cuidevices.com/blog/rs-485-serial-interface-explained> [Online].
- [29] *Prime Alliance Technical Working Group*. «*PRIME v1.4 White Paper*». Em: *Prime Alliance* (Acedido em: 28-07-2020).
- [30] João Torres. «Redes Inteligentes Informação e gestão do sistema em tempo real». Em: *EDP Distribuição* (2014, Acedido em: 25-06-2020).
- [31] «DMA-C98-405/N Automação, Proteção, Comando, Controlo e Comunicações - Controlador de Transformador de Distribuição para instalação em Postos de Transformação MT/BT». Em: (2014, Acedido em: 25-07-2020).
- [32] Gregory Piatetsky-Shapiro Usama Fayyad e Padhraic Smyth. «The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data». Em: *Communications of the ACM* 39 (1996, Acedido em: 29-05-2020).
- [33] Carlos Alberto Chica-Salgado. «Modelo matemático multicriterio para coadyuvar a la toma de decisiones en la selección de alternativas en Pymes». Em: *Academia.edu* (2013, Acedido em: 08-05-2020).
- [34] Ewa Roszkowska. «Rank Ordering Criteria Weighting Methods – A Comparative Overview». Em: *Researchgate* (2013, Acedido em: 06-05-2020).
- [35] «APPENDIX F Procedures for Determining the Weights of Selection Factors in the Weighted-Matrix Delivery Decision Approach (Tier 2)». Em: (Acedido em: 06-05-2020).
- [36] ODU. G.O. «Weighting methods for Multicriteria Decision Making Technique». Em: *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Delta State University, Abraka* 23 (2019, Acedido em: 21-07-2020).
- [37] Deloitte Consulting LLP Prashant Pant. «Business intelligence (BI) How to build successful BI strategy». Em: *Deloitte* (Acedido em: 25-07-2020).
- [38] Sandra Durcevic. «The Role Of Data Warehousing In Your Business Intelligence Architecture». Em: *The datapine Blog* (2019, Acedido em: 24-07-2020).

-
- [39] SAS. Documento disponível em: https://www.sas.com/es_es/company-information/profile.html [Online] Acedido em: 05-10-2020.
- [40] SAS. «SAS Enterprise Guide Delivering the power of SAS Analytics and reporting from an easy-to-use, point-and-click Windows interface». Em: *SAS* (Acedido em: 06-10-2020,).
- [41] SAS. «SAS Visual Analytics Business visualization: Dashboards, reporting and approachable analytics – all from one interface». Em: *SAS* (Acedido em: 24-09-2020).