



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

**Serviços e Operações das Redes Inteligentes:
Inovgrid - Qualidade e Desempenho
– Estágio na EDP Distribuição**

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Área de Especialização em Automação e
Comunicações em Sistemas de Energia

Autora

Ana Rita Catalão Machado

Orientadores

Doutor Fernando José Pimentel Lopes

Doutor Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira

Professores do Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Engenheiro Valter Gomes dos Santos

EDP Distribuição S.A.

Coimbra, agosto, 2018

AGRADECIMENTOS

O trajeto efetuado na frequência do estágio na EDP Distribuição e na elaboração deste relatório não seria possível sem a colaboração de várias pessoas que me acompanharam ao longo desta etapa e sem as quais nada disto seria possível.

Agradeço à EDP Distribuição por ter proporcionado a realização deste estágio. Em particular ao Eng. Valter Gomes dos Santos, por ter estado sempre disponível e por toda a paciência demonstrada ao longo do estágio, bem como por todos os ensinamentos transmitidos que transcenderam os necessários à realização do estágio. Agradeço aos restantes elementos da Área, por toda a ajuda e disponibilidade, em especial ao Eng. Jorge Seiça, Eng. José Gonçalves e Luís Miguel.

Agradeço ao Professor Doutor Fernando Lopes, por me ter orientado sabiamente, por ter acreditado no meu trabalho e por todos os conhecimentos transmitidos. Bem como ao Professor Doutor Carlos Ferreira por me ter acompanhado desde o início neste estágio.

Agradeço às pessoas fantásticas com quem todos os dias me cruzei na EDP, e que tiveram um papel muito importante na realização deste trabalho e no meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos meus pais e irmão, sem eles nada disto seria possível. Em particular à minha mãe por toda a compreensão e por ter “aturado” todo o meu *stress*, e ainda assim ter estado sempre pronta para me apoiar e motivar.

Quero ainda agradecer à restante família e amigos que me acompanharam ao longo desta etapa. Aos meus primos, que sempre me receberam e apoiaram. Aos meus colegas de casa por toda a ajuda. Aos amigos mais próximos, com quem havia sempre tempo para uma conversa ou um café, e contribuíram de forma tão positiva para a realização deste trabalho.

A todas estas pessoas, o meu sincero obrigado.

Ana Rita Catalão Machado

RESUMO

O sistema de distribuição de energia elétrica encontra-se em fase de transição com a implementação de redes de distribuição inteligentes. Fatores como preocupações de sustentabilidade ambiental, melhoria na qualidade do fornecimento de energia, incentivo ao papel ativo do consumidor e alterações no mercado europeu de energia, criaram novos desafios que foram acompanhados por novas diretivas e alterações regulatórias.

A EDP Distribuição tem desenvolvido desde 2007 o Projeto Inovgrid com o objetivo de implementar as infraestruturas e as transformações associadas ao novo paradigma das redes de distribuição inteligentes.

Os principais equipamentos que compõem a infraestrutura Inovgrid são os DTCs (do Inglês, *Distribution Transformer Controller*) e as EBs (do Inglês, *Energy Box*) que vêm substituir os atuais contadores de energia. Com a progressiva instalação e integração destes equipamentos na rede, torna-se importante o estudo detalhado e análise do seu desempenho, possibilitando assim uma melhor gestão destes ativos.

Face a este novo paradigma, criaram-se os desafios que motivaram a realização deste estágio, centrando-se os mesmos no estudo da infraestrutura Inovgrid, comunicações e sistemas, e no desenvolvimento de uma metodologia capaz de dar resposta à análise do desempenho dos equipamentos existentes na infraestrutura.

Para a análise do desempenho dos equipamentos definiram-se indicadores com base na disponibilidade, eficácia e operacionalidade dos mesmos. Criou-se um modelo de dados que permitisse calcular estes indicadores e, utilizando ferramentas de BI (do Inglês, *Business Intelligence*), aplicou-se uma metodologia de análise de decisão que desse resposta aos objetivos estabelecidos e que se ajustasse às necessidades da organização.

Por fim, escolheram-se alguns casos de estudo com o objetivo de validar a metodologia utilizada e retirar algumas conclusões acerca do desempenho da infraestrutura, tendo em conta diversas variáveis como, marca, modelo, tecnologia de comunicações, quantidade de equipamentos instalados, entre outras.

Desta forma, pretendeu dar-se a capacidade ao utilizador/colaborador de visualizar e fazer uma interpretação da informação disponível de forma a transformá-la em conhecimento útil à gestão dos ativos e ao negócio global, facilitando tomadas de decisão e permitindo a identificação e solução de problemas com uma maior eficiência operacional.

Palavras-chave: Redes Inteligentes, Contadores Inteligentes, Indicadores de Desempenho, *Knowledge Discovery in Database*, *Business Intelligence*

ABSTRACT

The electricity distribution system is currently in a transition phase with the implementation of intelligent distribution networks. Factors such as environmental sustainability concerns, improvement of the quality of energy supply, encouraging the active role of the consumer and changes in the European energy market have created new challenges that have been accompanied by new directives and regulatory changes.

Since 2007, EDP Distribuição has developed the Inovgrid Project with the objective of implementing infrastructures and transformations associated with the new paradigm of intelligent distribution networks.

The main equipment that makes up the Inovgrid infrastructure is the DTC (Distribution Transformer Controller) and the EB (Energy Box) that replace the current energy meters. With the progressive installation and integration of these devices, it becomes important the detailed study and analysis of their performance to allow for a better management of these assets.

Given this new paradigm, the challenges that led to this internship were created, focusing on the study of the Inovgrid infrastructure, communications and systems, and on the development of a methodology capable of responding to the analysis of the performance of equipment existing in the infrastructure.

For the analysis of equipment performance, indicators were defined based on their availability, effectiveness and operability. A data model was created that allowed to calculate these indicators and, using BI (Business Intelligence) tools, a methodology of decision analysis was applied, that could respond to the established objectives and that could be adjusted to the needs of the organization.

Finally, some case studies were chosen, in order to validate the used methodology and draw some conclusions about the performance of the infrastructure, taking into account several variables such as brand, model, communications technology, quantity of installed equipment, and others.

In this way, it was intended to provide the user/employee with the ability to visualize and interpret the available information, in a way that makes it useful knowledge to asset management and to the global business, facilitating decision making, as well as identifying and solving problems, with greater operational efficiency.

Key-words: Smart Grids, Smart Metering, Performance Indicators, Knowledge Discovery in Database, Business Intelligence

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xv
ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xvii
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 Conceitos de Rede	5
2.2 Níveis de Tensão em BT e Potências Normalizadas	6
2.3 Elementos de Rede BT	7
2.3.1 Postos de Transformação	7
2.3.2 Portinholas.....	8
2.3.3 Caixa de Contagem	8
2.3.4 Disjuntor Limitador de Potência	8
2.3.5 Caixas de Distribuição	8
2.3.6 Ramais.....	9

2.3.7 Armários de Distribuição.....	9
2.4 Estruturas de Rede BT.....	9
2.4.1 Redes Aéreas	10
2.4.2 Redes Subterrâneas.....	10
2.4.3 Pontos de Fronteira.....	10
2.5 Exemplo de Rede BT	11
2.5.1 Zona Rural	11
2.5.2 Zona Urbana	12
2.6 Medição da Energia Elétrica	13
2.6.1 Contador	14
2.6.1.1 Contadores Eletromecânicos.....	14
2.6.1.2 Contadores Estáticos.....	15
2.6.2 Tipo de Leitura	16
2.6.3 Grandezas a medir ou a calcular.....	16
2.6.4 Dispositivos Controladores de Potência.....	17
3 Redes Elétricas Inteligentes – Infraestrutura Inovgrid	19
3.1 Rede Elétrica Inteligente – Descrição geral	19
3.2 Projeto Inovgrid.....	19
3.2.1 Arquitetura técnica e de comunicações	20
3.2.2 Componentes da Infraestrutura.....	21
3.2.3 Principais benefícios para os <i>Stakeholders</i> e para a sociedade.....	22
3.2.4 Inovcity	23
3.3 Infraestrutura técnica Inovgrid	25
3.3.1 <i>Energy Box</i>	25
3.3.2 <i>Distribution Transformer Controller</i>	27
3.3.2.1 Principais funções e características.....	28

3.3.2.2	Protocolos de comunicações.....	28
3.3.2.3	Instalação.....	29
3.3.3.	Arquitetura de comunicações.....	29
3.3.3.1	PLC PRIME.....	31
3.3.3.2	GPRS.....	32
3.3.3.3	RF Mesh.....	33
4	Metodologia de análise de desempenho de equipamentos.....	35
4.1	Problema proposto.....	35
4.2	Processo de <i>Knowledge Discovery in Database</i>	35
4.1.1	Prospecção de dados.....	36
4.3	Método de apoio à decisão multicritério.....	37
4.4	Descrição e estruturação da metodologia adotada.....	39
4.4.1	Etapa 1: Aquisição de conhecimento – Definição de indicadores.....	40
4.4.1.1	Árvore de Valores para a análise do DTC.....	42
4.4.1.2	Árvore de Valores para a análise da EB.....	46
4.4.1.3	Variáveis a comparar.....	49
4.4.2	Etapa 2: Seleção e pré-processamento dos dados.....	52
4.4.2.1.	Arquitetura de BI e acesso às bases de dados.....	53
4.4.2.2.	Ferramentas de tratamento e visualização de dados.....	55
4.4.2.3	Modelos de dados e seleção de dados.....	58
4.4.2.4	Caracterização da amostra.....	67
4.4.2.5	Criação das tabelas e pré-processamento dos dados.....	72
4.4.3	Etapa 3: Prospecção dos dados - Processo de Apoio à Decisão Multicritério.....	74
4.4.3.1	Cálculo dos indicadores.....	74
4.4.3.2	Aplicação do método de Apoio à Decisão Multicritério.....	77
4.4.3.3	Desenvolvimento do <i>dashboard</i>	87
4.4.4	Etapa 4: Interpretação e conclusões.....	91
4.4.4.1	Classificação de desempenho por DTCs.....	92
4.4.4.2	Desempenho dos DTCs por segmentação.....	96

4.4.4.3 Desempenho das EBs por segmentação.....	99
5 Conclusões e Propostas de Desenvolvimentos Futuros.....	103
5.1 Conclusões.....	103
5.2 Trabalho Futuro.....	105
Referências.....	107
Anexos	113
Anexo A.1	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Organigrama da Direção de Operações Inovgrid.....	2
Figura 2.1 - Fluxo energético desde a produção até ao consumidor [2].....	5
Figura 2.2 -Tipos de Instalações a ligar em BT [2].....	9
Figura 2.3 - Ponto de fronteira entre a Rede Pública e a Instalação particular do tipo BTN [2]	10
Figura 2.4 - Exemplo de rede BT em zona rural, visualização através de SIT	12
Figura 2.5 - Exemplo de Rede BT em zona urbana, visualização através de SIT.....	13
Figura 2.6 - Exemplo de contador eletromecânico [8].....	15
Figura 2.7 - Exemplo de contador estático [8]	15
Figura 3.1 - Fatores impulsionadores nas redes inteligentes (adaptado de [13])	20
Figura 3.2 - Arquitetura do projeto Inovgrid (adaptado de [14])	21
Figura 3.3 – Principais benefícios das <i>Smart Grids</i> por <i>Stakeholder</i> (adaptado de [13])	23
Figura 3.4 - Localização do projeto InovCity em Portugal (adaptado de [14]).....	24
Figura 3.5 - Segunda fase do projeto Inovgrid (adaptado de [16]).....	25
Figura 3.6 - Exemplo de EB com respetivos elementos (adaptado de [18])	26
Figura 3.7 - Exemplo de um DTC [18]	27
Figura 3.8 - Arquitetura de comunicações num PT (adaptado de [21])	30
Figura 4.1 – Processo de KKD (adaptado de [29]).....	36
Figura 4.2 - Estruturação da metodologia de apoio à decisão multicritério (adaptado de [32])	38
Figura 4.3 - Estruturação da metodologia desenvolvida no estágio	39
Figura 4.4 - Árvore de valores para análise de desempenho - DTC.....	43
Figura 4.5 - Árvore de valores para análise de desempenho - EB.....	47

Figura 4.6 - Esquema geral do processo de apresentação de dados em bases de dados	53
Figura 4.7 - Representação genérica da arquitetura de BI presente na organização.....	54
Figura 4.8 - Janela de <i>software</i> SAS Guide - Interface <i>workflow</i> [38]	56
Figura 4.9 - Janela de plataforma SAS VA, exemplo de <i>dashboard</i> [40]	57
Figura 4.10 - Etapas para o desenvolvimento de um modelo de dados (adaptado de [41])	58
Figura 4.11 - Sistemas utilizados para a criação dos modelos de dados.....	59
Figura 4.12 - Diagrama de dependências funcionais da tabela - Desempenho DTC.....	61
Figura 4.13 - Modelo Entidade-Relacionamento - Desempenho DTC.....	63
Figura 4.14 - Diagrama de dependências funcionais da tabela - Desempenho EB	64
Figura 4.15 - Modelo Entidade-Relacionamento - Desempenho EB.....	65
Figura 4.16 - Modelo Entidade-Relacionamento - Geral sub-rede	66
Figura 4.17 - Distribuição de DTCs da amostra, por tecnologia de comunicações	67
Figura 4.18 - Distribuição de EBs da amostra, por marca	68
Figura 4.19 - Quantidade de DTCs instalados, por ano de instalação de PT	69
Figura 4.20 - Quantidade de DTCs instalados, por distância total dos troços afetos ao PT	70
Figura 4.21 - Percentagem de EBs PRIME por clientes BTN	71
Figura 4.22 - Distância do PE ao PT.....	71
Figura 4.23 - Secção do <i>workflow</i> em SAS guide para o modelo de dados: desempenho DTC	72
Figura 4.24 - <i>Workflow</i> completo da implementação do modelo de dados: desempenho EB .	73
Figura 4.25 - <i>Workflow</i> completo da implementação do modelo de dados: Geral sub-rede ...	73
Figura 4.26 - Janela da plataforma SAS VA, seleção de fonte de dados.....	75
Figura 4.27 - Janela da plataforma SAS VA, edição de medida agregada - % de serviços realizados com sucesso	75
Figura 4.28 - Níveis de valores atribuídos ao indicador: tempo médio de realização de serviços (DTC).....	78

Figura 4.29 - Janela da plataforma SAS VA, edição de medida agregada – Atribuição de níveis de valores a item de dados: Tempo médio de realização de serviços.....	78
Figura 4.30 - Níveis de valores atribuídos ao indicador: tempo médio para a recolha de leituras (DTC)	79
Figura 4.31 - Janela da plataforma SAS VA, edição de medida agregada – Atribuição de níveis de valores a item de dados: Tempo médio para a recolha de leituras	80
Figura 4.32 - Ordenação de indicadores por criticidade (DTC).....	81
Figura 4.33 - Cálculo do desempenho por equipamento em SAS VA, com base nos indicadores e respetivos coeficientes de ponderação (DTC)	83
Figura 4.34 - Ordenação de indicadores por criticidade (EBs)	84
Figura 4.35 - Cálculo do desempenho por equipamento em SAS VA, com base nos indicadores e respetivos coeficientes de ponderação (EBs).....	87
Figura 4.36 - Exemplos de gráficos disponibilizados no SAS VA (adaptado de [40]).....	88
Figura 4.37 – Exemplos de mapas disponibilizados no SAS VA (adaptado de [40]).....	89
Figura 4.38 - Exemplos de medidores disponibilizados no SAS VA (adaptado de [40]).....	89
Figura 4.39 - <i>Dashboard</i> desenhado em SAS VA	90
Figura 4.40 - Janela de informação correspondente ao um DTC no <i>dashboard</i>	91
Figura 4.41 - Tabela ordenada com desempenhos dos DTCs e janela de informação relativa ao DTC com melhor desempenho (RE 1)	92
Figura 4.42 - Distribuição de marcas de EBs pelo DTC com RE 1	93
Figura 4.43 – Representação do PT e respetiva sub-rede utilizando SIT.....	94
Figura 4.44 - Janela de informação relativa ao DTC com pior desempenho (RE 49).....	95
Figura 4.45 - Janela de informação relativa ao DTC com RE 48.....	96
Figura 4.46 - Gráfico do <i>dashboard</i> que relaciona o desempenho dos DTCs com a tecnologia de comunicações e a marca do DTC	97
Figura 4.47 - Gráfico do <i>dashboard</i> que relaciona o desempenho dos DTCs com %EBs PRIME por clientes BTN e a densidade de EBs PRIME (apenas tecnologia de comunicações PLC PRIME).....	98

Figura 4.48 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho dos DTCs com a quantidade de EBs e a %EBs PRIME por clientes BTN (apenas tecnologia de comunicações PLC PRIME) 98

Figura 4.49 - Gráfico construído em R Studio que relaciona o desempenho do DTC por quantidade de EBs Registradas (apenas para tecnologia de comunicações PLC PRIME) 99

Figura 4.50 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com a marca e modelo 100

Figura 4.51 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com o modelo da EB e do DTC 100

Figura 4.52 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com a sua distância ao DTC 101

Figura 4.53 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com a marca dos DTCs e o modelo da EB 101

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Constituição das redes de distribuição (adaptado de [2]).....	6
Tabela 2.2 - Escalões das potências contratáveis em Baixa Tensão Normal (adaptado de [2]).	7
Tabela 3.1 - Protocolo de comunicações DTC [19]	29
Tabela 4.1 - Variáveis a comparar por equipamento e filtro a aplicar	50
Tabela 4.2 - Distribuição de EBs da amostra, por tecnologia de comunicações.....	68
Tabela 4.3 – Comparação entre variáveis para DTCs instalados com distância total dos troços da sub-rede (os 3 valores menores e os 3 valores mais elevados da amostra)	70
Tabela 4.4 – Exemplo da informação dos indicadores calculados (valores médios) em SAS VA por equipamento (DTC).....	76
Tabela 4.5 - Pontos atribuídos a cada indicador (DTC)	81
Tabela 4.6 - Coeficientes de ponderação (K) por indicador (DTC)	82
Tabela 4.7 - Pontos atribuídos a cada indicador (EBs).....	84
Tabela 4.8 - Coeficientes de ponderação (K) para 5 indicadores (EBs).....	85
Tabela 4.9 - Coeficientes de ponderação (K) para 4 indicadores (EBs).....	86

ABREVIATURAS E SIGLAS

1FN	<i>Primeira Forma Normal</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
AT	Alta Tensão
BA	<i>Business Analytics</i>
BB	<i>BroadBand</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
BTN	Baixa Tensão Normal
CIL	Código de Identificação Local
COSEM	<i>COmpanion Specification for Energy Metering</i>
CPE	Código do Ponto de Entrega
CSV	<i>Comma Separated Values</i>
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
DCP	Dispositivo Controlador de Potência
DM	<i>Data Marts</i>
DW	<i>Data Warehouse</i>
DTC	<i>Distribution Transformer Controller</i>
EB	<i>Energy Box</i>
EDP	Energias de Portugal
ER	Entidade - Relacionamento

ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETL	<i>Extract Transform Load</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications, Groupe Spécial Mobile</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
ICP	Interruptor Controlador de Potência
IP	<i>Internet Protocol</i>
KDD	<i>Knowledge Discovery in Database</i>
K-NN	<i>K-Nearest Neighbors</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
NB	<i>NarrowBand</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MD	Modelo de Dados
MDU	Modelo de Dados Unificado
MT	Média Tensão
ODS	<i>Operational Data Store</i>
ORD	Operador da Rede de Distribuição
OS	Ordem de Serviço
PE	Ponto de Entrega
PL	Ponto de Ligação
PLC	<i>PowerLine Communications</i>
PRIME	<i>Powerline Intelligent Metering Evolution</i>
PT	Ponto de Transformação

PV	Ponto de Vista
PVF	Ponto de Vista Fundamental
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QoS	<i>Quality of Service</i>
RE	Referência Externa
RF	Rádio Frequência
RND	Rede Nacional de Distribuição
RND	Rede Nacional de Distribuição
RNT	Rede Nacional de Transporte
RRC	Regulamento de Relações Comerciais
SA	<i>Staging Area</i>
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
SEE	Sistema de Energia Elétrico
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SI	Sistemas de Informação
SIT	Sistema de Informação Técnica
SMEE	Sistema de Medição de Energia Elétrica
SQL	<i>Structured Query Language</i>
UNB	<i>Ultra-NarrowBand</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TAN	<i>Transformer Area Network</i>
VA	<i>Visual Analytics</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

1 Introdução

Neste capítulo faz-se uma introdução ao presente Relatório de Estágio, a começar pela apresentação da empresa na qual o estágio se inseriu.

De seguida é descrita a motivação e enquadramento para a realização do estágio bem como os objetivos a alcançar.

Por fim descreve-se a organização do Relatório de Estágio por capítulos.

1.1 Apresentação da empresa

A EDP Distribuição é uma empresa 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 enquadrado o presente estágio designa-se por Direção de Operações Inovgrid e tem como objetivos principais: assegurar a implementação das redes inteligentes; a gestão dos ativos de medição e as operações e serviços associados garantindo a adequada recolha e disponibilização dos dados dos consumos; assegurar a gestão dos ativos de medição de energia da empresa e garantir a transição para uma plataforma de redes inteligentes; promover a integração das funcionalidades 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*.

Como tal, este departamento está afeto às seguintes atribuições:

- Gerir os ativos de medição e de *Smart Grids* associados;
- 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 1.1 apresenta-se o organigrama da Direção de Operações Inovgrid, e assinala-se a vermelho a área onde o estágio foi inserido: “Programação, Controlo e Apoio à Gestão”.

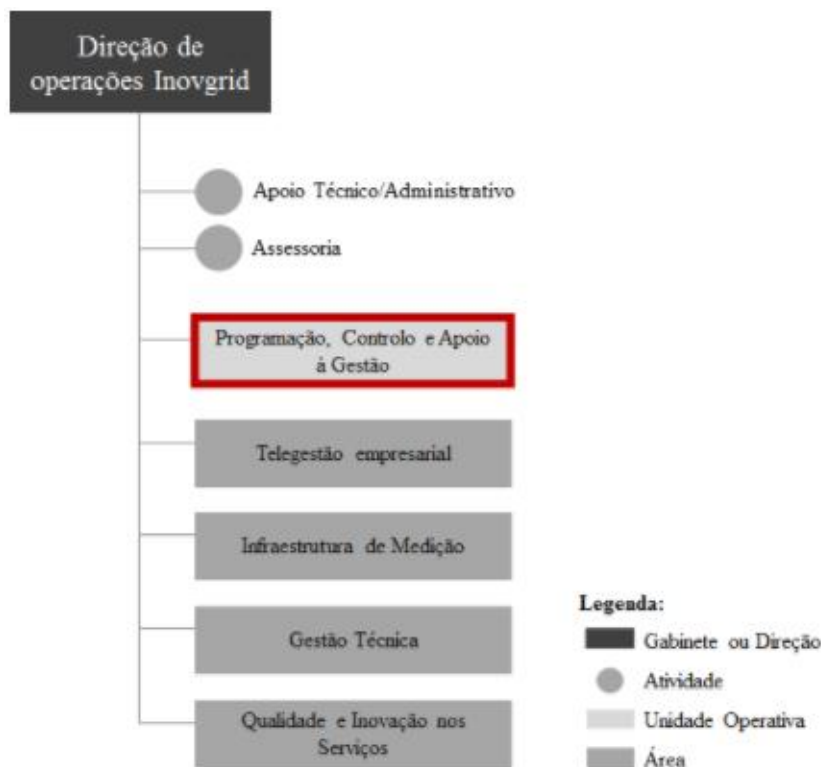


Figura 1.1 Organigrama da Direção de Operações Inovgrid

1.2 Motivação e enquadramento

O sistema de distribuição de energia elétrica encontra-se em fase de transição com a implementação de redes de distribuição inteligentes.

Fatores como preocupações de sustentabilidade ambiental e maior penetração de fontes de energia renovável distribuída, melhoria na qualidade do fornecimento de energia e aumento de *players* no mercado, incentivo ao papel ativo do consumidor e alterações no mercado europeu, nomeadamente a liberalização do mercado de energia, levaram a novos desafios acompanhados de novas diretivas e maiores exigências regulatórias e de transparência.

Os desafios que têm vindo a surgir prendem-se essencialmente com o aumento da complexidade de operação da rede e a exigência de uma maior eficiência operacional. As redes inteligentes são uma realidade que pretende dar resposta a estes desafios, tendo a EDP Distribuição desenvolvido desde 2007 o projeto Inovgrid com o objetivo de implementar as infraestruturas e as transformações associadas ao novo paradigma das redes de distribuição.

Com a implementação do projeto Inovgrid e com a sua massificação aumenta também o número de dados e informação. Assim, é importante ter capacidade para gerir e analisar grandes

volumes de informação e a utilização de ferramentas e sistemas capazes de gerir o aumento da complexidade da rede torna-se imprescindível.

Face a esta necessidade, criaram-se os desafios que motivaram a realização deste estágio. Dada a elevada quantidade de informação a ser recolhida de rede e dos equipamentos, foi necessário desenvolver uma metodologia de extração de informação das bases de dados, capaz de dar resposta à análise do desempenho da infraestrutura Inovgrid e equipamentos nela existentes, tendo em conta vários fatores como as diferentes tecnologias de comunicações, marcas e modelos, e outros que pudessem ter influência nesse desempenho. Para esta análise foi necessário estudar toda a infraestrutura Inovgrid e a definição de indicadores que permitissem o cálculo destes desempenhos.

1.3 Objetivos do Estágio

O presente trabalho teve por objetivo aprofundar a formação do estagiário 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, e 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 Operações Inovgrid 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 que se criasse uma metodologia capaz de dar resposta à análise do desempenho dos equipamentos existentes na infraestrutura, ou seja, dos DTCs (do Inglês, *Distribution Transformer Controller*) e as EBs (do Inglês, *Energy Box*), do qual fez parte um conjunto de etapas.

Para a análise do desempenho dos equipamentos definiram-se indicadores com base na disponibilidade, eficácia e operacionalidade dos mesmos. Criou-se um modelo de dados que permitisse calcular estes indicadores e utilizando ferramentas de BI (do Inglês, *Business Intelligence*) aplicou-se uma metodologia de análise de decisão que desse resposta aos objetivos estabelecidos e que se ajustasse às necessidades da organização.

Por fim, escolheram-se alguns casos de estudo com o objetivo de validar a metodologia utilizada e retirar algumas conclusões acerca do desempenho da infraestrutura, tendo em conta diversas variáveis como, marca, modelo, tecnologia de comunicações, quantidade de equipamentos instalados, etc.

Desta forma, pretendeu dar-se a capacidade ao utilizador/colaborador de visualizar e fazer uma interpretação da informação de forma a transformá-la em conhecimento útil à gestão dos ativos e ao negócio global, facilitando tomadas de decisão, bem como identificação e solução de problemas, com uma maior eficiência operacional.

A metodologia adotada teve como objetivo a possibilidade de alargamento deste método a toda a rede Inovgrid instalada, de forma a contribuir para o aumento da capacidade de análise da infraestrutura Inovgrid, nomeadamente da análise do seu desempenho.

1.4 Organização do Relatório

A estrutura do Relatório de Estágio foi organizada de acordo com o descrito nos objetivos. O documento encontra-se dividido em 4 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 apresentado um breve enquadramento do trabalho e dos temas a serem analisados ao longo do documento, bem como uma descrição da empresa e do departamento no qual se inseriu o estágio.

No Capítulo 2 são apresentados alguns conceitos de Redes Elétricas de Distribuição de forma a contextualizar os capítulos seguintes.

No Capítulo 3 é feita uma abordagem às Redes Elétricas Inteligentes, e mais concretamente ao projeto Inovgrid. 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 é descrita a metodologia de decisão utilizada para análise da avaliação de desempenho, de disponibilidade e operacionalidade da infraestrutura Inovgrid. De acordo com a metodologia escolhida, é inicialmente descrita a sua estruturação e de seguida são definidos os indicadores a utilizar. É descrito o processo da criação do modelo de dados para a obtenção dos indicadores, e por fim são descritas as ferramentas de BI usadas para a análise. A metodologia proposta é aplicada a um conjunto de redes e respetivos equipamentos, permitindo analisar a sua adequação aos objetivos definidos.

O Capítulo 5 termina este relatório com as conclusões do trabalho e algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

2 Rede Elétrica

De forma a enquadrar os capítulos seguintes é importante descrever como são estabelecidas as ligações às Redes Elétricas de Distribuição e alguns conceitos nos quais assenta a infraestrutura Inovgrid as descrições constantes neste capítulo são maioritariamente baseadas no Manual de Ligações à Rede Elétrica de Serviço Público [2].

2.1 Conceitos de Rede

Para a generalidade dos consumidores, o estabelecimento de ligações às redes revela-se de grande importância, uma vez que esta é uma condição prévia do acesso ao fornecimento de energia elétrica. Através de uma ligação à rede qualquer instalação elétrica, produtora ou consumidora, é integrada em exploração nas redes de transporte e distribuição de eletricidade tal como representado na Figura 2.1.

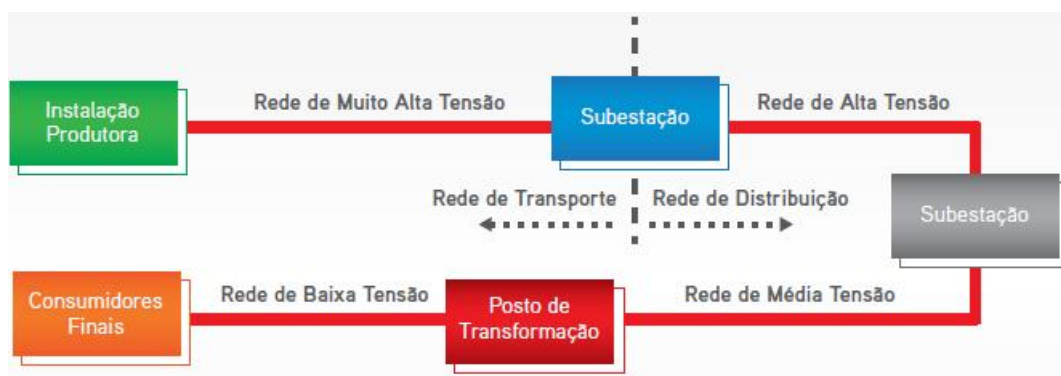


Figura 2.1 - Fluxo energético desde a produção até ao consumidor [2]

As instalações produtoras produzem eletricidade que é injetada nas redes elétricas de serviço público. De acordo com a potência instalada esta ligação pode ser feita diretamente com a Rede Nacional de Distribuição (RND) ou com a Rede Nacional de Transporte (RNT), sendo esta última apenas para potências superiores a 10 MVA.

Tanto a RND como a RNT apenas são operadas por entidades licenciadas para esse efeito.

É através das redes de distribuição que a transmissão da energia elétrica é feita desde que é recebida até às instalações dos consumidores e são constituídas pelos elementos indicados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Constituição das redes de distribuição (adaptado de [2])

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

A modernização e o reforço, quer das redes de distribuição, quer das redes de transporte é uma constante, não só pelo aumento na capacidade de satisfação de consumos, mas também por necessidades regulatórias que promovem o aumento da qualidade de serviço e a diminuição de perdas na rede. Desta forma, as redes devem ter a capacidade de se adaptar a estas evoluções.

No âmbito deste relatório, apenas será aprofundada a rede de BT (230 V entre fase e neutro e 400 V entre fases), ou seja, tudo o que existe desde o Posto de Transformação (PT) até aos consumidores finais.

2.2 Níveis de Tensão em BT e Potências Normalizadas

As ligações em BT dividem-se em Baixa Tensão Normal (BTN) e Baixa Tensão Especial (BTE) de acordo com o seu nível de potência contratada. A BT utiliza valores de tensão até 1 kV, sendo que, para valores até 41,4 kVA se considera BTN e para valores superiores se considera BTE.

Em BTN as potências contratadas estão normalizadas de acordo com os escalões da Tabela 2.2, quer para monofásico quer para trifásico. Para BTE não existem escalões, podendo-se contratar qualquer valor acima de 41,4 kW.

Tabela 2.2 - Escalões das potências contratáveis em Baixa Tensão Normal (adaptado de [2])

Monofásico		Trifásico	
P (kVA)	In (A)	P (kVA)	In (A)
1,15	5	6,90	3 x 10
2,30	10	10,35	3 x 15
3,45	15	13,80	3 x 20
4,60	20	17,25	3 x 25
5,75	25	20,70	3 x 30
6,90	30	27,60	3 x 40
10,35	45	34,50	3 x 50
13,80	60	41,40	3 x 60

2.3 Elementos de Rede BT

A rede elétrica de distribuição é composta por vários elementos. De seguida são apresentados alguns desses elementos e a sua respetiva função.

2.3.1 Postos de Transformação

É um posto destinado à transformação da corrente elétrica por um ou mais transformadores estáticos cujo secundário é de baixa tensão. É constituído essencialmente por três componentes [3]:

- Equipamentos de interrupção/seccionamento e proteção;
- Um ou mais transformadores, responsáveis pela transformação da tensão de média tensão para baixa tensão;
- Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), de onde partem os diversos ramais da rede BT.

Existem dois tipos de Postos de Transformação (PT) [4]:

- Em cabine, encerrado numa construção de alvenaria, eventualmente numa caixa metálica;
- Aéreos, suspenso em poste.

A instalação destes PT requer a confirmação de que o local escolhido tem as dimensões e acessibilidades necessárias para a boa exploração da instalação.

2.3.2 Portinholas

Por definição, a portinhola é o Quadro onde finda o ramal, de que faz parte, e que, em regra, contém os aparelhos de proteção geral contra sobreintensidades das instalações coletivas de edifícios ou entradas ligadas a jusante [5]. São usadas nas redes de distribuição de energia elétrica de baixa tensão, instaladas em locais de acesso público, normalmente confinantes com a via pública e funcionando, quando existentes, como elementos de fronteira entre essas redes e as instalações dos clientes de baixa tensão (BTN ou BTE), permitindo o seccionamento ou facilitando a interrupção do fornecimento de energia elétrica a essas instalações.

2.3.3 Caixa de Contagem

As caixas de contagem são utilizadas em qualquer edifício com uma ou mais instalações de utilização. A caixa de contagem deve ser colocada no exterior de modo a que seja facilmente acedida pelo distribuidor de energia, caso este necessite de efetuar leituras, verificações ou substituição do equipamento de medida e contagem [2].

2.3.4 Disjuntor Limitador de Potência

O Disjuntor Limitador de Potência destina-se a fazer o controlo da potência contratada (até 41,4 kVA). Este é colocado no interior da instalação e selado pelo distribuidor de energia sendo propriedade deste [2].

2.3.5 Caixas de Distribuição

Uma caixa de distribuição é um quadro destinado à distribuição de energia elétrica, dotado de invólucro, geralmente de pequenas dimensões e previsto para ser montado numa parede ou num muro.

Existem dois tipos, as que permitem a derivação de uma canalização protegida (ramal) a partir de uma canalização principal, e as que permitem a derivação de duas canalizações protegidas (ramais) a partir de uma canalização principal [2].

2.3.6 Ramais

Os ramais, por definição, são: uma canalização elétrica, sem qualquer derivação, que parte do quadro de um posto de transformação, do quadro de uma central geradora ou de uma canalização principal e termina numa portinhola, quadro de colunas ou aparelho de corte de entrada de uma instalação de utilização [5].

2.3.7 Armários de Distribuição

Os armários de distribuição utilizados em redes subterrâneas de baixa tensão, podem funcionar como elementos de interligação de redes, como proteção de linhas derivadas a partir de uma linha principal, ou como proteção de ramais, podendo combinar duas ou as três funções. Estes são compostos pelo maciço, invólucro, bastidor, fusíveis, etc. [2].

2.4 Estruturas de Rede BT

As redes BT são estabelecidas e exploradas radialmente e podem ser aéreas ou subterrâneas. A topologia da rede está normalmente associada à densidade de cargas a alimentar.

Existem vários tipos de instalações que se podem ligar à rede de distribuição em BT, podendo-se fazer uma distinção entre zona urbana e zona rural. A Figura 2.2 esquematiza essas hipóteses e as características de ligação [2].



Figura 2.2 -Tipos de Instalações a ligar em BT [2]

2.4.1 Redes Aéreas

Para zonas onde a densidade de cargas é baixa, esta é normalmente a topologia de rede utilizada. Por exemplo, em zonas rurais ou semi-urbanas.

As linhas podem ser em condutores nus ou isolados em feixe (cabo torçada) [4].

Da rede principal são derivados os ramais através de pontos de seccionamento, de forma a limitar eventuais perturbações e a reparação de avarias.

2.4.2 Redes Subterrâneas

Em zonas urbanas com potências instaladas elevadas as áreas de influência dos PTs são mais restritas, devido à alta densidade de carga. Esta potência é transferida por ramais diretos (do QGBT, do PTS) aos quadros de coluna.

As áreas sob influência de PTs distintos tocam-se nos seus limites. Quando é instalado um novo PT ocorre uma redistribuição de cargas normalmente necessária nos pontos de fronteira. Caso ocorram naturalmente têm que se garantir esses pontos de interligação nos armários de distribuição onde é estabelecido o novo seccionamento das redes, uma vez que a exploração é sempre radial.

2.4.3 Pontos de Fronteira

Considera-se como ponto de fronteira entre a rede de distribuição BT e a instalação de utilização o que está ilustrado na Figura 2.3, neste caso para BTN:

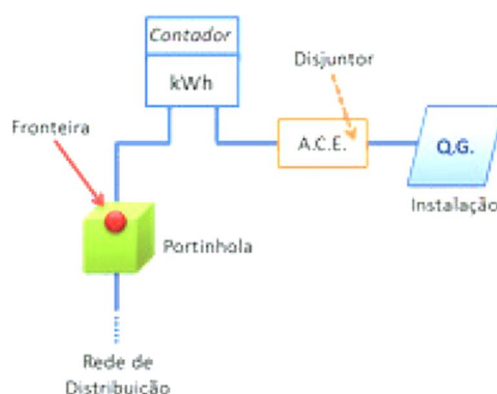


Figura 2.3 - Ponto de fronteira entre a Rede Pública e a Instalação particular do tipo BTN [2]

Com isto, nos prédios unifamiliares e outras instalações individuais em BTN, o ramal de alimentação, quer seja ligado a uma rede aérea ou subterrânea, terminará sempre num dos seguintes equipamentos:

- Portinhola;
- Caixa de contagem e proteção.

Em casos onde exista mais do que uma instalação de utilização, isto é, edifícios multifamiliares ou coletivos, a portinhola deve ser instalada na fachada exterior em local acessível ao operador, de forma a que a fronteira entre a rede de distribuição e a instalação seja no exterior. Nestes edifícios os contadores encontram-se instalados no interior em local de fácil acesso, no patamar de cada um dos pisos ou concentrados no vestíbulo de entrada.

2.5 Exemplo de Rede BT

Foram selecionados dois exemplos de redes BT, a primeira inserida numa zona rural e a segunda numa zona urbana. Em ambos os casos se pode observar pelo menos um troço de rede desde a instalação do PT até ao Ponto de Ligação (PL), e os vários elementos que constituem a rede.¹

2.5.1 Zona Rural

A Figura 2.4 representa um exemplo de uma rede de BT numa zona rural, ou seja, com baixa densidade de cargas. As ligações são feitas através de linhas aéreas.

¹ Exemplos retirados do Sistema de Informação Técnica (SIT) – EDP Distribuição, Sistema abordado no Capítulo 4.

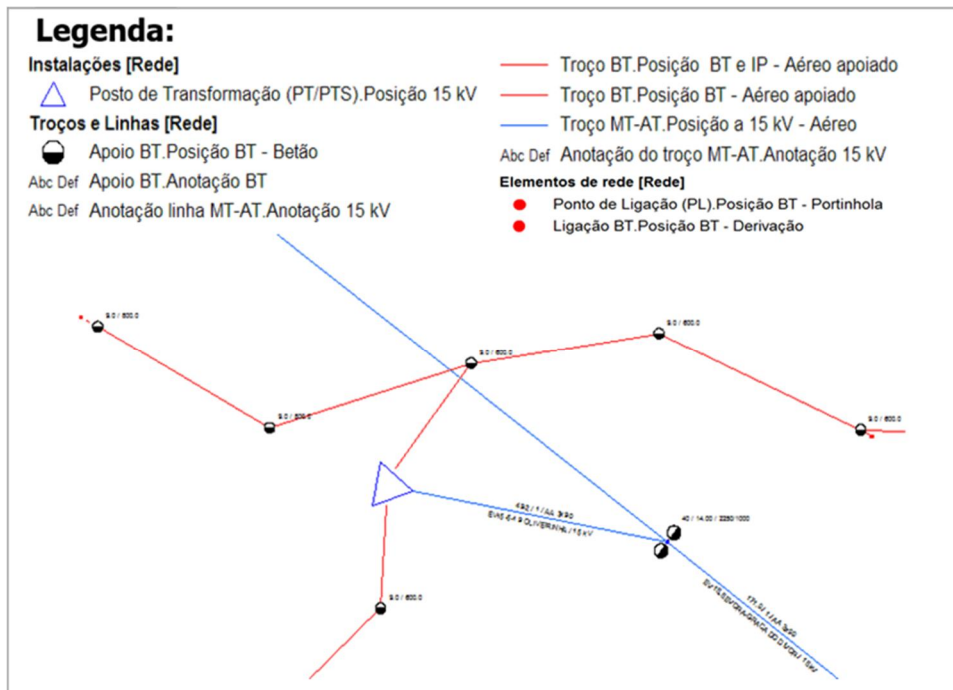


Figura 2.4 - Exemplo de rede BT em zona rural, visualização através de SIT

2.5.2 Zona Urbana

No exemplo da Figura 2.5 representa-se uma rede BT inserida numa zona urbana, com grande densidade de cargas. As ligações desde o PT até aos armários de distribuição são feitas através de linhas subterrâneas. Dos armários de distribuição derivam ramais subterrâneos até aos PL.

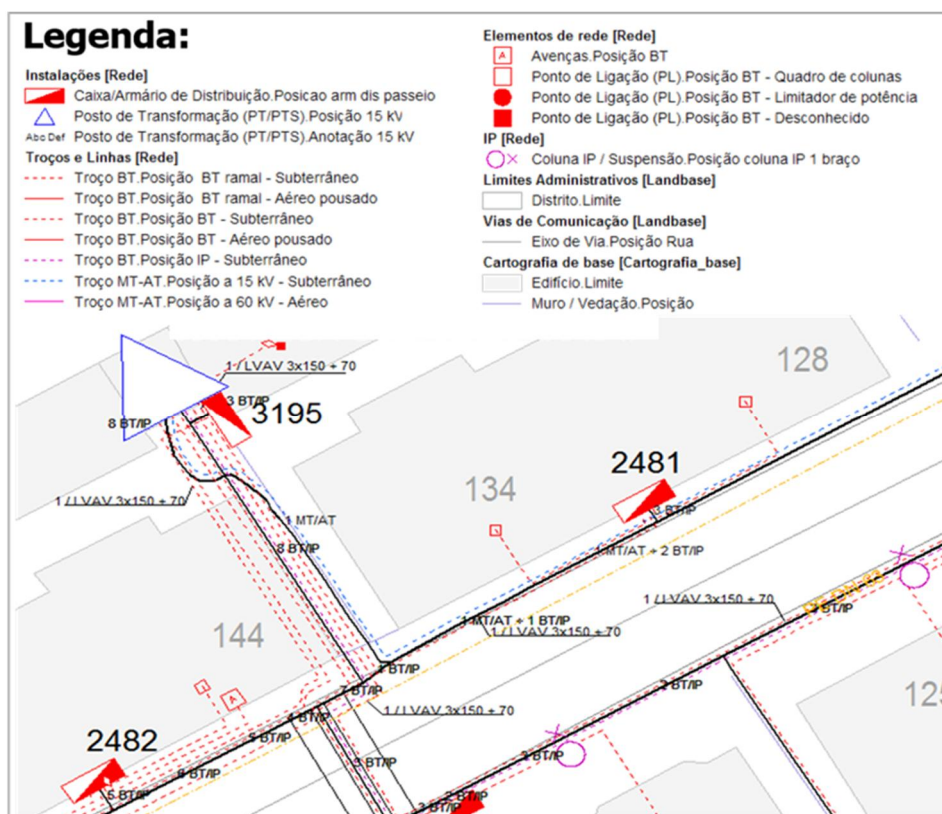


Figura 2.5 - Exemplo de Rede BT em zona urbana, visualização através de SIT

2.6 Medição da Energia Elétrica

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) é a entidade responsável pela regulação do setor da eletricidade e do gás natural em Portugal. Como tal, esta entidade elaborou um Guia de Medição que se aplica às entidades abrangidas pelo Regulamento de Relações Comerciais (RRC) e sendo a EDP Distribuição uma entidade operadora de rede de distribuição, encontra-se abrangida por este regulamento.

De acordo com o Guia de Medição, o suporte de base para a quantificação do fluxo de energia elétrica é constituído pelo Sistema de Medição de Energia Elétrica (SMEE). Este é necessário para as liquidações associadas aos relacionamentos comerciais entre as várias entidades do Sistema Elétrico Nacional (SEM) [6].

O SMEE é composto por equipamentos locais que efetuam a contagem da energia elétrica, os quais podem ser acedidos local ou remotamente, e por equipamentos centrais que efetuam o tratamento dos dados recolhidos [6].

2.6.1 Contador

O contador é um equipamento de medição que regista a energia elétrica na instalação do cliente. Este deve ser colocado o mais próximo da origem da instalação elétrica ou da origem da entrada, em local e posição adequados. É recomendável que os locais sejam isentos de trepidações anormais e ao abrigo de choques, humidade vapor corrosivo, poeiras, temperaturas elevadas, elevada exposição solar, entre outras considerações que se considerem relevantes [7].

De acordo com [6] os equipamentos de medição a instalar em pontos de medição de instalações de clientes finais em BTN devem satisfazer as normas EN 62052-11. E complementarmente cada tipo (eletromecânicos ou estáticos) de equipamento de medição deve satisfazer a norma correspondente.

Os equipamentos de medição locais, efetuam a contagem de energia elétrica de forma acumulada e podem ser monofásicos (um elemento de medição) ou trifásicos (três elementos de medição). Em termos construtivos, poderão ser eletromecânicos, estáticos ou híbridos, em função do tipo de tecnologia utilizada, e de tarifa simples, dupla ou tripla, dependendo da opção tarifária escolhida pelo cliente.

Atualmente, os contadores híbridos encontram-se em desuso, daí serem apenas salientados os contadores eletromecânicos e os estáticos.

Devem ser realizados ensaios à exatidão dos equipamentos de medição e verificadas as respetivas ligações, para se garantir a qualidade da informação de contagem. Após o que os equipamentos e os circuitos de medição devem ser selados [6].

2.6.1.1 Contadores Eletromecânicos

Os contadores eletromecânicos, Figura 2.6, funcionam através de um sistema mecânico. O contador tem um disco no seu interior que ao girar aciona um conjunto de bobinas (tensão e corrente), e através de um integrador faz a contabilização da energia [7].

Atualmente este tipo de contadores não são instalados em Portugal. No entanto, existem ainda instalações antigas com este tipo de contadores.

De acordo com a regulamentação [6], os contadores do tipo estático, 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 para execução das comutações tarifárias e mudança automática da hora legal;
- 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 seguintes funcionalidades de programação:

- Ciclos horários previstos no Regulamento Tarifário do Setor Elétrico;
- 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.

2.6.2 Tipo de Leitura

O Guia [6] prevê dois tipos de leitura, a leitura local e a leitura remota.

A leitura local dos dados, executada quando não é possível a leitura remota, tem como objetivo a recolha direta da informação registada nos equipamentos de leitura locais, devendo esta ser informada pelo Operador da Rede de Distribuição (ORD) aos clientes. A recolha da informação dos contadores é feita através de terminais portáteis de leitura e é enviada para sistemas centrais de tratamento de informação de contagens.

Para uma leitura remota, ou telecontagem, é necessário a existência de equipamentos locais que meçam a energia elétrica e que garantam a memorização dos respetivos valores em períodos de integração determinados. Para além disto, os equipamentos têm que ser dotados de capacidade de comunicação de informação e subsequente tratamento.

2.6.3 Grandezas a medir ou a calcular

Através deste sistema de medição, consegue-se assim a determinação das grandezas relevantes para efeito de faturação, exigidas no RRC [6], que são:

- Potência tomada;
- Potência contratada;

- Potência em horas de ponta;
- Energia ativa;
- Energia reativa.

2.6.4 Dispositivos Controladores de Potência

Em instalações BTN, de forma a limitar a potência tomada ao valor contratado, é instalado pelo ORD os respetivos dispositivos controladores de potência. Os Dispositivos Controladores de Potência (DCP) devem ser colocados a jusante do equipamento de medição e podem ser bipolares (instalações monofásicas) ou tetrapolares (instalações trifásicas).

Como alternativa ao DCP, é possível que se instale um equipamento dentro do próprio equipamento de medição que faça esta limitação da potência tomada.

3 Redes Elétricas Inteligentes – Infraestrutura Inovgrid

Neste capítulo são abordadas as Redes Elétricas Inteligentes e os conceitos gerais que lhe estão associados, sendo em especial apresentada com mais detalhe a Infraestrutura Inovgrid a cargo da EDP Distribuição.

O presente capítulo faz uma abordagem explicativa à arquitetura da infraestrutura, aos equipamentos instalados, ao tipo de comunicações e aos sistemas de informação associados.

3.1 Rede Elétrica Inteligente – Descrição geral

Uma rede elétrica inteligente (do Inglês, *Smart Grid*) é um termo associado a um sistema de energia elétrica que utiliza tecnologias da informação para que este funcione de forma mais eficiente (económica e energeticamente), seja mais fiável e sustentável [10].

É um termo relativamente recente e como tal, não está ainda completamente consolidado. Ainda assim, neste sistema devem constar [11]:

- Sistemas de comunicação e distribuição transparentes e controláveis.
- Produção de energia distribuída, a partir de fontes renováveis, e possibilidade de armazenamento de energia.
- Capacidade de resposta à procura de energia e controlo da mesma.

Em termos gerais, é a aplicação de tecnologias de informação no Sistema de Energia Elétrica (SEE), integrada numa infraestrutura de rede automatizada capaz de comunicar entre si. Envolve a instalação de sensores nas linhas da rede de energia elétrica e uma comunicação bidirecional com ampla cobertura de diversos dispositivos e automação dos ativos.

3.2 Projeto Inovgrid

Associado ao novo paradigma das redes de distribuição inteligentes, em Portugal, a EDP Distribuição tem desenvolvido desde 2007 o Projeto Inovgrid. Este Projeto tem como objetivo a implementação das infraestruturas e as transformações necessárias para dar resposta a este desafio. Consiste na implementação de um conjunto de novas tecnologias, modelos avançados de processamento de informação e operação da rede e o desenvolvimento de novos processos que promovam um aumento da eficiência económica e melhoria na qualidade de serviço. Dando assim ao ORD a capacidade de resposta face aos atuais desafios como integração de recursos distribuídos, promoção da eficiência energética e apoio à evolução do mercado de retalho [12].

A investigação e a aposta na área das redes inteligentes em Portugal foi impulsionada pelos quatro fatores principais indicados na Figura 3.1.

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	Redução emissões GHG (Gases de efeito de estufa); Energias renováveis; Eficiência energética; Mobilidade Elétrica
SEGURANÇA E QUALIDADE DO FORNECIMENTO	Garantia do fornecimento Gestão da procura Planeamento da capacidade Redução de perdas
PAPEL ACTIVO DO CONSUMIDOR	Gestão do consumo de energia doméstica Microprodução Novos serviços Mudança de comportamentos de consumo
MERCADO EUROPEU DE ENERGIA	Liberalização dos mercados europeus de energia Regulação das atividades do operador de rede de distribuição Maior competitividade, novos serviços

Figura 3.1 - Fatores impulsionadores nas redes inteligentes (adaptado de [13])

De forma a responder a estes desafios, foi necessário estabelecer um novo Sistema de Distribuição de Energia elétrica em Portugal. Este Sistema deve ser inteligente e capaz de responder aos seguintes objetivos:

- Abordagem Centrada no Consumidor – Oferta de novos serviços, novas formas de tarifação e novos planos de preços através da implementação de novas funcionalidades na área da telegestão
- Liberalização dos Mercados – Nos mercados liberalizados, a concorrência induzida ao nível dos comercializadores será decisiva para o seu eficiente funcionamento.
- Modulação da Procura – Com as novas funcionalidades da rede, o consumidor tem um papel mais ativo na gestão do seu consumo, contribuindo para a eficiência energética.
- Maior Segurança nos Abastecimentos – Através da integração de microgeração na rede, promove-se a diversificação de fontes de energéticas, potenciando uma maior fiabilidade e qualidade no fornecimento de energia.
- Renovação das Redes e da sua Operação – A inteligência alcançada nos diferentes patamares da rede de distribuição melhora não só a eficiência energética como também operacional.

3.2.1 Arquitetura técnica e de comunicações

A arquitetura técnica da solução de Redes Inteligentes de Energia baseia-se numa arquitetura hierárquica multinível, representada na Figura 3.2.

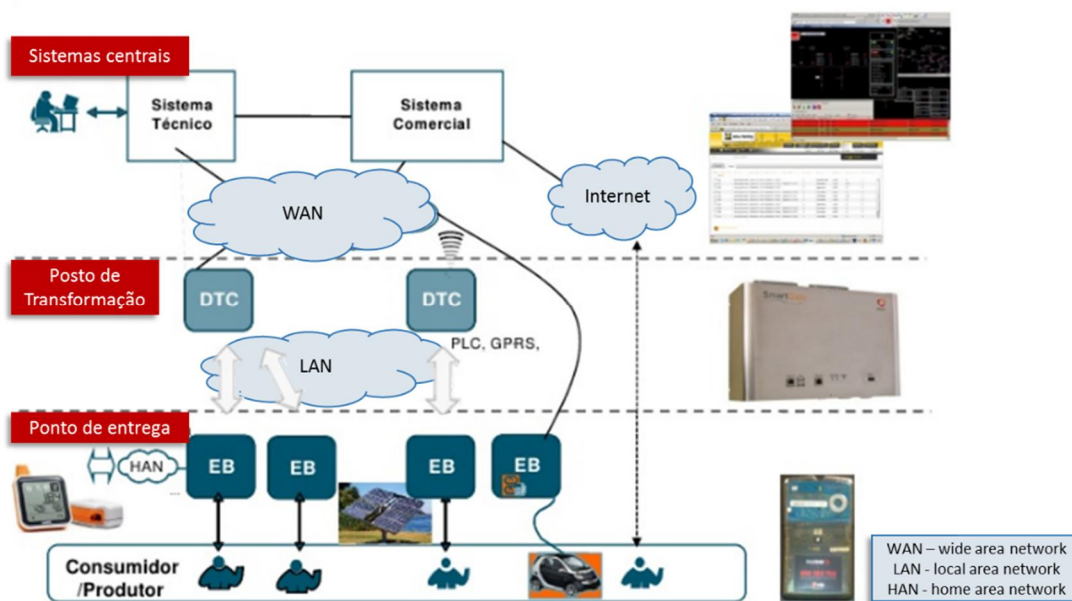


Figura 3.2 - Arquitetura do projeto Inovgrid (adaptado de [14])

Na Figura 3.2 representa-se a arquitetura da infraestrutura técnica das comunicações. A EB (*Energy Box*) está localizada no Local de Consumo (clientes) e comunicam com o DTC (*Distribution Transformer Controller*) através de tecnologias de comunicação, como por exemplo, PLC (*Power Line Communication*) ou GPRS (*General Packet Radio Service*). O DTC por sua vez comunica com os Sistemas centrais de Supervisão e Aquisição de Dados do ORD de energia através de GPRS, de modo a integrarem e processarem a informação recolhida.

As redes elétricas deverão assim ter capacidade para, de forma inteligente, integrar as ações de todos os intervenientes, desde os produtores aos consumidores. De forma eficiente, sustentável, económica e segura. Para isto, tem que existir a integração das redes de comunicação na rede elétrica, formando assim uma infraestrutura de energia elétrica/comunicações [14].

3.2.2 Componentes da Infraestrutura

Os principais componentes físicos para a infraestrutura do ecossistema Inovgrid são as *Energy Boxes* (EBs) e os *Distribution Transformer Controlleres* (DTCs).

A EB é um equipamento de gestão de energia, que se instala no local de consumo, constituindo o nó de rede de nível mais baixo no conceito de *Smart Grid*.

Este equipamento, que substitui os contadores existentes, permite:

- Telecontagem (leitura remota dos consumos);
- Telegestão (corte e religação, alteração da potência contratada e parametrização do contador remotamente);
- Pode adicionar-se um modo *wireless*, que permita ao cliente ver num *display* dentro de casa a informação detalhada dos seus consumos.

O DTC está instalado nos PTs e é o ponto de comunicação entre as EBs e os sistemas centrais. Tem como funções:

- Exploração da infraestrutura de EBs;
- Monitorização e gestão da rede BT.

De acordo com [6], em casos onde existam diferentes EBs é utilizado preferencialmente apenas um meio de comunicação que permita o acesso individualizado a cada contador. Se não for possível, deverá existir, pelo menos, um equipamento com a função de concentrador remoto de dados que recolha a informação dos contadores, proceda à sua datação e que garanta a sua permanência em memória não volátil durante um largo período de tempo.

3.2.3 Principais benefícios para os *Stakeholders* e para a sociedade

Os principais benefícios a alcançar, por *Stakeholder*, estão presentes na Figura 3.3.

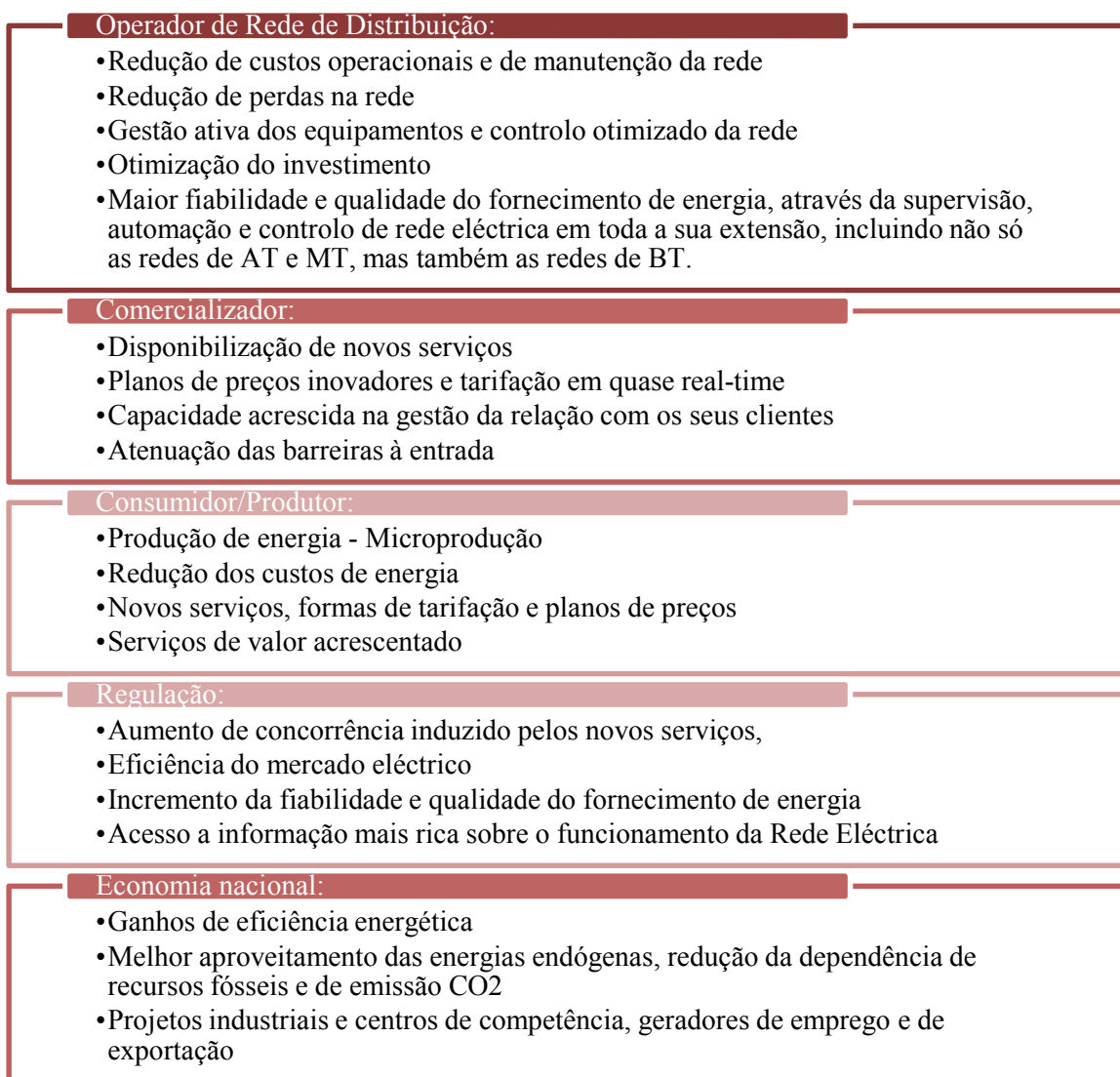


Figura 3.3 – Principais benefícios das *Smart Grids* por *Stakeholder* (adaptado de [13])

3.2.4 Inovcity

O projeto Inovgrid foi lançado pela EDP distribuição em 2007 e em Abril de 2010 passou a uma fase de concretização no terreno, com a InovCity em Évora (Figura 3.4), que fez desta, uma cidade pioneira nas redes inteligentes de energia, o que permitiu conjugar as tecnologias de informação com as novas formas de energia e dar aos consumidores a possibilidade de gerir a sua fatura energética.

O projeto InovCity distinguiu-se pelo seu carácter pioneiro, em matéria de inovação tecnológica e abrangência de serviços, tendo sido selecionado pela Euroelectric e pela Comissão Europeia, como o single case study para as redes inteligentes. Com uma previsão de que até 2020, cerca de 80% das redes europeias de distribuição de energia eléctrica sejam bidirecionais [15].



Figura 3.4 - Localização do projeto InovCity em Portugal (adaptado de [14])

Com base num protocolo assinado entre o operador de rede de distribuição de energia e a Câmara Municipal de Évora, foi desenvolvido um projeto de melhoria da eficiência na iluminação pública e a modernização da rede de distribuição em Évora com impacto em 54.000 clientes de baixa tensão (domésticos, pequeno comércio e indústria) distribuídos por todo o município. Isto representou 31.300 EBs nas casas dos consumidores, 341 DTCs nos transformadores de potência, sistemas de informação, infraestrutura de comunicação e sistemas de comando e controlo remoto da rede [12].

3.2.5 Fases do Projeto

De 2010 a 2012 implementou-se o projeto piloto em Évora (Inovcity) com o objetivo de fazer alguns testes de conceito e avaliação de benefícios, abrangendo mais de 31 mil clientes [12].

Entre 2013 e 2014 pretendeu-se fazer um ensaio mais alargado no projeto Inovgrid, alcançando 100 mil clientes, procurando um desenvolvimento da tecnologia e análise do mercado dos equipamentos, como representado na Figura 3.5 [12].

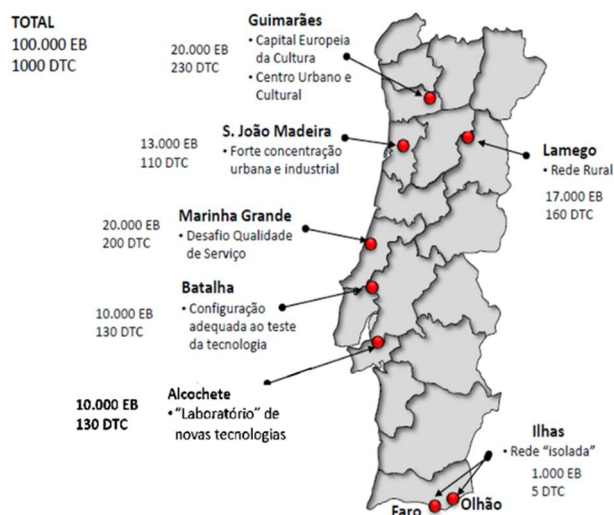


Figura 3.5 - Segunda fase do projeto Inovgrid (adaptado de [16])

De 2015 a 2017 o objetivo tem vindo a ser o alargamento progressivo em todo o território de Portugal continental, através de campanhas com foco na captura de benefícios junto a clientes com maior potencial, bem como a recuperação de idade de ativos de contagem [12].

Até 2020 prevê-se um alargamento a todos os clientes BTN, isto é, cerca de 6 milhões de clientes.

3.3 Infraestrutura técnica Inovgrid

Depois dos testes de conceito e validação tecnológica dos equipamentos, comunicações e sistemas, e com o foco no alargamento do projeto Inovgrid a todos os clientes avançou-se assim para a infraestrutura atual que está a ser implementada.

3.3.1 Energy Box

A *Energy Box* (EB) é um equipamento inteligente (*Smart Meter*) que veio substituir os atuais contadores nas instalações de utilização do cliente. Os *Smart Meters* tem dispositivos eletrónicos que permitem ser atuados e comunicarem, ou seja, permite telecontagem e realização remota de ordens de serviço. Este equipamento disponibilizará ao cliente serviços de valor acrescentado e informações de consumo, com o objetivo de promover a eficiência energética e melhorar a qualidade do serviço prestado [17].

Os *Smart Meters* comunicam com um equipamento concentrador (DTC) via PLC PRIME, ou diretamente com os Sistemas de Informação (SI) via GPRS [17].

Existem vários modelos e marcas diferentes de EBs, consoante o tipo de alimentação (monofásico ou trifásico) e consoante a tecnologia de comunicação utilizada.

Independentemente da marca ou do modelo, todos os equipamentos dispõem de quatro elementos principais representados na Figura 3.6:

- Visor com informações do próprio equipamento, informações de leitura, consumo e tarifa, ou outro tipo de mensagens;
- Botão de controlo, que permite ao cliente ter acesso aos menus disponíveis, de forma a ver a informação correspondente no visor;
- Indicador, através do qual é possível ver o estado das comunicações remotas;
- Porta de leitura ótica, que é de utilização exclusiva da EDP distribuição.



Figura 3.6 - Exemplo de EB com respetivos elementos (adaptado de [18])

No visor estão presentes alguns símbolos que nos dão indicação de alguns aspetos, tais como, o quadrante atual da energia, o estado do interruptor de corte, a tarifa em curso, existência de alarmes críticos ou não críticos, ou outros símbolos. Para além dos símbolos podem ainda ser recebidas mensagens, de carácter temporário (removidas pressionando o botão), de atuação (ações que o cliente deve executar), ou permanentes (apenas o comercializador pode desbloquear).

A EB contém um conjunto de informações que podem ser visualizadas alternadamente no visor de forma automática ou manual.

As EBs possuem um *LED* indicador do estado das comunicações. Para que a EB comunique remotamente, esta tem que estar registada num DTC, no caso de ser tecnologia PLC PRIME, ou estar registada na rede móvel, no caso de ser tecnologia GPRS. Quando estiver pronta e registada, a cor do *LED* é verde. Quando está em processo de registo a cor é amarela, e quando não está registada a cor é vermelha. No caso da tecnologia PLC PRIME, quando está a vermelho significa ainda que a EB deteta outros equipamentos de comunicação PLC PRIME na rede, mas não consegue registar-se no DTC. Quando o *LED* está apagado significa que não há presença

de nenhum outro equipamento de comunicação (PLC PRIME), e para o GPRS significa que o modem da EB está desligado, inativo ou sem cartão SIM.

Existe um conjunto de procedimentos que devem ser adotados quando a equipa vai substituir o contador atual pela EB. Sendo um deles a parametrização da EB aquando da sua instalação, com a georreferenciação do objeto.

Na instalação de energia elétrica coexistirão dois equipamentos, o Disjuntor e a EB. Na sequência de alguma anomalia qualquer um destes pode ser acionado. No caso de ser o disjuntor a atuar deve proceder-se à sua ativação através do botão respetivo. No caso de ser excedida a potência contratada, o Interruptor de Controlo de Potência (ICP) da EB irá interromper o fornecimento de energia, e neste caso surge no visor a indicação “aberto pronto para rearme”.

A interrupção do fornecimento de energia pode ainda ser devida a situações de anomalia da rede, ou por solicitação do comercializador.

A EB possui a capacidade de gerar alarmes como consequência de eventos que ocorram na rede elétrica, e estes podem ser críticos ou não críticos. Sendo que, os críticos são enviados para os sistemas centrais para tratamento em tempo real, os não críticos requerem uma análise posterior.

Para além dos alarmes, podem surgir ainda erros internos, como resultado de autoavaliações ao seu funcionamento. Estes também podem ser críticos ou não críticos. Os erros críticos requerem a substituição da EB.

3.3.2 Distribution Transformer Controller

O DTC, presente na Figura 3.7 é um dispositivo com capacidade de gestão ao nível da MT e BT, orientado para o controlo do PT. Este dispositivo permite a comunicação bidirecional entre as EBs e os sistemas de informação da EDP, funcionando como concentrador de dados de contagem [19].



Figura 3.7 - Exemplo de um DTC [18]

3.3.2.1 Principais funções e características

O equipamento DTC tem como funções principais [19]:

- Gestão dos equipamentos terminais de monitorização de rede, de telegestão e de contagem (EB). Esta gestão inclui a configuração, a recolha de informação e o envio de comandos para as EBs. Inclui também a gestão da própria rede de comunicações com as EBs, que poderá ser composta por diversas tecnologias. Esta função inclui ainda a comunicação com os sistemas de informação centrais, em particular o sistema de dados comerciais;
- Análise de informação do transformador de potência e das EBs (e.g., eventos, alarmes, potências de consumo) para a gestão da rede BT. Monitorização de sinais (e.g., porta de cabina do PT aberta) e/ou gestão de dispositivos (e.g., sensor de temperatura) do transformador de potência ou do PT;

Para além destas existem outras aplicações em *Smart Grids* como a gestão da iluminação pública, a gestão da procura, o carregamento inteligente de veículos elétricos e o controlo da microgeração.

Os DTCs utilizados pela EDP Distribuição dispõem de um servidor *Web* embebido, entradas e saídas, armazenamento de dados, deteção de defeitos, comunicações, monitorização, contagem local e análise da qualidade da energia. Em termos de *software* são disponibilizadas algumas Interfaces de Programação de Aplicações (do Inglês *Application Programming Interface*, API) que permitem a definição e implementação de alguns algoritmos e aplicações avançadas [19].

Os DTCs dispõem de uma Interface Humano-Máquina (do Inglês *Human-Machine Interface*, HMI) que permite o acesso à configuração do dispositivo, monitorização e controlo do sistema e gestão da rede de contadores. A HMI pode ser acedida local ou remotamente [19].

Existem ainda os DTCs Virtuais, que utilizam apenas uma variante de *software* do controlador que permite a recolha de dados de contagem inteligente.

3.3.2.2 Protocolos de comunicações

Os DTCs incluem um conjunto de opções de comunicação para diversas arquiteturas de sistemas, tendo que garantir a interoperabilidade entre produtos da mesma ou de diferentes marcas.

As interfaces série são essencialmente usadas na *Transformer Area Network* (TAN). A porta PLC é principalmente usada para interface com contadores BT e o modem GPRS/UMTS, ou as portas Ethernet, integram o sistema WAN [19].

As principais funções dos protocolos de comunicação usados são apresentadas na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Protocolo de comunicações DTC [19]

Protocolo	Função
IEC 60870-5-104 (TCP/IP)	Controlo remoto
Serviços Web	Gestão Remota
DLMS/COSEM	Comunicação Rede BT
MODBUS	Comunicação local

Estes protocolos podem ser implementados através de várias interfaces como Ethernet, GPRS/UMTS, RS485, PLC ou RF Mesh.

Os Serviços *Web* são soluções utilizadas na integração de vários sistemas e na comunicação entre várias aplicações, podendo interagir entre elas e permitindo enviar e receber dados.

O protocolo DLMS/COSEM (*Device Language Message Specification/COmpanion Specification for Energy Metering*) é um protocolo aplicado à leitura automática de contadores e gestão da procura num ambiente interoperacional. DLMS é um conceito generalizado para modelagem abstrata de entidades de comunicação e COSEM define as regras, com base em padrões existentes, para troca de dados com medidores de energia [20].

Através dos Serviços *Web* e do protocolo DLMS permitem assim a configuração dos equipamentos, diagramas de carga, listas de registos e configurações de tarifas, configuração de gestão de procura, gestão de eventos, entre outros.

3.3.2.3 Instalação

Para a instalação do DTC no PT é feito um planeamento pela Equipa de Gestão de Operações Inovgrid, com as características e indicações para a sua instalação. Os cartões SIM são distribuídos previamente a serem instalados. A configuração de fábrica dos DTC permite que estes estabeleçam comunicações com o sistema de informação imediatamente após a sua instalação. Existirá a necessidade de configurar alguns parâmetros remotamente, tarefa essa realizada pelo Centro de Supervisão Inovgrid.

3.3.3. Arquitetura de comunicações

Na Figura 3.8 é apresentado o modelo das ligações do DTC aos restantes dispositivos externos, através da rede LAN (*Local Area Network*), TAN (*Transformer Area Network*) e WAN (*Wide Area Network*), permitindo assim a comunicação entre as EBs, ou dispositivos do PT e os sistemas centrais [21].

- Na interface LAN utiliza-se PLC PRIME, para comunicação com as EBs PLC PRIME que estão instaladas na mesma rede BT, sendo que o DTC contém o *Base Node* da Rede PLC PRIME.
- Na rede TAN existem duas portas série RS485, uma para as EBs instaladas no próprio DTC, através de protocolo DLMS/COSEM e outra para comunicação com outros dispositivos do PT (controlo e monitorização), com protocolo ModBus. Nos dois casos o DTC funciona como master do *Bus* RS485.
- Na interface WAN existe uma porta *Ethernet* para ligação a um dispositivo de comunicação externa (*Router*), através da qual se fazem as comunicações remotas, ou eventualmente com EBs GPRS.

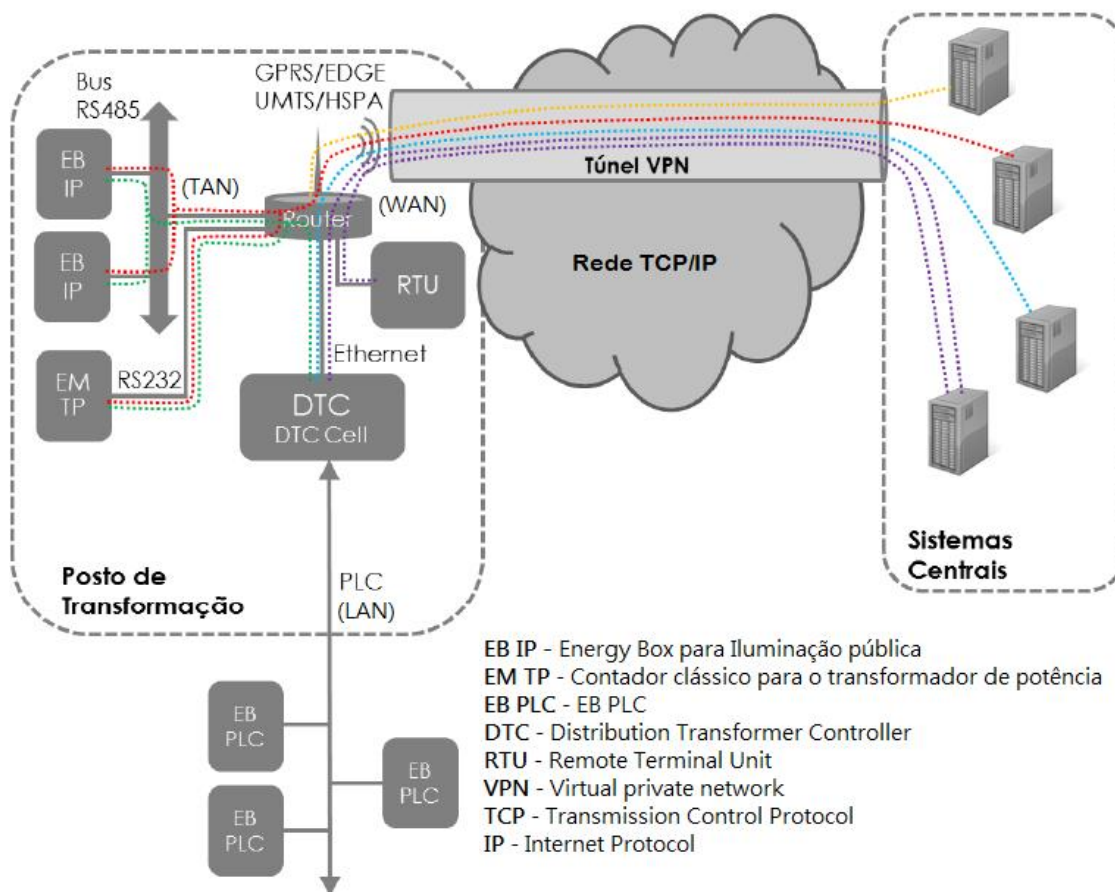


Figura 3.8 - Arquitetura de comunicações num PT (adaptado de [21])

O DTC deve ter a capacidade de comunicar com vários modelos de EBs partilhando um modelo de dados comum.

Ainda de acordo com a Figura 3.8, pode dizer-se que o *Router* constitui o veículo agregador da informação associada aos vários sistemas e serviços. Isto é, vai permitir agregar as comunicações do contador totalizador, do contador de Iluminação Pública (EB IP), do DTC e se necessário da Unidade Remota de Telecomando e ainda ter a possibilidade de comunicar com os diversos sistemas a montante (*Sysgrid*, *SCADA*, etc.).

3.3.3.1 PLC PRIME

Originalmente as linhas elétricas foram concebidas para a distribuição de energia elétrica a baixas frequências (50-60 Hz), de um pequeno número de fontes para um elevado número de recetores. Posteriormente, pensou-se em fazer uso desta infraestrutura como rede de comunicação surgindo a tecnologia *Power Line Communication* (PLC) [22].

Do ponto de vista das *Smart Grids*, esta surge como uma aplicação natural, uma vez que a infraestrutura já se encontra implementada, diminuindo os custos comparativamente a tecnologias em que seja necessário montar a rede de comunicações [22].

As tecnologias PLC dividem-se em três classes, dependendo da largura de banda em que operam [22]:

- *Ultra-NarrowBand* (UNB)
- *NarrowBand* (NB)
- *BroadBand* (BB)

As UNB-PLC operam numa banda compreendida entre 0.3 kHz e 30 kHz, o que permite comunicações até aos 100 bit/s a distâncias de aproximadamente 150 km. As NB-PLC operam numa banda entre os 3 kHz e os 500 kHz atingindo ritmos na ordem de alguns kbit/s em sistemas monoportadora e até 800 kbit/s para sistemas multiportadora. Nesta classe encontram-se as tecnologias PRIME e G3-PLCTM que surgiram nas *Smart Grids*. As tecnologias de *BroadBand* PLC (BB-PLC) operam nas bandas de 1.8 MHz a 250 MHz e conseguem velocidades que podem ir desde alguns Mbit/s até algumas centenas de Mbit/s [22].

Em Portugal a tecnologia a ser implementada é PRIME v1.4, no que toca a PLC e é a solução mais barata.

A tecnologia PLC PRIME é baseada em OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e foi especialmente desenvolvida para aplicação em redes inteligentes nas redes de eletricidade de baixa tensão e média tensão existentes. Foi aprovada como norma internacional (ITU G.9904) e consiste numa nova solução de telecomunicações aberta, pública e não proprietária [23].

Necessita de concentrador e repetidores, sendo adequada para a comunicação entre EB e DTC. No entanto, necessita de recorrer a outra tecnologia (ex: GPRS) para a comunicação entre o DTC e os sistemas centrais. Ainda assim, esta é uma tecnologia de baixo custo, relativamente a outras tecnologias que utilizem *modem*, com apenas custos de gestão global da rede de comunicações [24].

A fiabilidade da tecnologia varia de rede para rede, em função das suas características elétricas, bem como, ao longo do dia em função das cargas e do ruído. A distância entre o emissor e recetor é bastante relevante, principalmente nos canais superiores (frequências superiores) [25].

É particularmente apropriada para instalações concentradas, ou seja, com um elevado número de contadores, por exemplo em redes urbanas, tornando possível fazer um mapeamento mais aproximado da rede BT [26].

A literatura de PLC é composta principalmente por artigos académicos focados em detalhes específicos de baixo nível da tecnologia PLC. Tais como, ruído, características do canal, esquemas de modulação, arquiteturas MAC (do Inglês, *Medium Access Control*), etc. Não é frequente encontrar na literatura científica casos de uso de PLC aplicados a redes elétricas para sistemas PLC orientados a serviços [26].

De uma forma geral, as comunicações PLC podem afetadas por:

- Grande atenuação entre transmissor e recetor;
- Perturbações causadas por ruídos elétricos na rede;
- Mudanças bruscas de impedância durante as comunicações.

3.3.3.2 GPRS

GPRS é uma tecnologia associada a comunicações móveis via rádio para transmissão de dados [24]. O desenvolvimento do GPRS teve como base a necessidade de migrar as redes GSM para tecnologias com recurso à comutação por pacotes. Com a introdução de GPRS pretende-se otimizar o equipamento GSM existente, oferecendo velocidades até 171,2 kbps com recurso a 8 *slots* de tempo das redes GSM [27].

A GPRS é frequentemente utilizada em *Smart Metering*, quando se tratam de medidores isolados, por exemplo em zonas rurais, ou para ligações ponto-a-ponto. Implica que seja instalado um módulo SIM, e um terminal de comunicações que comunique por GPRS [28]. Desta forma a comunicação pode ser feita diretamente entre as EBs e sistemas centrais, uma vez que a concentração da informação das EBs é feita por um DTC Virtual.

A fiabilidade desta tecnologia é boa, madura e normalizada, com uma elevada taxa de sucesso na execução de serviços. No entanto, detetam-se ocasionalmente problemas de congestionamento/sobrecarga na rede [24].

Aspetos importantes a considerar na instalação [24]:

- Localização da antena;
- Ganho da antena;
- Nível de sinal dentro do limite aceitável para a comunicação com a rede.

Em comparação com o PLC, esta tecnologia requer um *modem* mais complexo e mais caro que o PLC.

3.3.3.3 RF Mesh

RF Mesh trata-se de uma arquitetura de telecomunicações via rádio constituída por elementos de rede (nós de rede) a comunicar via Radio Frequência (RF) e organizados segundo uma tipologia em malha [24].

É particularmente mais apropriado para instalações concentradas e é necessário ter espectro disponível (depende da autorização da ANACOM – Regulador das Telecomunicações) [24].

4 Metodologia de análise de desempenho de equipamentos

Este capítulo descreve todo o desenvolvimento da metodologia adotada para a análise de desempenho de equipamentos e da infraestrutura Inovgrid desde a sua estruturação à sua implementação, de forma a dar resposta ao problema proposto no início do estágio.

A metodologia baseou-se num processo de *Knowledge Discovery in Database* aplicando um método de apoio à decisão multicritério, dividindo-se em quatro etapas detalhadas ao longo deste capítulo.

4.1 Problema proposto

No início do estágio foi proposto que se criasse uma metodologia capaz de dar resposta à análise do desempenho dos equipamentos existentes na infraestrutura, ou seja, dos DTCs e das EBs.

Para isto seria necessário definir uma forma de calcular o desempenho dos equipamentos, com base em diferentes indicadores. Os resultados deveriam ser apresentados por ordem de classificação, ou por segmentação dos equipamentos, promovendo melhores análises e decisões.

Foram colocadas ao dispor todas as ferramentas necessárias ao acesso às bases de dados, tratamento da informação e visualização dos dados.

4.2 Processo de *Knowledge Discovery in Database*

A evolução das tecnologias da informação e da comunicação, bem como a sua capacidade de gerar e tratar automaticamente largas quantidades de dados, tem conduzido a sociedade a um crescimento exponencial de informação disponível. Tornando-se por vezes difícil conseguir métodos eficazes de extrair informação útil a partir dos dados em bruto [29].

O termo *Knowledge Discovery in Database* (KKD) ou Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados, é utilizado para descrever todo o processo que permite transformar os dados de baixo nível (dados em bruto), em conhecimento de alto nível, dividindo-se pelas etapas identificadas na Figura 4.1 [29].



Figura 4.1 – Processo de KKD (adaptado de [29])

De acordo com a Figura 4.1 existe um conjunto de etapas a seguir de modo a aplicar o conceito KKD [29]:

- **Desenvolvimento de conhecimento** sobre o domínio de aplicação e os objetivos da aplicação do processo;
- **Seleção** de um conjunto de dados e/ou variáveis relevantes para que se obtenham resultados com informação útil;
- **Pré-processamento** com validação da integridade, limpeza dos dados (tratamento do ruído e informação incompleta) e o uso de técnicas para a redução do número de variáveis;
- **Prospecção** de dados, que inclui a adaptação do objetivo a métodos ou algoritmos que permitam extrair conhecimento útil. A aplicação destes métodos varia consoante a natureza do problema e dos objetivos pretendidos;
- **Interpretação**, verificação e avaliação dos resultados obtidos com os modelos de dados (MD);
- **Utilização e gestão** do conhecimento adquirido.

4.1.1 Prospecção de dados

Esta etapa, embora não seja a mais demorada é das mais importantes. Uma das definições mais abrangentes para a Prospecção de Dados, segundo [29] é:

“Análise de conjuntos de dados, tipicamente de grande dimensão, com o intuito de revelar relações desconhecidas, e sumariar os dados de formas inovadoras, que sejam úteis e compreensíveis para o utilizador.”

Estas relações e sumários tomam a designação de modelos podendo tomar diferentes formas para a análise dos dados. Assim, podem destacar-se um conjunto de objetivos distintos na análise de dados, identificando-se resumidamente diversas categorias de tarefas [29]:

- **Exploração dos dados** – onde apenas se pretende realizar uma análise aos dados, usando ferramentas interativas e visuais;

- **Descrição** – modelos que sumariam os dados ou a forma como estes foram gerados;
- **Predição** – O objetivo é o de construir modelos que permitam prever o valor de uma variável a partir de valores conhecidos, ou de outras variáveis. Estes problemas podem ser de dois tipos:
 - **Classificação** – este tipo de problemas envolve uma variável de saída discreta e tratam-se de problemas que exigem a correta atribuição de uma classe a um conjunto de valores para as variáveis de entrada. Desta forma, podem incluir-se tarefas ditas de diagnóstico e de reconhecimento de padrões;
 - **Regressão** – para este caso pretende-se aproximar uma função desconhecida com um contradomínio real, ou seja, as saídas são contínuas e os modelos contruídos tipicamente baseados em expressões matemáticas.
- **Descoberta de regras e padrões** – procura detetar padrões de dados, recorrendo frequentemente a regras de associação;
- **Segmentação** – Termo adaptado do Inglês *clustering*, tem como objetivo encontrar grupos de itens com características semelhantes, tratando-se de uma aprendizagem não supervisionada.

De uma forma geral, esta etapa envolve a identificação da natureza, métodos e algoritmos que melhor se enquadrem no tipo de problema a ser analisado [30]:

- **Natureza** da tarefa de Prospecção de dados, isto é, qual é o objetivo do processo de Prospecção de Dados: classificação, segmentação, associação ou regressão;
- **Métodos** a serem usados na procura de padrões, tais como: método estatístico, linear, árvore de decisão e regras, redes neurais, *K-Nearest Neighbors* (K-NN) ou algoritmos genéticos;
- **Algoritmo** que implementa os modelos e parâmetros considerados mais apropriados para a aquisição do tipo de conhecimento desejado.

As etapas descritas no processo de KKD orientaram o desenvolvimento do projeto do estágio e serviram de base à metodologia adotada para dar resposta à análise do desempenho dos equipamentos existentes na infraestrutura Inovgrid.

4.3 Método de apoio à decisão multicritério

Com o objetivo de analisar o desempenho da infraestrutura Inovgrid e os equipamentos que a compõem foi necessário escolher um método de apoio à decisão, que permitisse de entre diferentes variáveis escolher qual o tipo de equipamentos e redes com um melhor desempenho e pelo contrário, identificar redes com um pior desempenho que possam revelar algum tipo de problemas a ser identificados e corrigidos.

Como abordado anteriormente, existem diferentes fatores que podem afetar o desempenho da infraestrutura Inovgrid. Assim, foi escolhida uma metodologia multicritério que, como o nome indica, se baseia na utilização de vários critérios.

Para a aplicação deste tipo de método é necessário [31]:

- Definição dos critérios de avaliação;
- Identificação das alternativas, opções ou hipóteses de decisão;
- Verificação da viabilidade da alternativa.

Uma metodologia multicritério considera dimensões múltiplas (consequências, atributos, características, objetivos, indicadores, restrições), baseando-se, portanto, numa família de Pontos de Vista Fundamentais (PVF) e múltiplos critérios.

Para uma correta estruturação (Figura 4.2) do problema é importante definir bem os Pontos de vista (PV). Um “Ponto de Vista é a explicitação de um valor que os atores consideram relevante para a avaliação das opções” e um PVF é um “fim em si mesmo, refletindo um valor fundamental” [32].

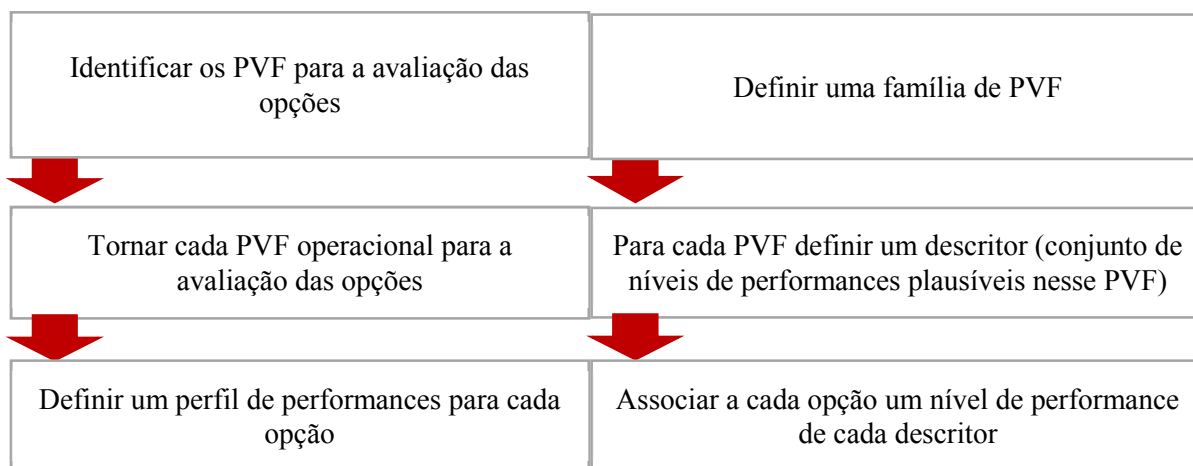


Figura 4.2 - Estruturação da metodologia de apoio à decisão multicritério (adaptado de [32])

De acordo com a Figura 4.2, depois de se identificarem globalmente os PV devem identificar-se os PVF que permitirão fazer uma avaliação mais concreta das opções, e definir uma família ou conjunto de PVF que podem ser agrupados por níveis em árvores de valores.

Um Descritor é “um conjunto ordenado de níveis de performance plausíveis associado a um PVF”. E para que um PVF seja operacional a este tem que lhe estar associado um descritor [4].

Por último (Figura 4.2) define-se um perfil de performance para cada opção, e por sua vez, para cada opção é-lhe associado um nível de performance de cada descritor.

Aplicando um modelo aditivo simples, ou com coeficientes de ponderação, obtém-se um valor global para a solução do problema.

4.4 Descrição e estruturação da metodologia adotada

A partir das fundamentações teóricas descritas no Capítulo 2 e Capítulo 3, foi possível propor neste capítulo uma metodologia que permitisse resolver o problema proposto, isto é, onde se fizesse uma análise de desempenho de equipamentos.

O processo de KDD veio ao encontro da necessidade, de cada vez ser mais importante extrair novos conhecimentos das bases de dados, e que neste caso estão a crescer a um ritmo exponencial, e retirar conhecimentos que poderão ajudar em processos de decisão.

O método multicritério para apoio à decisão foi a abordagem escolhida, uma vez que para esta análise se têm em conta diferentes critérios, cada um com a sua importância (diferentes coeficientes de ponderação) e elementos subjetivos.

Com isto, é possível por exemplo, a identificação de problemas nos equipamentos ou na infraestrutura, verificação e validação tecnológica ou numa fase seguinte desenvolver métodos de manutenção preditiva facilitando tomadas de decisão.

A metodologia adotada foi constituída por quatro etapas que se enumeram na Figura 4.3.

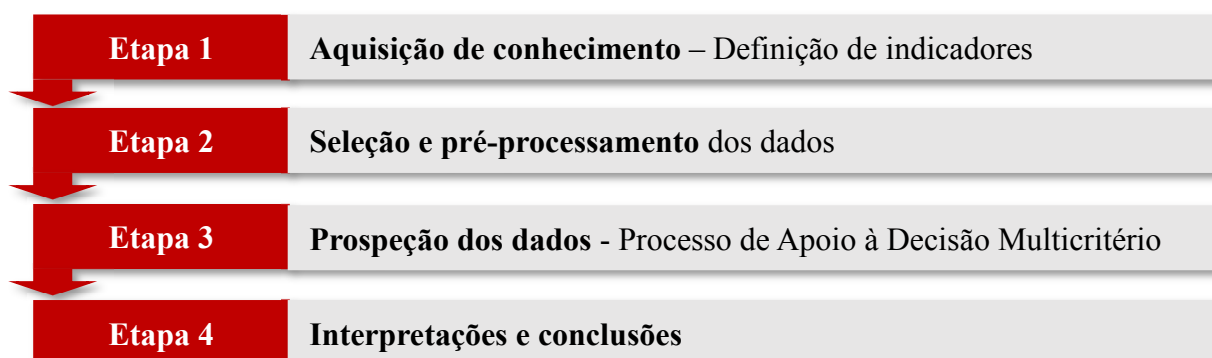


Figura 4.3 - Estruturação da metodologia desenvolvida no estágio

A Etapa 1 presente na Figura 4.3 e denominada por “Aquisição de conhecimento” consistiu na recolha da informação presente no Capítulos 2 e no Capítulo 3, assim como outra informação relevante para a formulação da metodologia e definição de indicadores. Tomando como base o método de apoio à decisão multicritério que veio a ser aplicado na Etapa 3.

Na Etapa 2 (Figura 4.3) foi feita a seleção e pré-processamento dos dados. Para isto foi necessário estudar a arquitetura de BI e de acesso às bases de dados, bem como as ferramentas disponíveis para fazer o tratamento e visualização dos dados. Foi desenhado um modelo de dados e foi feita a sua implementação utilizando as ferramentas necessárias. Adicionalmente selecionou-se uma amostra de casos de estudo (equipamentos) para facilitar o pré-processamento dos dados e a validação do modelo.

Na Etapa 3 (Figura 4.3), com as tabelas do modelo de dados preparadas, calcularam-se os indicadores e aplicou-se o método de apoio à decisão multicritério, permitindo assim obter o desempenho dos vários equipamentos existentes na infraestrutura, e assim perceber o desempenho da mesma. Foi criado um *dashboard* para permitir que a informação pudesse ser visualizada, e de forma a promover uma melhor análise por quem faça a gestão dos ativos.

Na Etapa 4 (Figura 4.3), é feita uma interpretação do método aplicado e dos seus resultados, através de gráficos de comparação e segmentação, assim como de ordenações por classificações ao nível do desempenho.

Nas secções seguintes descrevem-se as quatro etapas em detalhe.

4.4.1 Etapa 1: Aquisição de conhecimento – Definição de indicadores

A primeira etapa consistiu em fazer a recolha de informação presente no Capítulo 2 e no Capítulo 3, assim como na aquisição dos conhecimentos necessários à formulação dos indicadores pretendidos para a análise.

Quando se tratam de sistemas com utilizadores que dispõem de serviços e requerem a cooperação de uma ou mais redes de transporte de dados, como é o caso das *Smart Grids*, temos que ter em conta a Qualidade de Serviço (QoS, do Inglês *Quality of Service*). No entanto, a QoS é um termo genérico, que se torna distinto dependendo se é analisado do ponto de vista do utilizador do serviço ou do ponto de vista da rede. Para o utilizador, a QoS manifesta-se pela experiência na utilização dos serviços, desconhecendo como internamente esta é assegurada. Do ponto de vista da rede, a QoS afere-se através de um conjunto de parâmetros de operação, sendo assegurada por mecanismos de gestão dos recursos da rede [27].

Para o presente relatório apenas se teve em conta a QoS do ponto de vista da rede.

Um requisito fundamental para a comunicação de dados numa *Smart Grid* é que se garanta a interoperabilidade visto que existem vários sistemas, dispositivos, meios de comunicação e protocolos. Por isto, a QoS deve ser suportada em informações das redes de comunicação [33].

Segundo a Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM) o desempenho da rede em Redes e Serviços Móveis *Global System for Mobile/Universal Mobile Telecommunications System* (GSM/UMTS) traduz-se na [34]:

“Capacidade de uma rede ou parte dela para fornecer um serviço com um determinado grau de qualidade”.

E engloba as funcionalidades, mecanismos e procedimentos, implementados pela rede e pelo equipamento terminal, que asseguram o fornecimento da qualidade de serviço entre o equipamento e o *core* da rede. É um conceito puramente técnico medido, expresso e entendido

numa ótica de rede ou dos seus elementos. Os serviços a analisar dependem da tecnologia e da sua relevância para os utilizadores.

Ainda segundo a ANACOM são definidos alguns indicadores/parâmetros que permitem medir o desempenho da rede, tais como: disponibilidade da rede, acesso à rede e aos serviços, integridade do serviço e retenção e manutenção do serviço, utilizando métricas como taxas ou tempos médios.

Uma vez que ainda não existem indicadores de desempenho bem definidos para a infraestrutura Inovgrid, dada a sua recente implementação, e fazendo o paralelismo com Redes e Serviços Móveis GSM/UMTS, bem como, tendo em conta a informação transmitida pelo supervisor da empresa e restante equipa do departamento da Área, levaram a identificar três parâmetros fundamentais, isto é, os PV considerados relevantes para avaliar o desempenho de equipamentos presentes na infraestrutura e que apontaram para a definição dos indicadores:

- Disponibilidade;
- Eficácia;
- Operacionalidade.

Existem diferentes fatores que podem afetar o desempenho da infraestrutura Inovgrid, como tal, foi escolhido um método de apoio à decisão multicritério que se baseia em vários critérios com o objetivo de determinar a performance da infraestrutura quanto ao seu desempenho.

Uma vez que foram analisados dois tipos de equipamentos distintos, com funções características, optou-se por fazer uma divisão entre DTCs e EBs. Sendo que, um DTC pode ter várias EBs registadas e este conjunto forma uma sub-rede.

Para a aplicação do método o primeiro passo foi definir uma árvore de valores, com base nos PV indicados.

Estes parâmetros, ou PV, mediram-se tendo em conta as funções mais relevantes a que a infraestrutura e equipamentos devem corresponder, sendo estes os PVF deste problema:

- Execução de serviços;
- Recolha de leituras;
- Execução de ordens de serviço.

Para que os PVF sejam operacionais, tem que lhe estar associado um descritor, que vai permitir diferenciar os diferentes níveis de performance entre os vários PVF e calcular depois um valor global de desempenho. Para isso foram definidos alguns indicadores (descritores).

É importante referir que os indicadores a calcular podem não ter diretamente a ver com o equipamento em si mas sim com outros elementos da cadeia da rede diretamente ligados, que podem ir desde os equipamentos terminais que são as EBs até aos sistemas centrais, ou as

próprias comunicações. Ou seja, o desempenho dos equipamentos pode estar diretamente relacionado ou condicionado pela própria sub-rede na qual se inserem.

A definição de indicadores foi fundamentada essencialmente num conjunto de informação adquirida no estágio e transmitida pelo supervisor da empresa, bem como em documentos disponibilizados pela empresa tais como, especificações técnicas de processos e equipamentos, modelos de dados, especificações de soluções e arquiteturas de sistemas.

Existem alguns parâmetros sugeridos para avaliar a performance de redes de *Smart Metering* baseadas em PLC PRIME, indicados na Tabela do Anexo A.1, que orientaram muitos dos indicadores calculados. De acordo com a bibliografia, os parâmetros de desempenho individuais são importantes para resolver problemas evidentes na rede (por exemplo, falha de um dispositivo). No entanto, mais importante é a agregação desses resultados e a sua comparação [26].

4.4.1.1 Árvore de Valores para a análise do DTC

A abordagem ao equipamento DTC pretendeu analisar o desempenho do DTC tendo como base a sua função que é a de concentração da informação dos equipamentos (EBs) instalados a jusante e a sua transmissão para os sistemas centrais, e vice-versa. Esta análise foi feita tendo em conta a execução de serviços, a recolha de leituras e a disponibilidade de EBs na rede.

De acordo com [35], quando se trata de análise de desempenho de sistemas PLC PRIME, aplicados a sistemas de *Smart Metering*, alguns dos indicadores de desempenho utilizados são a taxa de disponibilidade de cada contador e o tempo do ciclo. O primeiro é definido como a taxa de tentativas bem-sucedidas de leitura de medidores (número de leituras bem sucedidas/número de tentativas de leitura de medidores). O segundo é definido pelo tempo necessário para ler todos os objetos do COSEM de todos os medidores.

A descrição dos indicadores que foram definidos é efetuada a partir da sua árvore de valores na Figura 4.4 . Para cada um deles é apresentada uma explicação da sua fórmula de cálculo.

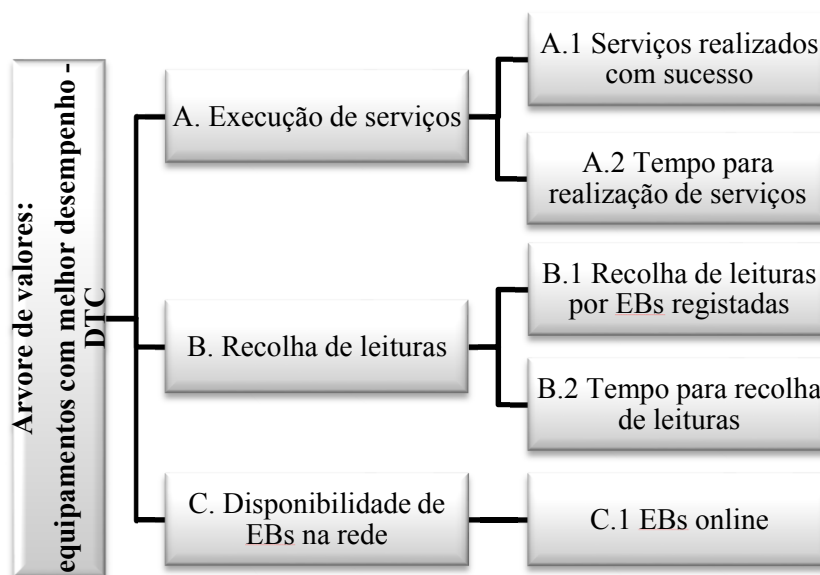


Figura 4.4 - Árvore de valores para análise de desempenho - DTC

A.1 Serviços realizados com sucesso

Os DTCs permitem a utilização de Serviços Web de forma a garantir uma maior facilidade de comunicações entre as aplicações, mesmo que sejam desenvolvidas em plataformas diferentes.

Estes serviços permitem aceder a informação correspondente ao DTC, permitindo a consulta de dados associados ao equipamento e configurações.

Os Serviços *Web* são suportados por um servidor baseado no Protocolo de Transferência de Hipertexto (do Inglês, *Hypertext Transfer Protocol*, HTTP), que permite a receção de pedidos e envios de resposta. A componente do DTC, HMI, tem como função receber os pedidos realizados por um cliente/utilizador e processá-los. É gerado um ficheiro com formato de Linguagem de Marcação Extensível (do Inglês, *eXtensible Markup Language*, XML) com a informação do pedido e devolvida ao cliente/utilizador. É possível utilizar os Serviços *Web* através de algumas ferramentas e pelos sistemas centrais da empresa.

Por norma todos os equipamentos estão parametrizados para realizar um conjunto de serviços de consulta diários, isto é, pedidos solicitados ao DTC, que são guardados numa base de dados.

Se os serviços forem realizados com sucesso assume-se que o equipamento está disponível para comunicar. Por outro lado, através da taxa de serviços realizados com sucesso determina-se a eficácia na realização de serviços, que é dada pela Expressão (4.1).

$$\% \text{ Serviços com sucesso} = \frac{\text{Número de serviços realizados com sucesso}}{\text{Número total de serviços realizados}} \times 100 \quad (4.1)$$

Em que:

Número de serviços realizados com sucesso - Número de serviços que foram realizados sem problemas;

Número total de serviços realizados - Número de serviços solicitados ao DTC e que este tentou executar.

A.2 Tempo para realização de serviços

Quando se trata de comunicações, os tempos médios para a transferência de mensagens desde o emissor até ao recetor são métricas consideradas para a aferição do desempenho do serviço. Com isto, um dos indicadores definidos foi o tempo para a realização dos serviços dos DTCs.

Quanto mais tempo demorar na realização dos serviços pior é o seu desempenho, uma vez que é menos eficiente.

O início da execução do serviço dá-se no início da comunicação e termina no fim da comunicação, onde é registado o estado do serviço, ou seja, se foi executado com sucesso ou não.

O tempo para a realização de serviços é dado pela Expressão (4.2) (em minutos).

$$\begin{aligned} \text{Tempo realização de serviços} \\ = \text{Data fim comunicação} - \text{Data início comunicação} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Em que,

Data fim comunicação - Instante em que o serviço foi terminado;

Data início comunicação - Instante inicial.

Estes dados estão apresentados num formato de data e hora, portanto, a subtração é em minutos.

B.1 Recolha de leituras por EBs registadas

Cada EB está parametrizada para recolher um histórico diário dos registos (serviço), ou seja, uma leitura por dia. Ficando o concentrador responsável por agrupar esta informação e enviá-la para os sistemas centrais, onde será armazenada.

É necessário saber a quantidade de EBs registadas no DTC e através da quantidade de EBs com leitura calcula-se a percentagem da eficácia de recolha de leituras no conjunto das EBs associadas a cada DTC, que corresponde à Expressão (4.3).

$$\begin{aligned} & \% \text{ Recolha de leituras por EBs registadas no DTC} \\ &= \frac{\text{Número de EBs com leitura no DTC}}{\text{Número total de EBs registadas no DTC}} \times 100 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Onde,

Número de EBs com leitura no DTC - Número total de EBs com leitura, sendo que estas EBs têm que estar associadas ao DTC;

Número total de EBs registadas no DTC - Número total de EBs que estão registadas no DTC. Esta informação é retirada através de um serviço feito pelo DTC, onde este gera uma lista de EBs registadas na sua rede e que é atualizada sempre que há alterações relativamente ao último serviço.

B.2 Tempo para recolha de leituras

Este indicador é um tempo médio para a recolha de leituras nas EBs registadas na mesma sub-rede.

Quanto maior este tempo para a realização da recolha das leituras pior é o seu desempenho, uma vez que é menos eficiente.

O tempo para a recolha de uma leitura por cada EB é dado pela Expressão (4.4) em minutos.

$$\text{Tempo recolha leitura} = \text{Data de recolha} - \text{Data leitura} \quad (4.4)$$

Onde,

Data da leitura da EB - Dia em que a EB efetuou a leitura;

Data da recolha - Data de registo da leitura nos sistemas centrais.

De seguida é feita uma média de tempos para todas as EBs registadas no DTC e é o valor da média que é utilizado como indicador para o cálculo do desempenho do DTC.

Os dados apresentam-se num formato de data e hora, portanto, o indicador é obtido em minutos.

C.1 EBs *online*

Uma informação recolhida pelo DTC através dos serviços realizados por este é o número de EBs *online*, bem como as falhas temporárias e permanentes das EBs que nele estão registadas.

A percentagem de EBs *online* no DTC revela a disponibilidade dos equipamentos na sub-rede constituída pelo DTC. Uma EB pode não estar *online* e esse facto ser causado por um problema ao nível da EB, no entanto, se a percentagem de EBs *online* for demasiado baixa por DTC, pode revelar um problema do mesmo ou de comunicações na própria rede, sendo este um indicador de disponibilidade.

A percentagem de EBs *online* no DTC é dada pela Expressão (4.5).

$$\% \text{ EBs online no DTC} = \frac{\text{Número de EBs ON no DTC}}{\text{Número total de EBs registadas no DTC}} \times 100 \quad (4.5)$$

Onde,

Número de EBs ON no DTC - Número total de EBs que estão *online*;

Número total de EBs registadas no DTC - Número total de EBs que estão registadas no DTC.

4.4.1.2 *Árvore de Valores para a análise da EB*

A abordagem feita às EBs pretendeu analisar o equipamento EB de forma mais individual. O desempenho assim obtido pode ser afetado pela rede na qual se insere e nas comunicações a montante. Ainda assim, esta análise teve como objetivo retirar conclusões acerca dos tipos de equipamento em si, ou das influências que a rede pode ter na comunicação.

A descrição dos indicadores que foram definidos é efetuada a partir da sua esquematização na árvore de valores da Figura 4.5, seguindo a mesma lógica aplicada aos DTCs. Para cada um deles é ainda apresentada uma explicação da sua fórmula de cálculo.



Figura 4.5 - Árvore de valores para análise de desempenho - EB

A.1 Serviços realizados com sucesso

Por norma todos os equipamentos estão parametrizados a realizar pelo menos um serviço diário, isto é, pedidos solicitados à EB, podendo ser efetuados mais serviços.

Se houver serviços realizados com sucesso significa que o equipamento está disponível para comunicar. E por outro lado, através da percentagem de serviços realizados com sucesso determina-se a eficácia na realização de serviços, que é dado pela Expressão (4.6).

$$\% \text{ Serviços com sucesso} = \frac{\text{Número de serviços realizados com sucesso}}{\text{Número total de serviços realizados}} \times 100$$

(4.6)

Onde;

Número de serviços realizados com sucesso - Número de serviços que foram realizados sem problemas;

Número total de serviços realizados - Número de serviços correspondentes à EB e que esta tentou executar.

A.2 Tempo para realização de serviços

Tal como no caso dos DTCs, também os serviços associados às EBs têm um início para a execução do serviço que se considera no início da comunicação e termina no fim da comunicação, onde é registado o estado do serviço, ou seja, se foi executado com sucesso ou não.

Quanto mais tempo a EB demorar na realização dos serviços pior é o seu desempenho, uma vez que é menos eficiente. O cálculo deste indicador é dado pela Expressão (4.7):

$$\begin{aligned} \text{Tempo realização de serviços} = \\ \text{Data fim comunicação} - \text{Data início comunicação [min]} \end{aligned} \tag{4.7}$$

Onde a *Data fim comunicação* é o instante em que o serviço foi terminado e a *Data início comunicação* é o instante inicial, sendo estes dados apresentados num formato de data e hora, portanto, a subtração é dada em minutos.

B.1 EB com leitura

Cada EB está parametrizada para registar um histórico diário dos registos (serviço), ou seja, uma leitura por dia.

Sendo aqui a análise feita às EBs, e tendo em conta que se vai analisar um período de dias, a eficácia de recolhas de leitura por parte das EBs é dada pela Expressão (4.8).

$$\% \text{ Recolha de leituras por EB} = \frac{\text{Número de leituras}}{\text{Número total de dias}} \times 100 \tag{4.8}$$

Onde,

Número de leituras - Número total de leituras, ou registos diários para uma dada EB;

Número total de dias - Número de dias do período a analisar.

B.2 Tempo para Recolha de leituras

O tempo de recolha da leitura da EB, isto é, o momento desde que é efetuada uma leitura, até que essa informação é recolhida pelos sistemas centrais pode ser importante no que toca a questões de faturação, uma vez que quanto menor o tempo entre a medição do contador e o seu processamento para faturação melhor.

Assim, quanto mais tempo demorar na realização da recolha da leitura pior se considerou o seu desempenho, uma vez que é menos eficiente, e que é dado pela Expressão (4.9), em minutos.

$$\text{Tempo recolha leitura} = \text{Data de recolha} - \text{Data leitura} \quad (4.9)$$

Onde,

Data da leitura da EB - Data em que a EB efetuou a leitura;

Data da recolha - Data de registo da leitura nos sistemas centrais.

Ao contrário dos DTCs, esta métrica é única para cada EB. Os dados apresentam-se num formato de data e hora, e portanto o indicador é obtido em minutos.

C.1. Realização de OS com sucesso

As Ordens de Serviço (OS) são apenas ações efetuadas sobre as EBs e nestas incluem-se por exemplo, alterações contratuais, alterações de potência, corte e religação, etc. e são efetuadas remotamente. Depois do pedido (OS) à EB, é feita uma verificação na qual se averigua se a ordem foi realizada com sucesso ou não, o que vai definir a operacionalidade do equipamento e que se traduz pela Expressão (4.10).

$$\% \text{ OS com sucesso} = \frac{\text{Número de OS realizadas com sucesso}}{\text{Número total de OS realizadas}} \times 100 \quad (4.10)$$

Onde,

Número de OS realizadas com sucesso - Número de OS cujo o seu estado final foi “realizada sem problemas”;

Número total de OS realizadas - Número total de ordens solicitadas à EB.

4.4.1.3 Variáveis a comparar

Após a definição dos indicadores a analisar foi importante definir que variáveis se iriam comparar de acordo com cada desempenho (DTCs e EBs), e que se encontram esquematizadas na Tabela 4.1.

A primeira coluna da Tabela 4.1 corresponde ao nome de cada variável, a segunda indica para que análise (DTC ou EB) é comparável, e por último o filtro necessário a aplicar quando se pretende utilizar determinada variável.

Tabela 4.1 - Variáveis a comparar por equipamento e filtro a aplicar

<i>Variável</i>	<i>Análise de desempenho</i>	<i>Filtro a aplicar</i>
<i>Tecnologia de comunicações</i>	DTC; EB	Nenhum
<i>Modelo de equipamentos</i>	DTC; EB	Nenhum
<i>Marca de equipamentos</i>	DTC; EB	Nenhum
<i>Distância total dos troços</i>	DTC	Tecnologia de comunicações PRIME
<i>Distância do emissor ao recetor</i>	EB	Tecnologia de comunicações PRIME
<i>Densidade de EBs na sub-rede</i>	DTC	Tecnologia de comunicações PRIME
<i>Quantidade de EBs PRIME por clientes BTN</i>	DTC	Tecnologia de comunicações PRIME
<i>Quantidade de EBs Registadas no DTC</i>	DTC	Nenhum

As variáveis indicadas na Tabela 4.1 descrevem-se nos seguintes pontos, bem como as explicações que levaram a estas escolhas:

- Tecnologia de comunicações – As tecnologias de comunicação dividem-se em PLC PRIME, GPRS, RF Mesh, e ainda alguns DTCs que comunicam com as EBs com os dois tipos de comunicação (PLC PRIME e GPRS).

Uma vez que a tecnologia com uma maior percentagem de instalações na rede é o PLC PRIME, esta foi a tecnologia com uma maior importância para análise. A tecnologia GPRS, associada a DTCs Virtuais também foi explorada uma vez que é uma tecnologia bastante utilizada, ainda que em menos percentagem face ao PRIME. Por outro lado, a tecnologia RF Mesh teve pouca relevância para esta análise visto ser uma tecnologia de teste sem continuidade de instalação e a ser substituída por tecnologia PRIME.

- Modelo dos equipamentos - Cada equipamento tem um determinado modelo, no caso dos DTCs podem ser virtuais (tecnologia de comunicação GPRS) ou simplesmente DTCs. No caso das EBs podem ser monofásicas ou trifásicas e também variam consoante o tipo de comunicações (por exemplo: EB Monofásica PLC);
- Marca dos equipamentos – O universo dos equipamentos instalados está distribuído por diferentes marcas, e apesar de todos terem os mesmos requisitos (para cada modelo) e

obedecerem aos mesmo protocolos de comunicação a sua construção não é a mesma, podendo existir diferenças ao nível do seu desempenho;

O desempenho da tecnologia PLC PRIME é afetada pelas características da rede elétrica, que constitui o seu meio de propagação. Sendo que, a impedância das linhas de energia é diferente consoante o tipo de rede e o tipo de arquitetura da rede [26].

A BT apresenta duas características principais, uma é a sua capilaridade e heterogeneidade: a diversidade de configurações e o número de componentes instalados ao longo dos anos têm que ser fatores a ter em conta para entender a diversidade deste cenário. A segunda é: a suscetibilidade às instalações de clientes, onde há cargas a ser conectadas e desconectadas da rede, o que implica que a impedância mude em diferentes partes da rede e que apareçam e desapareçam ruídos difíceis de identificar e controlar. Como consequência desta variação, há “sub-redes” de telecomunicações (sub-redes são cada uma das redes PLC associada a cada PT) consideradas únicas nas suas características e desempenho [26].

De acordo com [26], fatores como distância entre emissor e recetor, densidade de equipamentos (EBs) e quantidade são preponderantes no PLC enquanto método de comunicação.

Os pontos enumerados de seguida são características de cadastro da rede elétrica de distribuição:

- Distância total dos troços da rede e distância do emissor ao recetor – O aumento da distância dos troços da rede propicia maiores perdas (em termos de atenuação), e consequentemente perdas de informação ou a existência de maior ruído na rede. Referido em alguns artigos que a distância entre o emissor e recetor é bastante relevante, principalmente nos canais superiores (frequências superiores) [25];

A distância total dos troços é uma característica associada a cada sub-rede como um todo, e portanto, relevante para a análise o desempenho do DTC enquanto que a distância do emissor ao recetor, tem uma maior influencia na comunicação entre EB e DTC individualmente.

- Densidade de EBs instaladas na rede – A densidade de EBs instaladas na rede favorece o desempenho da tecnologia uma vez que favorece a repetição de sinais. A densidade de EBs na rede corresponde então à “concentração” de EBs na sub-rede e é dada pela divisão do número de EBs registadas naquela sub-rede pela soma total das distâncias dos troços da sub-rede.

Uma métrica que se definiu de forma a calcular a concentração de EBs na sub-rede é dada pela Expressão (4.11).

$$Densidade\ de\ EBs = \frac{Quantidade\ de\ EBs\ registadas}{Distância\ total\ dos\ troços\ da\ subrede} \quad (4.11)$$

Onde,

Quantidade de EBs registadas - Número de EBs registadas no DTC afeto a cada sub-rede;

Distância total dos troços da rede – Distância total dos troços que compõem a sub-rede.

No artigo [35] testou-se o desempenho de PRIME em redes de *Smart Metering* com topologias diferentes, isto é, uma topologia em que os nós de serviço se podem ligar diretamente ao nó base e outra em que existem vários níveis de comutação onde há retransmissão de informação dos nós vizinhos para o nó base. Sendo que se observou um pior desempenho no segundo caso.

- Quantidade de EBs PRIME por clientes BTN - Alguns estudos indicam que a existência de mais equipamentos a comunicar na sub-rede a comunicar aumenta a eficácia das comunicações [36]. Sendo que, redes mais completas, do ponto de vista de *Smart Metering* instaladas por PE, têm um melhor desempenho. Desta forma, a Expressão (4.12) pretende calcular a percentagem de EBs PRIME por clientes BTN na sub-rede.

$$\text{EBs PRIME por clientes BTN} = \frac{\text{Quantidade de EBs Registadas}}{\text{Quantidade de clientes BTN}} \times 100 \quad (4.12)$$

Onde,

Quantidade de EBs registadas - Número de EBs registadas no DTC afeto a cada sub-rede;

Quantidade de clientes BTN - Número total de PE com clientes BTN.

Fatores como o tipo de rede (aérea ou subterrânea), data de instalação dos PTs, entre outras características também foram tidas em conta para possíveis análises.

4.4.2 Etapa 2: Seleção e pré-processamento dos dados

Depois da definição dos indicadores e dados a analisar procedeu-se à recolha e tratamento dos mesmos. Para isto foi necessário estudar em detalhe a arquitetura de BI presente na organização e como aceder às bases de dados, bem como, conhecer quais as ferramentas disponibilizadas que permitissem fazer a transformação dos dados e a sua visualização. Com ferramentas de BI é possível uma maior eficiência operacional. É ainda possível fazer análises a históricos que

permitem tomadas de decisão com base nos acontecimentos passados, bem como a identificação de problemas.

Foi desenhado um modelo de dados e foi feita a sua implementação utilizando as ferramentas necessárias, selecionou-se uma amostra de casos de estudo (equipamentos) para facilitar o pré-processamento dos dados e a validação do modelo. O objetivo do modelo de dados desenhado foi ir ao encontro dos indicadores definidos na Primeira Etapa do processo de KDD.

4.4.2.1. Arquitetura de BI e acesso às bases de dados

Business Intelligence consiste no processo de recolha, transformação e análise de informação útil para o negócio com o objetivo de melhorar a eficiência e eficácia das tomadas de decisão. Havendo informação distinta e em elevada quantidade, muitas vezes este processo torna-se complexo.

A informação que se segue, acerca de arquiteturas de BI, nomeadamente a arquitetura de BI presente na EDP, foi recolhida internamente durante a realização do estágio.

Tipicamente as arquiteturas de BI dividem-se em 3 camadas:

- Fontes de dados
- Data Warehouse
- Apresentação

Existem sistemas fonte, de onde é recolhida e agrupada a informação, sendo carregada numa base de dados de um repositório central, para depois ser apresentada ao utilizador, tal como se pode verificar na Figura 4.6.



Figura 4.6 - Esquema geral do processo de apresentação de dados em bases de dados

Tal como representado na Figura 4.6, as fontes de dados podem ser variadas e ser compostas por diferentes tipos de sistemas como *Customer Relationship Management (CRM)*, *Enterprise*

Resource Planning (ERP), Flat Files, etc. A camada intermédia é um repositório de dados a que se chama *Data Warehouse (DW)*. Por fim, existe a camada de apresentação onde os utilizadores visualizam os dados, através de *dashboards, scorecards* ou relatórios.

Na Figura 4.7 está uma representação genérica da arquitetura BI ao nível da organização e como pode ser feito o acesso às bases de dados.

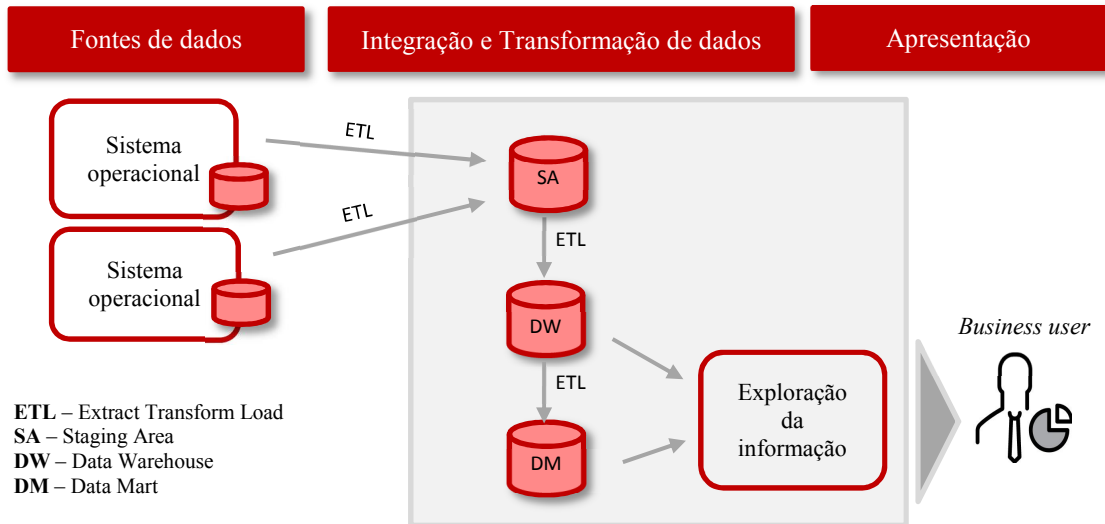


Figura 4.7 - Representação genérica da arquitetura de BI presente na organização

Tendo por base o esquema da Figura 4.7, um utilizador para consultar informação de diferentes sistemas operacionais pode fazer *queries* diretas à base de dados sem que cause grande impacto. O problema é quando são muitos utilizadores: o impacto causado nesses sistemas operacionais pode ser elevado, os sistemas podem deixar de responder para o que foram desenhados para responder a pesquisas feitas pelo utilizador. Para evitar esses impactos normalmente faz-se uma extração de dados para uma *Staging Area (SA)*, isto é um repositório temporário em que existem poucas transformações de dados. Através de processos de *Extract, Transform and Load (ETL)* que são processos com poucas transformações de dados, *queries* simples, diminuindo assim o seu impacto nos sistemas operacionais, a informação é carregada para uma DW. Este é um repositório centralizado com dados atuais e histórico e quando atinge um volume significativo divide-se em *subsets*, isto é, *Data Marts (DM)* que normalmente são focados numa determinada área ou necessidade específica.

A exploração de informação pode ser feita de forma direta com ligações diretas ao DW ou aos DM. As três camadas não são obrigatórias, depende do *use case*, uma vez que, quanto mais camadas existirem mais tempo demora a copiar os dados de um lado para o outro, podendo não ser aceitável para o caso em questão.

Depois de extraídos e carregados é necessário transformar os dados. A principal razão para a transformação dos dados é facilitar a compreensão dos dados para os utilizadores de negócio.

A EDP sendo uma grande empresa e com muitos sistemas, tem algumas particularidades na sua arquitetura de BI. Existem variados sistemas operacionais com diferente informação e existem réplicas de alguns sistemas. O ETL e o DW são implementados através de uma plataforma que faz a extração, transformação e carregamento dos dados numa base de dados a que chamaram *corporate Operational Data Store* (ODS), isto é uma base de dados *Oracle* que centraliza toda esta informação. Uma das plataformas utilizadas para exploração da informação é o SAS, a qual dispõe de ferramentas que permitem fazer *data mining*, *reporting*, *visual analytics*, etc.

A EDP Distribuição possui diversas fontes de dados, que são alimentadas por diversos sistemas. Para o acesso e gestão a estes sistemas foi criado um Modelo de Dados Unificado (MDU). O MDU faz integração e transformação de alguns dados dentro da arquitetura de BI.

Um MDU é um modelo de dados único que suporta os dados dos processos de negócio de uma empresa e é agnóstico aos sistemas. Desta forma permite colmatar algumas dificuldades existentes com a gestão dos dados desses processos.

O MDU permite:

- guardar todos os dados relevantes de cada domínio de dados para suporte a *reporting* dos sistemas operacionais.
- cruzamento de dados entre sistemas operacionais, *backoffice* e entre áreas distintas da cadeia de valor.

4.4.2.2. Ferramentas de tratamento e visualização de dados

As ferramentas utilizadas para desenvolvimento deste trabalho já são utilizadas pela organização em várias unidades de negócio. São ferramentas desenvolvidas pela SAS ou "*Statistical Analysis System*", que é uma empresa pioneira em BI e de um conjunto de aplicações de gestão de bases de dados comercializados por ela. É também atualmente uma empresa líder em *software* e serviços de *Business Analytics* (BA). O SAS transforma dados em *insights* que dão uma nova perspetiva sobre o negócio ajudando a identificar novas oportunidades [37].

Um dos produtos disponíveis na SAS é o *SAS Enterprise Guide* (ou SAS Guide). Este é um *software* de interface gráfica, que permite ao utilizador analisar grandes volumes de dados e disponibilizar os seus resultados. O utilizador interage com uma interface *workflow* (exemplo na Figura 4.8), o que permite organizar os projetos visualmente e o *software* gera o próprio código SQL (*Structured Query Language*) orientado para uma maior produtividade [38].

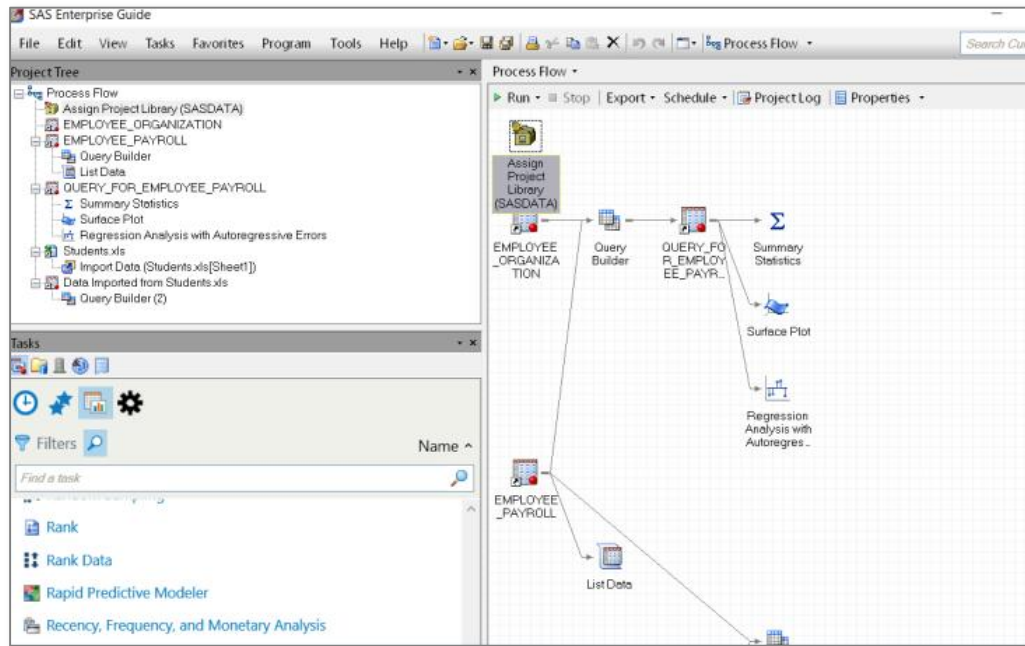


Figura 4.8 - Janela de *software* SAS Guide - Interface *workflow* [38]

O SAS *Guide* permite aceder a dados diretamente de *libraries* em servidores ou fazer importações locais de outros ficheiros (Excel, HTML, Access, ficheiros de texto, CSV, etc.).

O utilizador desenvolve o seu projeto através de *queries*. É possível juntar tabelas através de *joins*, aplicar filtros ou ordenar dados, aplicar funções ou definir variáveis calculadas entre outras funcionalidades. Apesar de o *software* gerar o código automaticamente é possível o utilizador editar o código SQL.

Os filtros permitem ao utilizador filtrar a informação extraída das bases de dados, por exemplo, filtros de datas, todos os registos entre a *data X* e a *data Y*, etc.

Quando se executa uma *query* é gerado um *log* com informação sobre o processamento, incluindo notas, avisos e erros o que torna o *software* bastante intuitivo.

Em termos de resultados estes podem ser distribuídos através de vários canais (incluindo outras ferramentas SAS, *content repository*, impressoras, documentos Microsoft Office e email) ou exportações (Adobe Acrobat e Microsoft Excel, Access, Outlook, Word e SharePoint). As análises podem ser atualizadas periodicamente através de agendamento.

O *software* deteta automaticamente o processamento mais eficiente no *workflow*, permite executar vários ramos do *workflow* em paralelo e permite a execução paralela de tarefas diferentes no mesmo servidor ou projeto. Trata-se, portanto, de um *software* com computação de alto desempenho.

O SAS *Visual Analytics* (SAS VA) é outro dos produtos disponíveis na SAS e trata-se de uma plataforma para análises avançadas, análises multivariável, BI, gestão de dados e análises preditivas [39].

É um produto *web-based* e permite à organização uma exploração dos seus dados de forma intuitiva e interativa. Com o SAS VA é possível identificar facilmente padrões, tendências, *outliers*, etc., ou seja, perceber quais os dados que merecem ser alvo de análise mais detalhada. Como é um produto escalável permite a partilha de resultados através de acesso *web* ou *mobile*.

O SAS VA tem várias funcionalidades das quais se destacam as seguintes [40]:

- Acesso aos dados disponíveis no servidor e criação de gráficos (linhas, colunas, pizza, etc.), mapas ou tabelas;
- Visualizações analíticas através de gráficos de caixa, matrizes de correlação, árvores de decisão, etc.;
- Filtragem de dados, através de seleção dos itens a serem exibidos;
- Disposição de dados por hierarquias;
- Criação de novas medidas calculadas e possibilidade de adicioná-las a qualquer visualização;
- Criação de relatórios para visualização ou *dashboards*, com possibilidade de adicionar filtros selecionáveis pelos utilizadores.

Na Figura 4.9 está um exemplo de um *dashboard* da plataforma SAS VA. Neste *dashboard* podem observar-se elementos de vários tipos disponíveis na plataforma, isto é: gráficos, mapas e filtros.



Figura 4.9 - Janela de plataforma SAS VA, exemplo de *dashboard* [40]

4.4.2.3 Modelos de dados e seleção de dados

De forma a calcular os indicadores definidos, com o objetivo de estudar o desempenho dos equipamentos foi necessário criar um modelo de dados para cada tipo de equipamento (DTC e EB). Isto é, a relação entre os dados, e semântica dos dados, bem como todas as restrições aos quais o modelo deve obedecer. O desenvolvimento deste modelo baseou-se em [41] que sugere a lógica representada na Figura 4.10 para a criação de modelos de dados.

Adicionalmente criou-se um modelo de dados com o objetivo de obter uma tabela que contivesse apenas informação das características de cada sub-rede, isto é, que não varia ao longo dos dias e conseqüentemente sem necessidade de ser atualizada frequentemente.

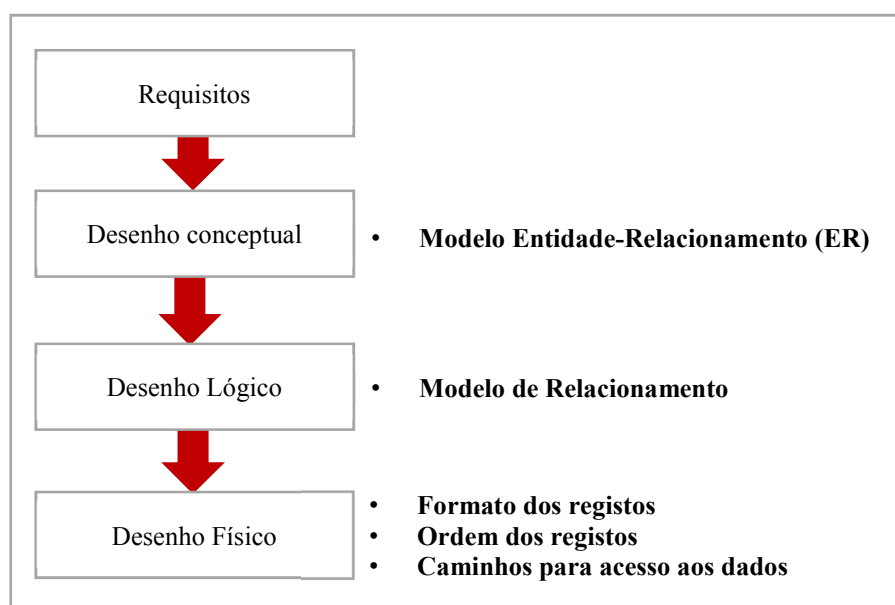


Figura 4.10 - Etapas para o desenvolvimento de um modelo de dados (adaptado de [41])

De acordo com a Figura 4.10, numa primeira fase foi necessário conhecer as fontes de dados e os seus atributos, e ainda como se poderiam calcular os indicadores pretendidos com os dados existentes. A definição dos indicadores descrita anteriormente faz parte desta fase, uma vez que foi necessário ir ao encontro do que se pretendia calcular (requisitos) e da informação existente nas bases de dados.

O desenho conceptual ou modelação, consistiu em definir um modelo de dados de Entidade-Relacionamento (ER) com a descrição das entidades da base de dados e dos seus atributos, bem como os relacionamentos entre entidades e possíveis restrições.

De seguida fez-se o mapeamento para o modelo lógico, descrevendo a estrutura dos atributos (campos ou colunas da tabela) e especificando o tipo, tamanho e restrições de integridade.

O desenho físico foi implementado utilizando o SAS Guide, onde foi possível desenvolver o projeto. Através de *queries* obtiveram-se os modelos de dados pretendidos, aplicando os formatos dos registos corretos, assim como a ordem dos registos e o caminho das tabelas a serem usadas.

Os dados foram extraídos recorrendo a diferentes sistemas de acordo com a arquitetura de BI. De acordo com a Figura 4.11, assinalado a verde estão os três sistemas utilizados neste projeto, sendo eles:

- Sistema de Informação Técnica (SIT);
- *Smart Grid Asset Data Management* (SYSGRID);
- Modelo de Dados Unificado (MDU).

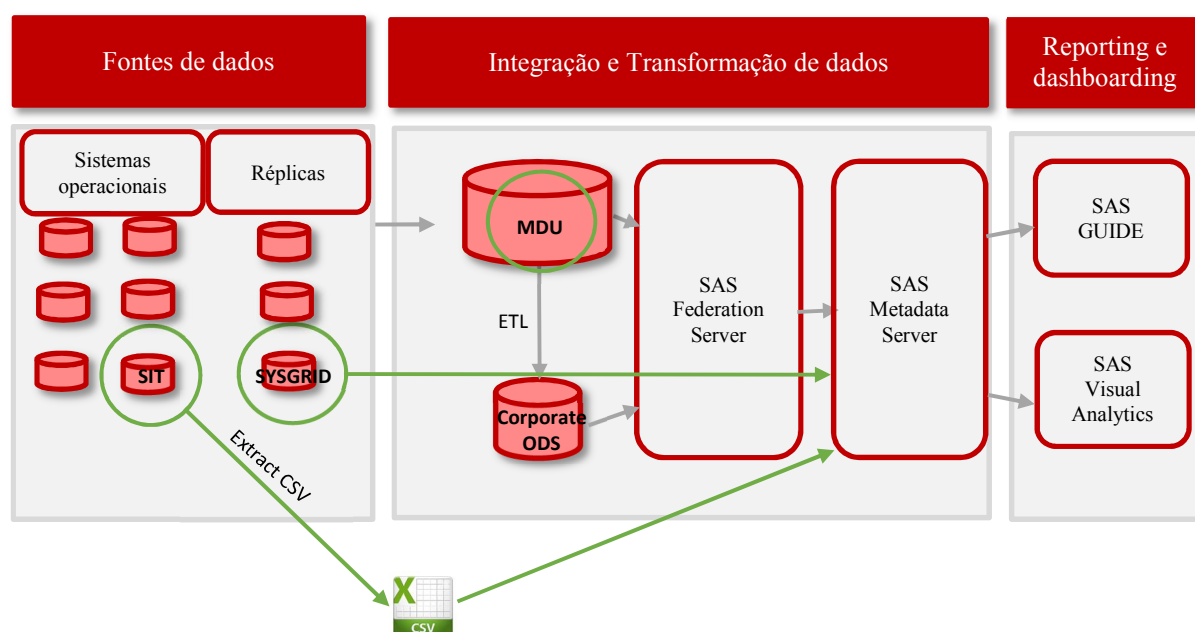


Figura 4.11 - Sistemas utilizados para a criação dos modelos de dados

- SIT

O SIT, ou Sistema de Informação Técnica, é um sistema operacional baseado em SIG (Sistema de Informação Geográfica) orientado por objetos que possibilita que um objeto representado a um nível geográfico, por exemplo, um PT, possa conter uma representação gráfica associada, ou seja, ligações a outros objetos geográficos [42]. Neste sistema encontram-se cadastrados todos os elementos da Rede de Distribuição da EDP Distribuição.

Informações de distância de troços ou coordenadas de CPEs foram extraídas do SIT através de uma aplicação interna, em formato CSV, e posteriormente importadas para *SAS Guide* onde se fez o tratamento das tabelas.

- **SYSGRID**

O SYSGRID (deriva do Inglês *Smart Grid Asset Data Management*) e é um sistema utilizado pela EDP Distribuição para gestão dos ativos de Inovgrid para BT. Inclui os recursos necessários à execução de comandos e recolha de dados da infraestrutura Inovgrid com a possibilidade de ser integrado em sistemas comerciais, gestão de comunicações e configurações de rede. [43]

O SYSGRID tem uma *interface* de utilizador através de uma aplicação modular e configurável que disponibiliza ferramentas para a exploração técnica e comercial de redes elétricas de distribuição. Sempre que é instalado um equipamento a informação sobre este e os dados associados ficam disponíveis.

Através desta aplicação é possível pesquisar por ponto de entrega e ter acesso aos detalhes, tais como, CPE, CIL, cliente e tipo de cliente. Informações do cliente, isto é, ciclo tarifário, potência contratada. Bem como, informação geográfica (georreferência) e outras informações (perfil de consumo, tipo de instalação, nível de tensão, ramal, etc.). A partir deste ponto de entrega é possível ver qual a EB associada, e a data de início da associação ao PE.

Se pesquisarmos por equipamento (EB ou DTC) tem-se acesso à informação do mesmo (marca, modelo, referência, etc.) e informações adicionais, isto é, estado da configuração, estado de comunicações, estado da rede, etc. Tem-se também acesso à informação geográfica do equipamento. É ainda possível ter acesso a toda a informação das configurações e parametrizações do equipamento, e aos tipos de registos efetuados. Em relação aos dados de contagem, estes estão disponíveis para os equipamentos que estejam a recolher dados, com toda a discriminação do tipo de dados (data recolha, data leitura/valores por tipo de registo), de acordo com o intervalo de tempo escolhido.

Para fazer a gestão de eventos estão disponíveis listas com o tipo de eventos e a data dos mesmos, associadas a cada equipamento, de forma a que, se for caso disso, o problema seja resolvido.

É um sistema alimentado por várias tabelas contendo toda a informação descrita e com um modelo de dados complexo, do qual foi criada uma réplica. Tendo sido a réplica utilizada para a realização deste projeto.

- **MDU**

Tal como já foi referido, o MDU é um Modelo de Dados Unificado que faz a integração e transformação de alguns dados dentro da arquitetura de BI. Um dos sistemas que alimenta este MDU é o SYSGRID, apenas com um conjunto de informação operacional necessária às unidades de negócio. Como tal, este sistema foi utilizado para este projeto, em alguns casos que se justificasse, de forma a agilizar o processo de recolha e processamento dos dados.

Cada sistema possui um formato de bases de dados próprio e bastante complexo. Por questões de confidencialidade, apenas estão representados os modelos criados no âmbito do projeto, bem como as tabelas utilizadas com a informação simplificada.

Antes de iniciar este desenvolvimento, criou-se um modelo de dados com o total de EBs, obtendo-se assim uma tabela com a informação estática relativa às EBs. Este modelo criado permitiu facilitar não só o desenvolvimento dos modelos de desempenho dos equipamentos, como foi também utilizado para outras análises fora do âmbito deste projeto e que não são descritas no presente documento.

De seguida encontra-se uma representação gráfica que pretende ilustrar o formato geral dos modelos de dados e dos formatos e interligações das tabelas utilizadas:

- Para análise do desempenho dos DTCs (cujo nome do modelo é: “Desempenho DTC”):
 - Diagrama de dependências funcionais da tabela - Desempenho DTC (Figura 4.12);
 - Modelo de Entidade-Relacionamento - Desempenho DTC (Figura 4.13).
- Para análise do desempenho das EBs (cujo nome do modelo é: “Desempenho EB”):
 - Diagrama de dependências funcionais da tabela - Desempenho EB (Figura 4.14);
 - Modelo Entidade-Relacionamento – Desempenho EB (Figura 4.15)
- Com informação das características da sub-rede associada a um DTC (cujo nome do modelo é: “Geral sub-rede”):
 - Modelo Entidade-Relacionamento – Geral sub-rede (Figura 4.16)

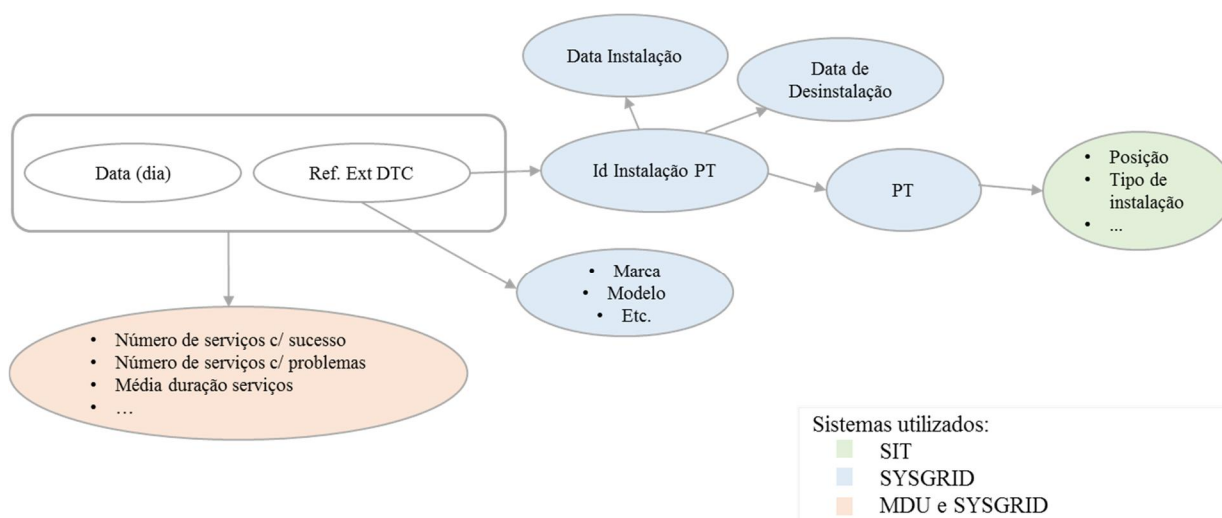


Figura 4.12 - Diagrama de dependências funcionais da tabela - Desempenho DTC

Como representado no diagrama da Figura 4.12, a chave desta tabela é uma concatenação de atributos – {Data(dia), Ref. Ext. DTC} e a tabela encontra-se na primeira Forma Normal (1FN), uma vez que:

- Os domínios dos atributos contêm apenas valores atômicos;
- Não há conjuntos de atributos repetidos descrevendo a mesma característica.

Uma tabela que esteja na 1FN está de acordo com o modelo relacional, ainda assim pode dar origem a dados redundantes, o que é o caso desta tabela. Idealmente deveria normalizar-se, de forma a que não existissem dados redundantes. Isto seria possível dividindo a tabela para que não houvessem atributos que só dependem de parte da chave, como é o caso da Marca, Modelo, etc. que só dependem da Ref. Ext. do DTC e não da totalidade da chave {Data(dia), Ref. Ext. DTC}.

Não foi possível normalizar mais esta tabela, visto que, para a análise posterior dos dados com SAS VA, apenas é possível ter uma única fonte de dados (tabela) para cada objeto (por exemplo, gráficos ou mapas).

O modelo de Entidade-Relacionamento encontra-se na Figura 4.13 e pretende ilustrar o formato geral dos modelos de dados e dos formatos e interligações das tabelas utilizadas, bem como a estrutura dos atributos (campos ou colunas da tabela) especificando o tipo, tamanho e restrições de integridade. Este modelo foi criado através do *software* MySQL Workbench.

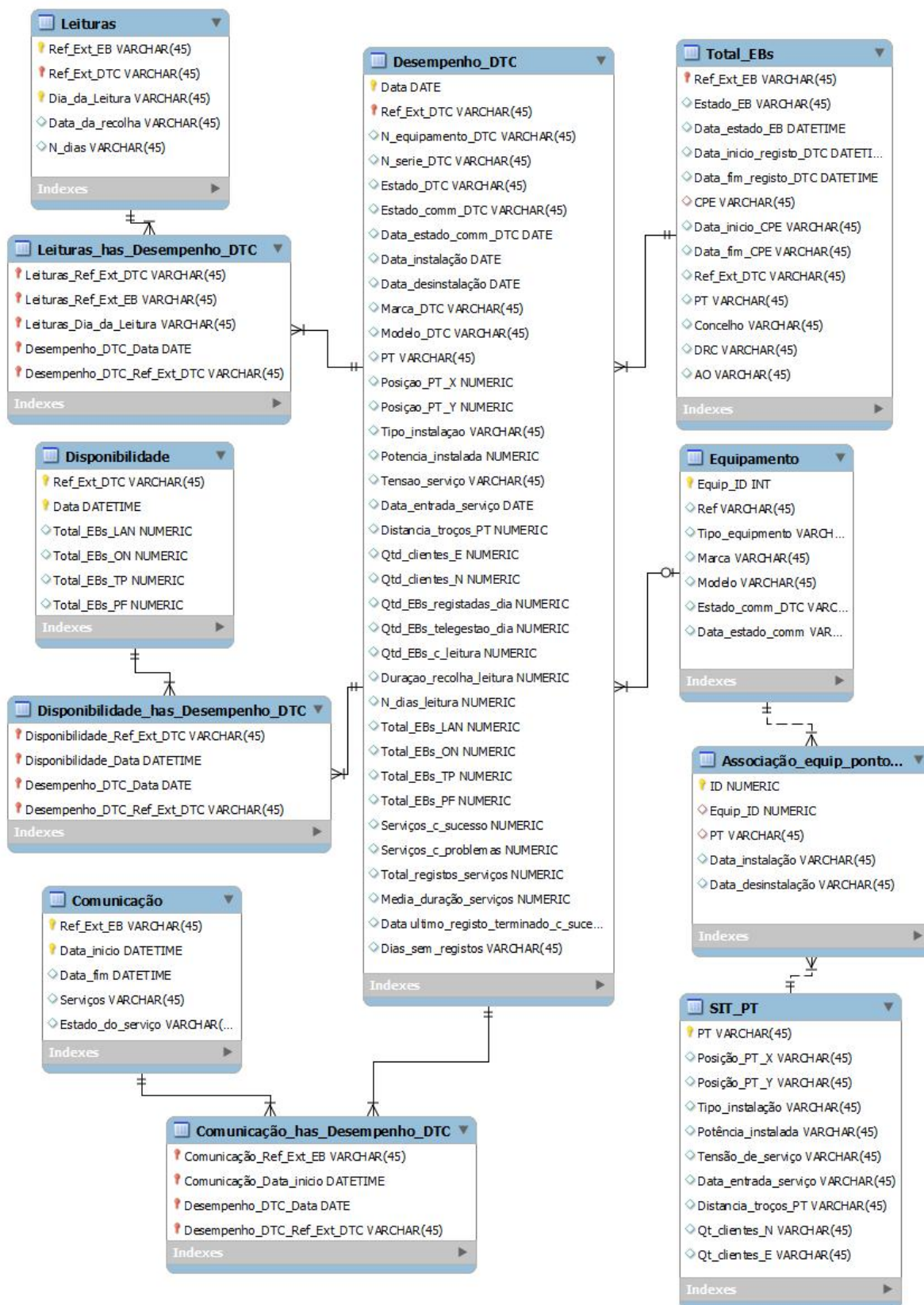


Figura 4.13 - Modelo Entidade-Relacionamento - Desempenho DTC

O diagrama de dependências funcionais da tabela – Desempenho da EB encontra-se na Figura 4.14 .

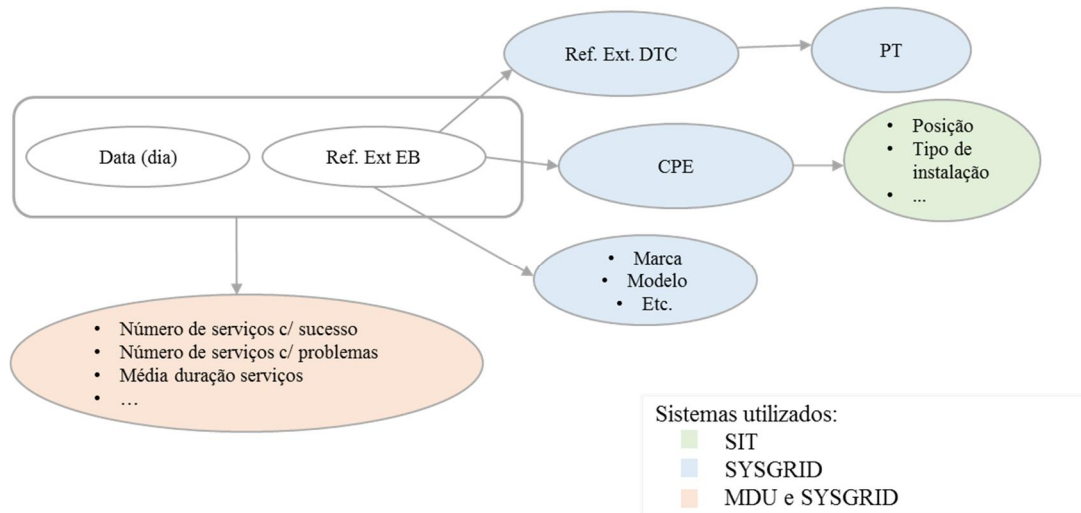


Figura 4.14 - Diagrama de dependências funcionais da tabela - Desempenho EB

Tal como na tabela de desempenho do DTC os valores também são obtidos para cada dia e para cada EB, sendo a chave desta tabela uma concatenação de atributos – {Data(dia), Ref. Ext. EB} e a tabela encontra-se na primeira Forma Normal (1FN).

O modelo de Entidade-Relacionamento encontra-se na Figura 4.15.

Optou-se por criar tabelas com os indicadores pré-calculados de forma a reduzir o número de variáveis da tabela. Sendo os indicadores apenas calculados e visualizados posteriormente em SAS VA com base nestas tabelas.

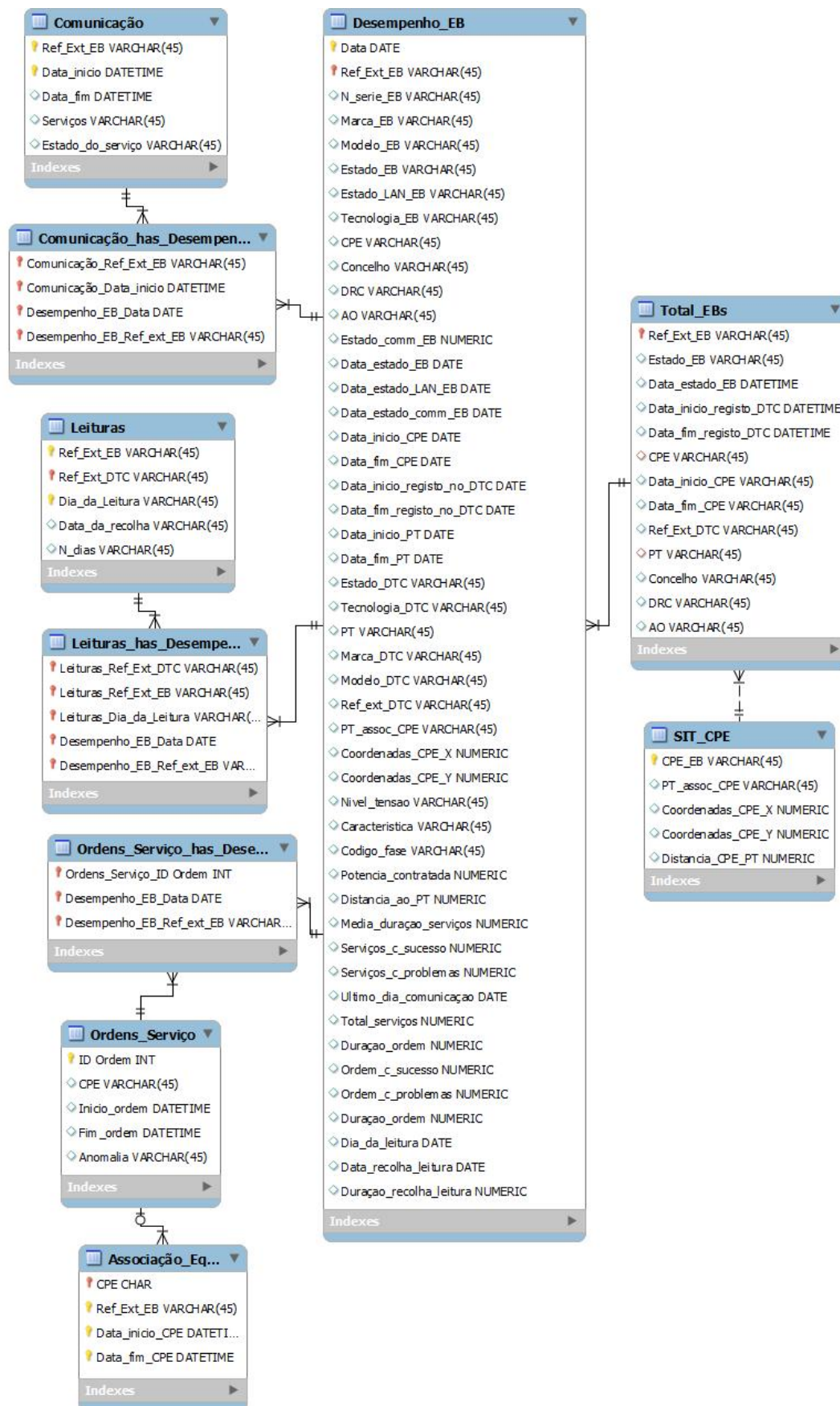


Figura 4.15 - Modelo Entidade-Relacionamento - Desempenho EB

Por fim, a tabela “Geral sub-rede” contém informação dos equipamentos (DTC e EBs) instalados na rede (marca, modelo, estado) e as respetivas localizações, bem como, a tecnologia utilizada na comunicação. A chave primária desta tabela é a referência externa do DTC e é através desta pode ser feito o mapeamento para a tabela “Desempenho DTC” (em SAS VA). A tabela contém as associações das EBs ao respetivo DTC (todas as EBs registadas no DTC). Apenas se representa o modelo Entidade-Relacionamento (Figura 4.16) uma vez que o diagrama de dependências é muito semelhante aos anteriores.

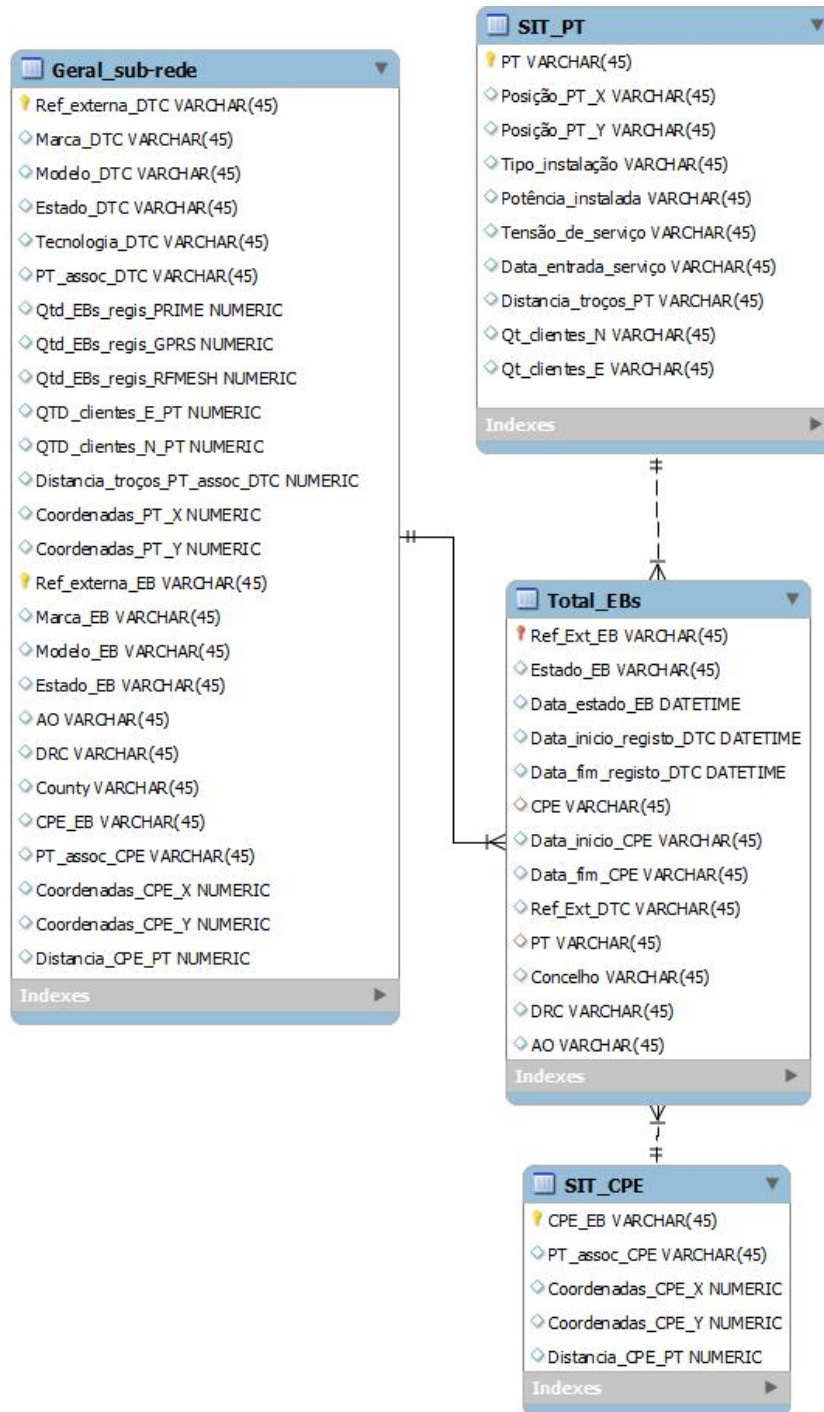


Figura 4.16 - Modelo Entidade-Relacionamento - Geral sub-rede

4.4.2.4 Caracterização da amostra

Para a realização deste projeto selecionou-se um conjunto de equipamentos para validar a metodologia e a informação que estava a ser recolhida e os indicadores a serem calculados.

Foi selecionada apenas uma amostra de DTCs e as respetivas EBs associadas, considerando-se, portanto, que uma sub-rede é dada pelo DTC e pelas EBs que nele estão registadas. As características dos DTCs escolhidos distribuem-se pelas variáveis a comparar acima descritas. Optou-se por selecionar um conjunto de equipamentos de forma a agilizar o processo de criação de tabelas e validação da informação, uma vez que seria moroso analisar a informação de todos os equipamentos instalados em Portugal nesta fase de desenvolvimento do projeto.

A amostra caracteriza-se por 49 DTCs aos quais correspondem 8.156 EBs registadas no total.

A distribuição de DTCs da amostra, em termos de quantidade, por tecnologia de comunicações encontra-se na Figura 4.17.

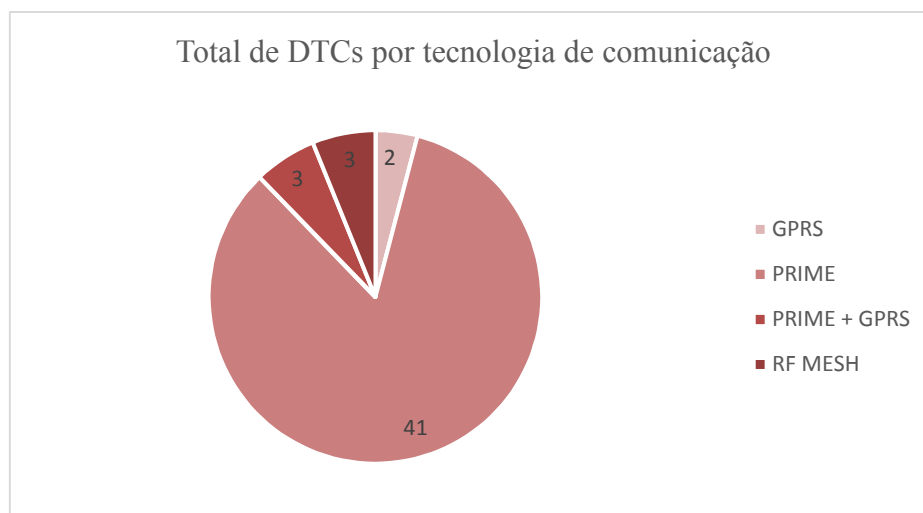


Figura 4.17 - Distribuição de DTCs da amostra, por tecnologia de comunicações

Em termos de tecnologia de comunicação (entre DTC e EB) foram selecionados diferentes tipos para a análise ao DTC, distribuídos por tecnologia PRIME, GPRS e DTCs com EBs a comunicar com os dois tipos de comunicação, e RF Mesh. Foi dada maior relevância a tecnologia PRIME uma vez que é a tecnologia com maior quantidade de equipamentos instalados em Portugal.

Aos 49 DTCs correspondiam um total de 8.156 EBs associadas a estes DTCs que também foram analisadas e que se distribuem por tecnologia de comunicação nas quantidades indicadas Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Distribuição de EBs da amostra, por tecnologia de comunicações

<i>Tecnologia de comunicação</i>	<i>Quantidade de EBs associadas a DTCs</i>
<i>PRIME</i>	5917
<i>GPRS</i>	1164
<i>PRIME+GPRS</i>	923
<i>RF MESH</i>	151

Dos 49 DTCs, estes distribuíam-se por três marcas diferentes:

- Marca DTC A: 38
- Marca DTC B: 6
- Marca DTC C: 5

Do total de EBs para análise, estas distribuem-se por 6 marcas, representadas pelas quantidades indicadas na Figura 4.18.

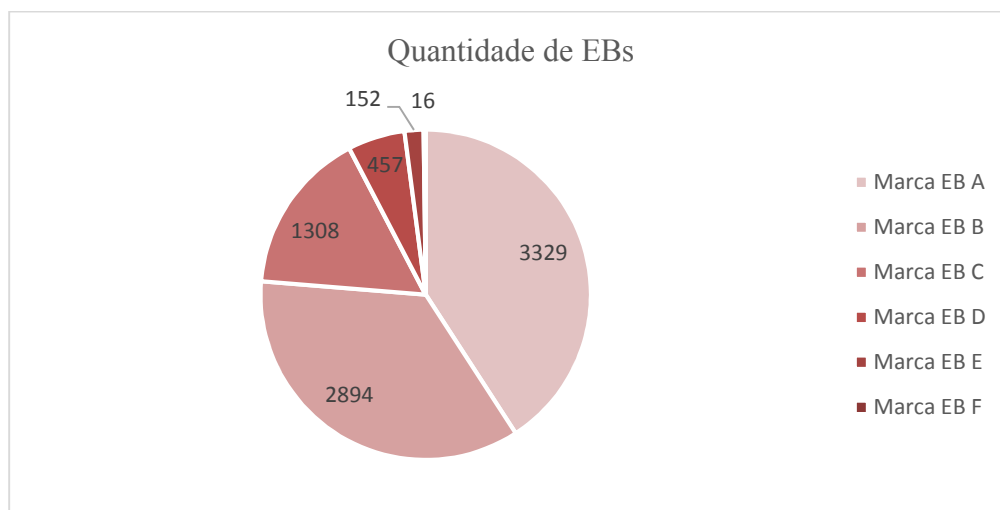


Figura 4.18 - Distribuição de EBs da amostra, por marca

A marca da EB A é a marca com maior número nesta amostra, tal como em todo universo das EBs instaladas em Portugal.

No que diz respeito à tecnologia de comunicações PRIME foram tidas em conta algumas características da rede.

Foram selecionados 3 PTs com mais do que um DTC instalado, ou seja, mais do que um transformador. Sendo que, um dos casos é com 3 transformadores (equivale a 3 DTCs), e os outros 2 com 2 transformadores (que equivalem a 2 DTCs).

Uma das informações recolhidas é a data de instalação dos PTs, o que pode ser um indicador da idade da rede, na qual a infraestrutura de comunicações vai estar assente. Esta não é uma variável muito relevante, uma vez que, por exemplo, um PT com uma data de instalação antiga pode ter uma infraestrutura de cabos recente a jusante, e isto não ser revelador da idade da rede. No entanto, a informação dos cabos (tipo e idade) não foi possível obter para a totalidade desta análise, optando-se apenas por considerar esta informação (data de instalação do PT). Sendo que, a grande maioria dos DTCs escolhidos para amostra estão instalados em PTs com menos de 40 anos, de acordo com o gráfico da Figura 4.19.

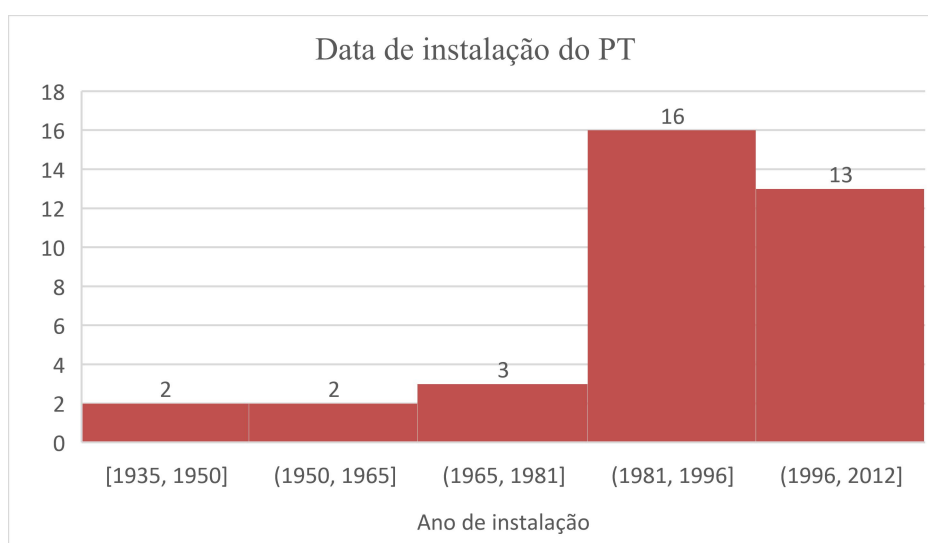


Figura 4.19 - Quantidade de DTCs instalados, por ano de instalação de PT

A distância total dos troços, ou comprimento, também foi recolhida, de forma a perceber se é uma sub-rede com muita ou pouca densidade de EBs PRIME. Este valor corresponde ao comprimento total dos troços da sub-rede afetos ao PT no qual o DTC está instalado. Os valores de DTCs por distância total dos troços encontram-se distribuídos no gráfico da Figura 4.20.

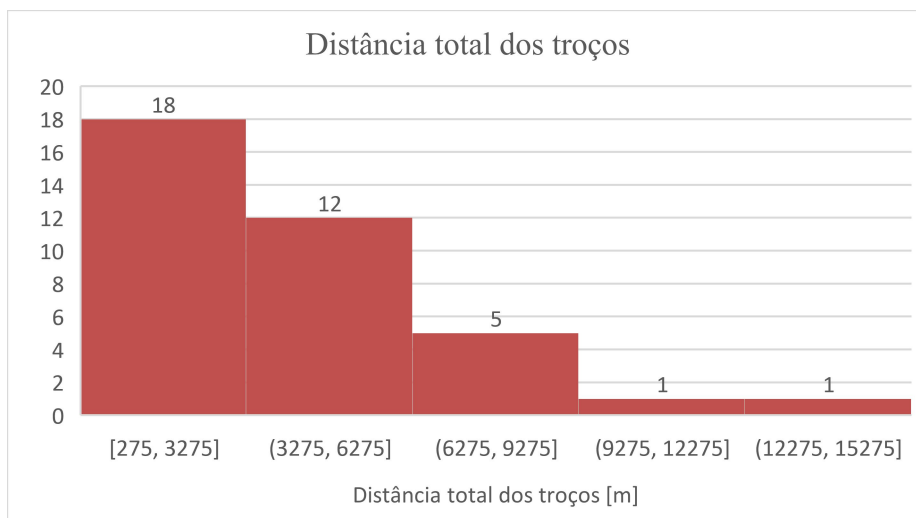


Figura 4.20 - Quantidade de DTCs instalados, por distância total dos troços afetos ao PT

A maioria das sub-redes da amostra está a baixo dos 6000 m de distância total dos troços. Foram ainda selecionadas algumas redes com valores superiores, e com menos densidade de EBs PRIME na rede, de forma a ter uma amostra mais variada.

A relação entre o total de EBs registadas e a distância total dos troços da rede está representada na Tabela 4.3 com três exemplos das sub-redes com menor distância ou comprimento total dos troços, e os três casos com comprimentos mais elevados. Cada entrada da Tabela 4.3 corresponde a informação de um DTC.

Tabela 4.3 – Comparação entre variáveis para DTCs instalados com distância total dos troços da sub-rede (os 3 valores menores e os 3 valores mais elevados da amostra)

<i>Total EBS registadas</i>	<i>Distância total da sub-rede</i>	<i>Densidade de EBs PRIME na sub-rede</i>
75	275	0,27
65	370	0,18
47	517	0,09
193	8304	0,02
459	9449	0,05
335	12620	0,03

Pode observar-se na Tabela 4.3 que quanto maior a distância menor a densidade de EBs. Por outro lado, em redes mais pequenas, a facilidade de encontrar elevadas densidades de EBs PRIME na sub-rede é superior, como são os casos de zonas urbanas mais densificadas.

Em termos de percentagem de EBs PRIME por quantidade de clientes BTN no PT a amostra representa-se pelo gráfico da Figura 4.21. Esta informação foi agrupada em três classes, percentagens inferiores a 50%, entre 50 e 95% e superiores a 95%. Para o último caso significa que a sub-rede associada ao PT está praticamente ou totalmente fechada em termos de EBs instaladas por PE.

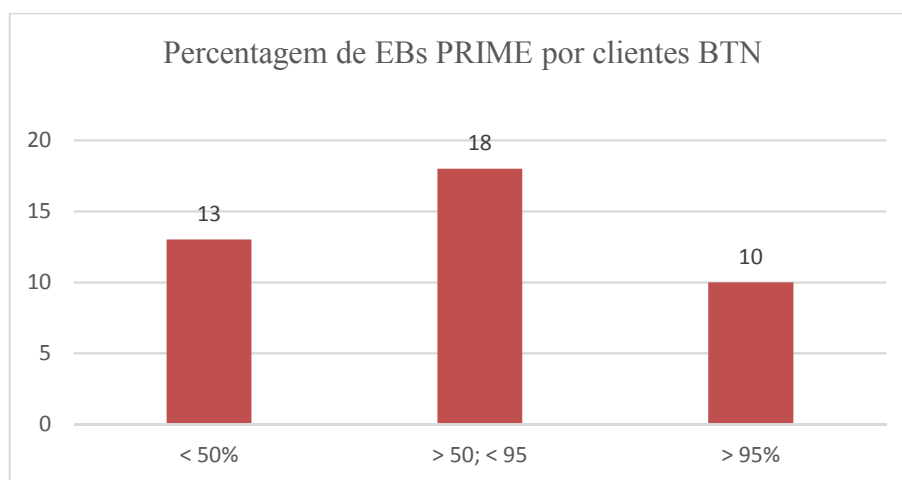


Figura 4.21 - Percentagem de EBs PRIME por clientes BTN

No que diz respeito à distância entre o PE e o PT, isto é, distância entre EB e DTC, existe uma elevada dispersão de valores que variam de cerca de 1 metro até cerca de 681 metros, tal como se pode observar na Figura 4.22. Cada ponto do gráfico de dispersão corresponde a uma EB.

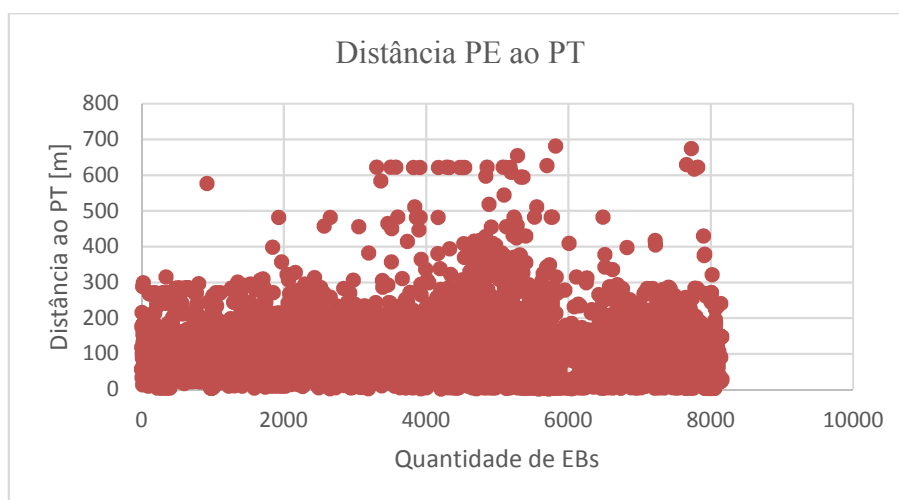


Figura 4.22 - Distância do PE ao PT

4.4.2.5 Criação das tabelas e pré-processamento dos dados

A implementação do desenho físico foi feita utilizando o SAS Guide, onde foi possível desenvolver o projeto de forma a obter os modelos de dados pretendidos.

Para a criação das tabelas em SAS Guide aplicaram-se os filtros, de acordo com o conjunto de equipamentos selecionados para amostra, nas primeiras *queries* do *workflow* de forma a que numa fase posterior fosse possível expandir este modelo de dados a toda a Rede de Distribuição e a todos os equipamentos instalados.

Aplicaram-se ainda filtros de datas, considerando apenas dados desde o início do ano de 2017.

Na Figura 4.23 apresenta-se uma secção do *workflow* para implementação do desenho físico do modelo de dados: Desempenho do DTC. Por razões de confidencialidade as secções que o complementam não são apresentadas.

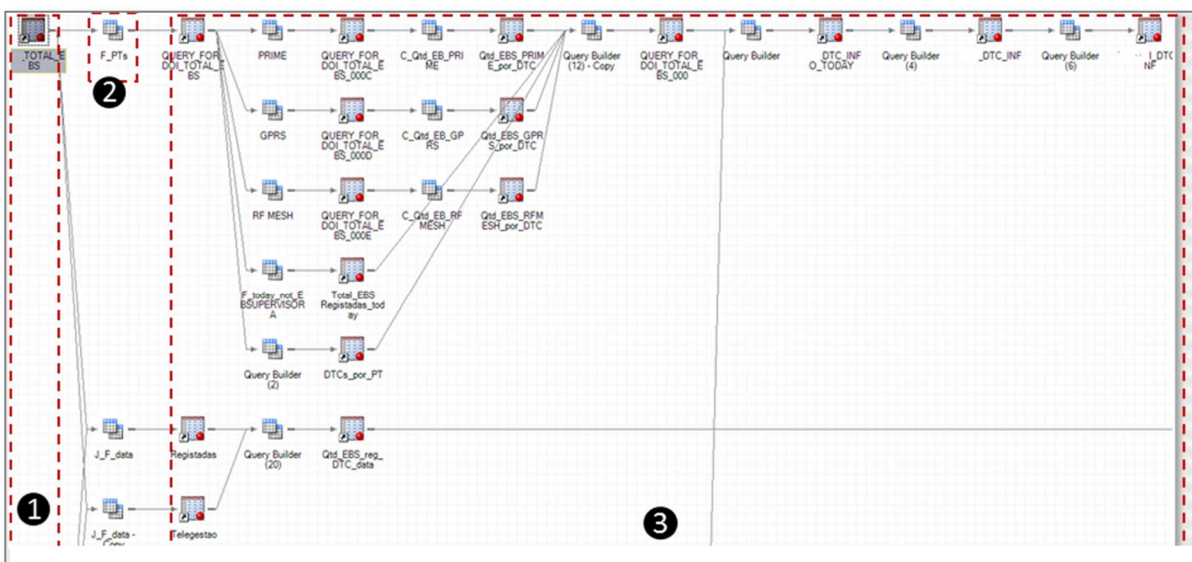


Figura 4.23 - Secção do *workflow* em SAS guide para o modelo de dados: desempenho DTC

O objetivo da Figura 4.23 não é documentar os detalhes da implementação (que não são visíveis) mas sim apresentar uma ilustração global das ligações. Assinaladas com círculos pretos estão algumas áreas que se destacaram para a organização do *workflow*. A área número um corresponde às tabelas das fontes que alimentam o modelo de dados. Com o número dois está um filtro aos equipamentos (apenas os equipamentos da amostra). O número três representa toda a área de *queries* que foram feitas neste modelo.

Na Figura 4.24 apresenta-se o *workflow* completo da implementação do desenho físico do modelo de dados: Desempenho EB. Tal como no caso anterior os detalhes não são visíveis e o que se pretende é fazer uma ilustração global desta implementação.

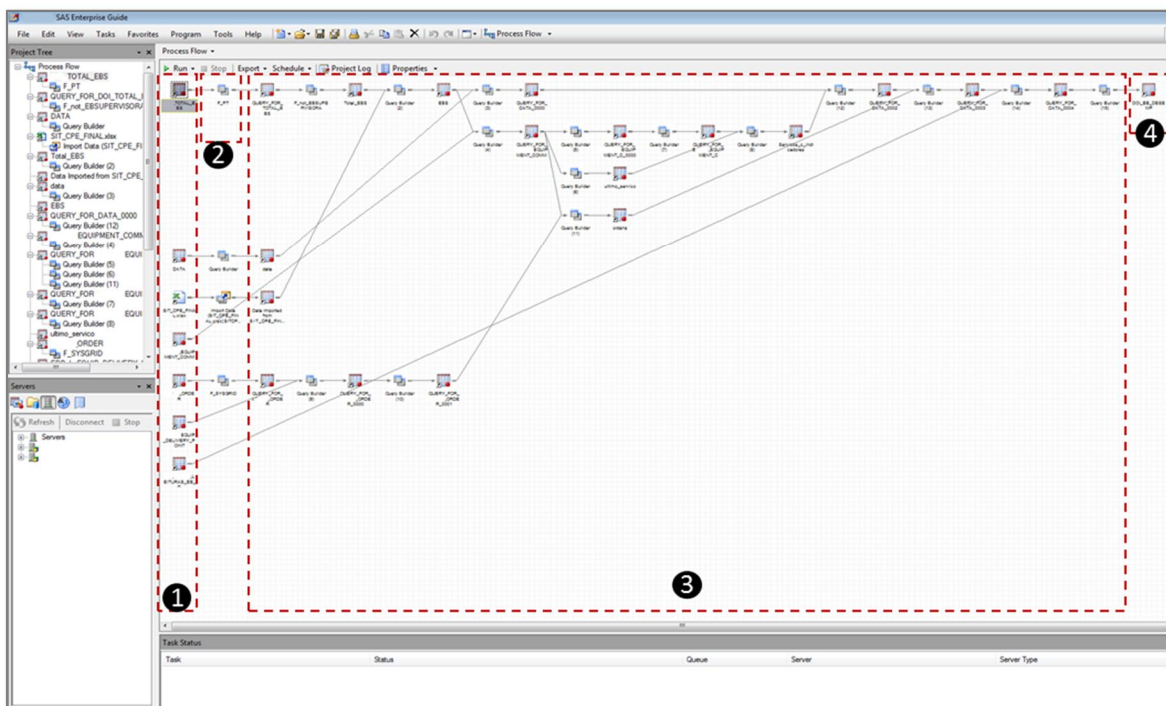


Figura 4.24 - *Workflow* completo da implementação do modelo de dados: desempenho EB

Os números assinalados na Figura 4.24 têm a mesma correspondência do caso anterior. Neste caso está também representado o número quatro que corresponde à tabela final “Desempenho EB”.

A Figura 4.25 ilustra o *workflow* para a criação da tabela “Geral sub-rede” e a organização das áreas do *workflow* é a mesma que nos casos anteriores.

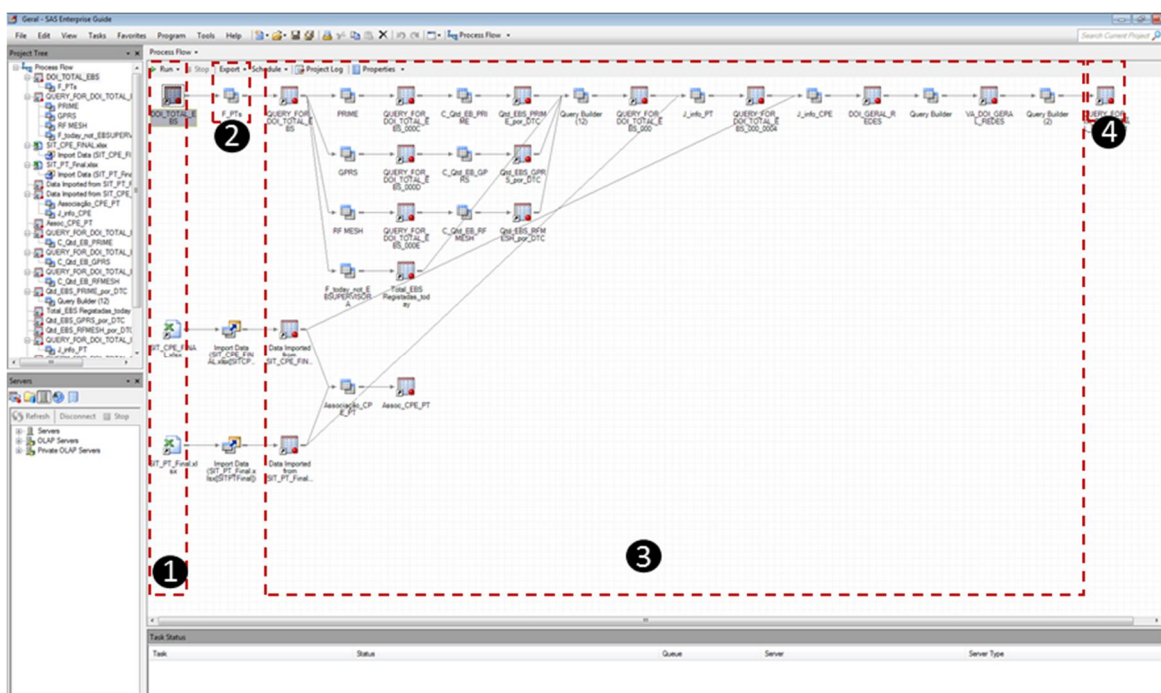


Figura 4.25 - *Workflow* completo da implementação do modelo de dados: Geral sub-rede

Depois da criação das tabelas em SAS Guide estas foram carregadas em memória no SAS LASR Server de modo a ficarem disponíveis na plataforma SAS VA onde posteriormente foram desenhados os *dashboards* de forma a visualizar e analisar a informação.

Durante o processo da criação das tabelas e pré-processamento dos dados em SAS Guide houve uma preocupação na integridade da informação contida nas tabelas, sendo necessário ao longo deste processo validar os dados em causa.

As principais dificuldades sentidas durante a realização desta etapa deveram-se essencialmente aos seguintes fatores:

- Complexidade dos modelos de bases de dados, com um elevado número de tabelas e necessidade de muito tempo de exploração da informação;
- Falta de normalização taxonómica entre tabelas e atributos;
- Indisponibilidade dos servidores, devido aos processos de replicação de dados não estarem devidamente estáveis que se revelou uma situação frequente e que dificultava o tratamento da informação;
- Processamento de dados demorado devido à elevada quantidade de informação (dados).

4.4.3 Etapa 3: Prospeção dos dados - Processo de Apoio à Decisão Multicritério

A etapa de Prospeção dos dados foi desenvolvida tendo em conta que se pretendia que os resultados de desempenho fossem apresentados por ordem de classificação, ou por segmentação dos equipamentos, de uma forma intuitiva e facilmente identificável. Promovendo assim melhores análises e decisões.

A ferramenta utilizada nesta etapa foi o SAS VA que é uma ferramenta de *dashboarding* e *reporting* que permite de uma forma intuitiva e dinâmica a visualização e análise de dados.

Em primeiro lugar calcularam-se os indicadores pretendidos. Com os indicadores calculados selecionaram-se e aplicaram-se métodos que permitiriam classificar o desempenho dos equipamentos, sendo estes descritos como métodos de Apoio à Decisão Multicritério. De seguida criou-se um *dashboard* para visualizar esta informação.

4.4.3.1 Cálculo dos indicadores

Como referido, a ferramenta utilizada para esta etapa foi o SAS VA. Para o desenvolvimento de projetos ou *dashboards* através desta ferramenta, é necessário escolher uma fonte de dados, ou seja, as tabelas que vão ser importadas para o projeto. Na Figura 4.26 está assinalado a vermelho o seletor da fonte de dados.

No âmbito deste projeto as fontes de dados utilizadas foram as tabelas anteriormente criadas. Os itens de dados, que correspondem às colunas das tabelas importadas, são associados a um tipo de item (categoria, medida, medida agregada ou parâmetro), como se pode observar na Figura 4.26 de um recorte da janela do SAS VA, alguns exemplos de itens cujo seu tipo é categoria.

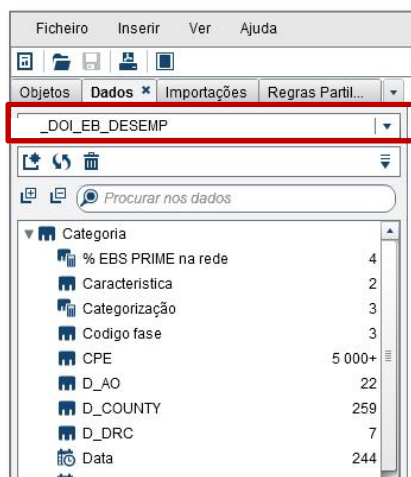


Figura 4.26 - Janela da plataforma SAS VA, seleção de fonte de dados

Com esta ferramenta é possível criar outros itens ou medidas a partir dos itens importados. Desta forma foi possível calcular os indicadores.

Um exemplo de como se calcularam os indicadores está representado Figura 4.27, onde se calculou a “% de serviços realizados com sucesso”.

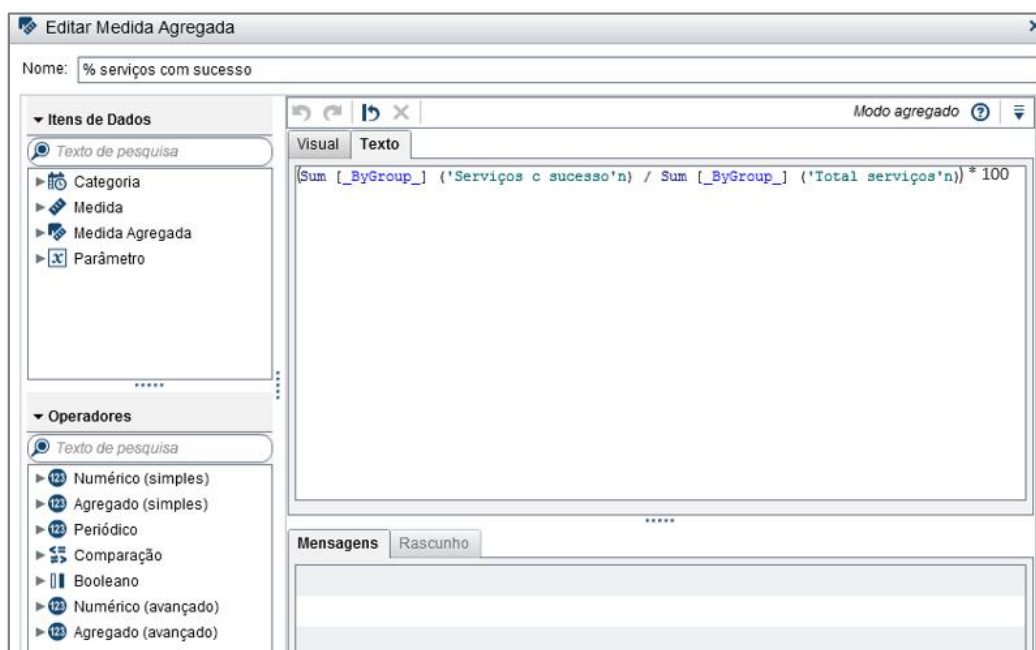


Figura 4.27 - Janela da plataforma SAS VA, edição de medida agregada - % de serviços realizados com sucesso

Na parte superior da Figura 4.27 está a indicação do que se está a calcular que é neste caso uma medida agregada. Uma medida agregada permite calcular novos itens de dados usando valores agregados.

Do lado esquerdo da imagem na Figura 4.27 estão os itens de dados que podem ser utilizados, que neste caso foram “Total de serviços com sucesso” e “Total de serviços”. Do lado esquerdo, na parte inferior encontram-se os operadores, neste caso, utilizou-se o “Sum [byGroup]” que soma os valores correspondentes ao item inserido e inclui um operador de divisão.

Como esta é uma medida agregada, são somados todos os serviços realizados com sucesso, e divide-se pela soma de todos os serviços solicitados ao equipamento, no período de tempo que se pretender (utilizando filtros de data). Obtém-se assim um valor médio de percentagem de realização de serviços pelo equipamento. Este cálculo aplica-se aos equipamentos DTCs e aos equipamentos EBs, sendo que para os primeiros a tabela ou fonte de dados utilizada é “Desempenho DTC” e para o segundo é a tabela “Desempenho EB”.

Para os restantes indicadores o procedimento de cálculo foi semelhante utilizando as funções disponíveis no SAS VA.

Após calcular todos os indicadores referentes aos DTCs extraiu-se uma tabela com as colunas presentes na Tabela 4.4. A tabela original representada apenas por 6 entradas na Tabela 4.4 contém 49 entradas que corresponde à amostra de DTCs selecionados. Aplicou-se um filtro para um período de 2 meses e os valores apresentados são valores médios.

Tabela 4.4 – Exemplo da informação dos indicadores calculados (valores médios) em SAS VA por equipamento (DTC)

<i>Referência externa DTC</i>	<i>% Serviços com sucesso</i>	<i>Tempo médio realização de serviços (min)</i>	<i>% EBs com leitura</i>	<i>Tempo médio recolha leituras (min)</i>	<i>% EBs ON</i>
R.E. DTC 1	93,9	24,32	92,7	535,33	97,9
R.E. DTC 2	93,3	26,06	97,6	443,47	96,5
R.E. DTC 3	93,0	23,63	92,5	342,89	96,3
...
R.E. DTC 47	67,5	19,60	74,2	5.135,41	50,4
R.E. DTC 48	87,5	26,69	1,8	3.108,21	95,9
R.E. DTC 49	38,3	36,81	43,6	4.848,12	93,4

Para o caso das EBs a tabela obtida é semelhante, mas com os indicadores definidos para a análise desses equipamentos (EBs).

4.4.3.2 Aplicação do método de Apoio à Decisão Multicritério

De forma a classificar os equipamentos por ordem de desempenho foi necessário escolher um método que permitisse calcular o desempenho, com base nos vários critérios, cada um com um grau de importância diferente. Com isto, optou-se por uma metodologia de Apoio à Decisão Multicritério, aplicando um método de ponderação de *Swing Weighting* [44].

Depois de calcular os indicadores que iriam permitir calcular o desempenho dos equipamentos e da análise do tipo de informação que se obtinha aplicou-se então o método descrito anteriormente.

A escala de valores dos indicadores varia de 0 a 100 quando se tratam de percentagens. E em minutos quando se trata de tempo. No entanto, para o cálculo do desempenho foi necessário fazer uma normalização, e a escala adotada foi de 0 a 1.

Para o caso das percentagens bastou dividir os valores por 100, e obtiveram-se novos valores de 0 a 1.

Para o caso dos valores de tempo foi necessário fazer uma segmentação por intervalos, atribuindo-lhes níveis entre 0 a 1. Sendo que quando mais baixo for o valor de tempo melhor, e quanto mais elevado pior.

- Tempos médios de realização de serviços

Recolheram-se todos os valores de tempos para cada serviço, ordenaram-se de forma ascendente e dividiram-se em 10 grupos. Para o primeiro grupo calculou-se a média que foi de aproximadamente 25 minutos, então considerou-se como sendo o valor ótimo (1). Para o segundo grupo estes valores encontravam-se em aproximadamente 25 e 35 minutos, então atribuiu-se o valor de 0,9. Optou-se por seguir uma lógica de decréscimo de 0,1 no valor atribuído por cada 10 minutos a mais de valor médio. Até ao valor de 0,4, uma vez que a partir daqui se considerou ser irrelevante fazer uma distinção entre valores, visto que não se pretendia penalizar o desempenho do equipamento com este indicador. A atribuição destes novos valores encontra-se no gráfico da Figura 4.28.

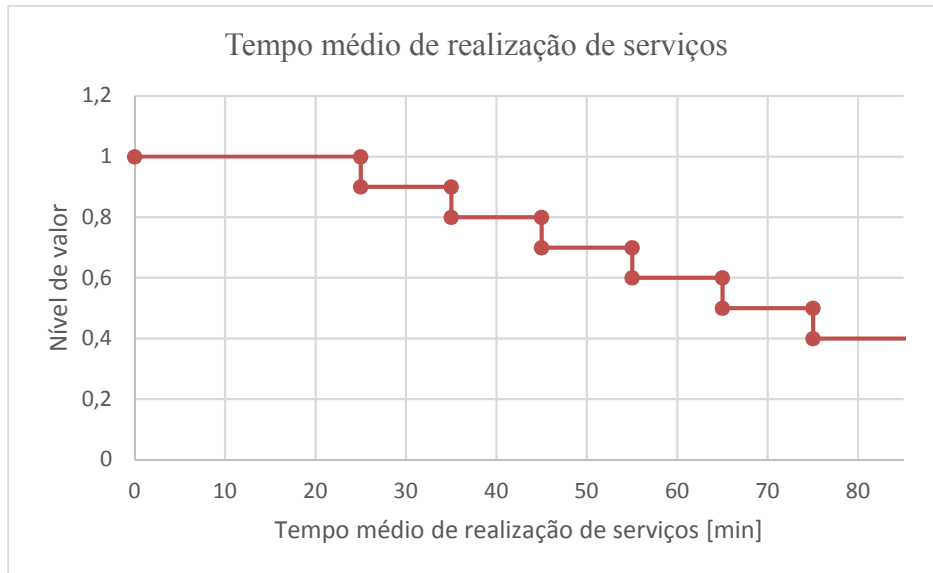


Figura 4.28 - Níveis de valores atribuídos ao indicador: tempo médio de realização de serviços (DTC)

Na ferramenta SAS VA a nova atribuição de valores foi feita através da criação de uma nova medida agregada, utilizando como itens de dados a duração média da realização de serviços, e o operador booleano: *IF... ELSE*. A implementação desta medida corresponde à Figura 4.29.

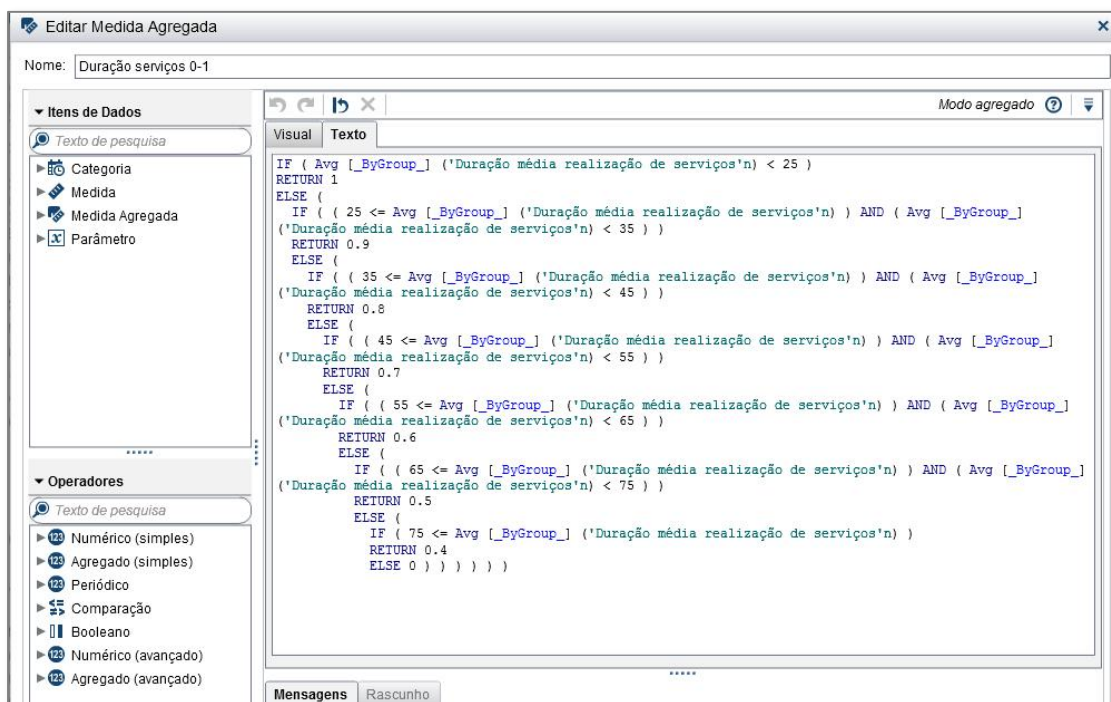


Figura 4.29 - Janela da plataforma SAS VA, edição de medida agregada – Atribuição de níveis de valores a item de dados: Tempo médio de realização de serviços

- Tempos médios de realização de leituras

Para este caso a abordagem foi semelhante relativamente aos tempos médios de realização de serviços. Dividiram-se todos os valores por 10 e verificou-se qual a média de cada grupo de valores, optando-se por aproximar a atribuição de valores aos níveis presentes na Figura 4.30.

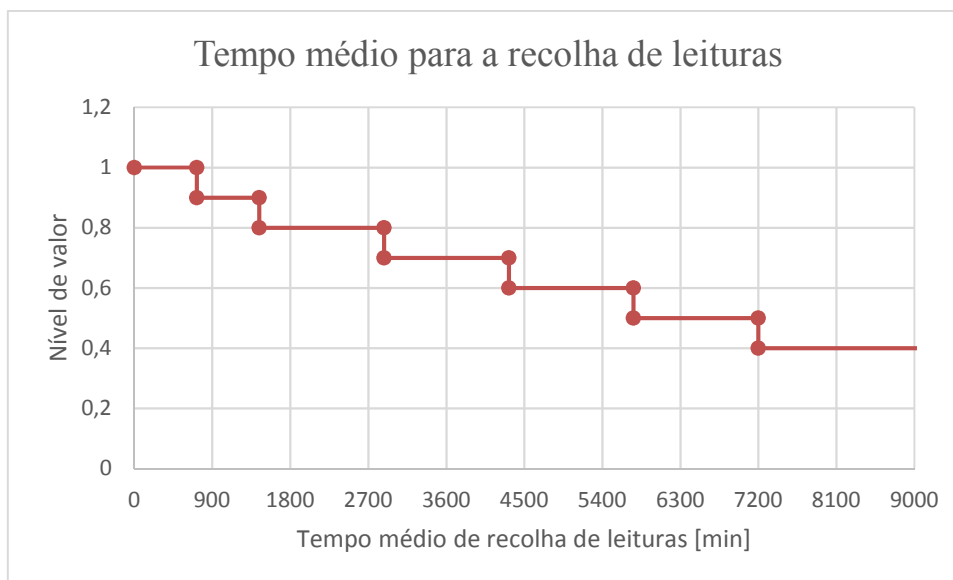


Figura 4.30 - Níveis de valores atribuídos ao indicador: tempo médio para a recolha de leituras (DTC)

À semelhança do que foi feito para os tempos médios de realização de serviços, também para este indicador se aplicou na ferramenta SAS VA a nova atribuição de valores através da criação de uma nova medida agregada, utilizando o operador Booleano: *IF... ELSE*. A implementação desta medida corresponde à Figura 4.31.

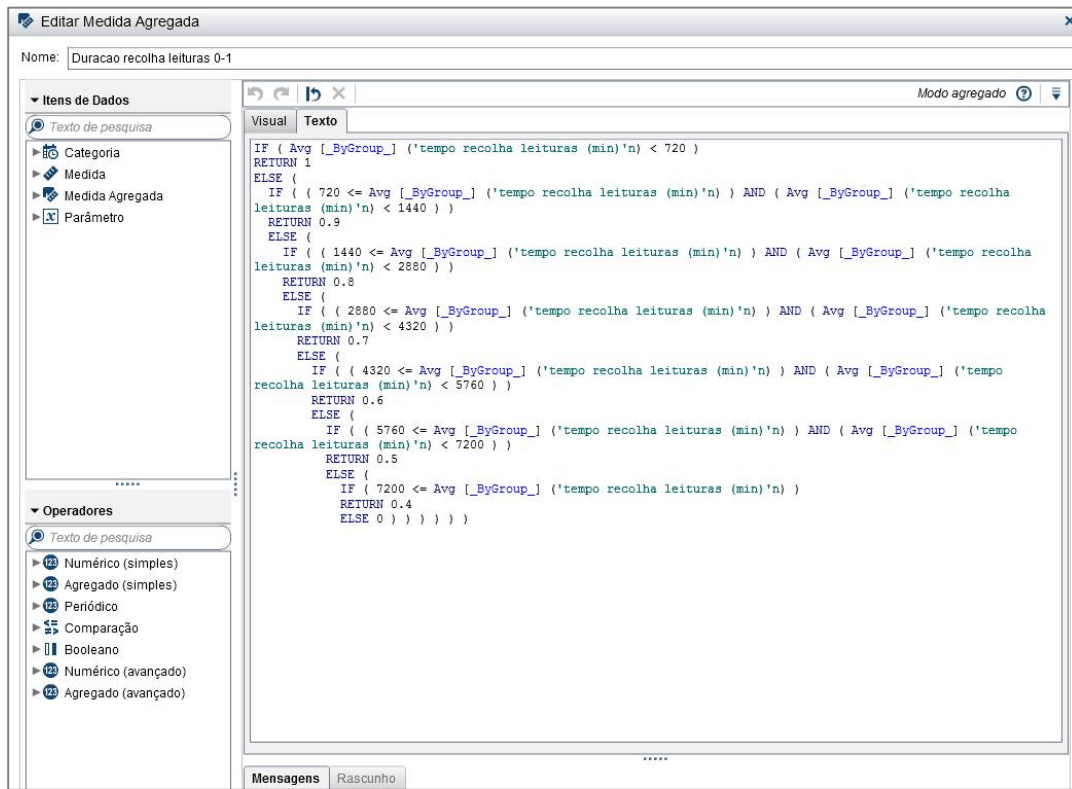


Figura 4.31 - Janela da plataforma SAS VA, edição de medida agregada – Atribuição de níveis de valores a item de dados: Tempo médio para a recolha de leituras

- Método de ponderação de *Swing Weighting*

Para esta análise teve que se ter em conta que os indicadores não são importantes na mesma escala, por isso é preciso utilizar outro tipo de julgamento de valores, relacionando este tipo de julgamentos com a importância relativa de cada um.

O método de ponderação *Swing Weighting* ajusta-se a este problema tendo sido aplicado de acordo com [44] e para o qual se enumeram as 3 etapas do método:

1. Estabelecer uma ordenação dos coeficientes de ponderação dos indicadores;
2. Proceder à sua quantificação;
3. Normalizar os valores obtidos para que a sua soma seja igual à unidade.

Assim, em termos operacionais foi necessário, atribuir um coeficiente de ponderação, ou também denominado de “peso” a cada indicador para que possa refletir a sua importância relativa. Foi necessário agregar os valores parciais de cada indicador, obtendo-se um valor global sobre o conjunto dos indicadores.

A ordenação de prioridade para a análise ao nível do DTC, Figura 4.32, foi baseada nos *inputs* transmitidos pelo supervisor da empresa e pela restante equipa do Departamento da Área em que se realizou o estágio, tendo em conta o seu grau de criticidade. De acordo com a informação recolhida, a infraestrutura deve corresponder às prioridades indicadas na Figura 4.32.

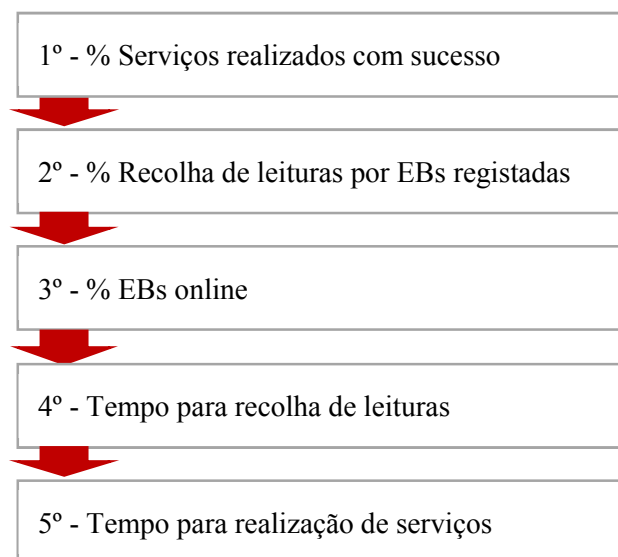


Figura 4.32 - Ordenação de indicadores por criticidade (DTC)

A quantificação dos valores a atribuir foi feita comparando os incrementos (*swings*) do melhor para o pior nível tendo como referência o melhor (ou mais relevante) indicador ao qual foi atribuído o valor de 100 pontos. A distribuição das quantidades atribuídas encontra-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Pontos atribuídos a cada indicador (DTC)

<i>Ordem de prioridade de indicadores</i>	<i>Pontos atribuídos</i>
% Serviços realizados com sucesso	100
% Recolha de leituras por EBs registadas	85
% EBs online	75
Tempo para recolha de leituras	70
Tempo para realização de serviços	40
Total	370

A percentagem de serviços realizados com sucesso considerou-se o indicador mais importante, uma vez que é o que melhor revela a disponibilidade do equipamento para realizar as funções que lhe compete. Por outro lado, o tempo para a sua realização é menos importante.

É função do concentrador (DTC) recolher todas as leituras realizadas pelas EBs e enviar essa informação para os sistemas centrais. Ora se o indicador de recolha de leituras por EBs registadas for demasiado baixo pode revelar um problema ao nível da sub-rede ou

do próprio concentrador. Sendo a recolha de leituras um dos principais serviços aos quais a infraestrutura deve corresponder com elevado sucesso, esta surgiu em segundo lugar.

A terceira etapa do método de *Swing Weighting* consistiu em normalizar os valores obtidos de forma a que a sua soma fosse igual à unidade. Onde se utilizou a Expressão (4.13):

$$K_j = \frac{K'_j}{\sum_{j=1}^n K'_j}, \text{ com } (j = 1, \dots, n) \quad (4.13)$$

Onde:

K'_j é o coeficiente de ponderação não normalizado do indicador j (obtido na segunda etapa).

K_j é o coeficiente de ponderação normalizado do indicador.

Os valores obtidos nesta etapa encontram-se na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Coeficientes de ponderação (K) por indicador (DTC)

<i>Ordem de prioridade de indicadores</i>	<i>Coeficiente de ponderação (K)</i>
% Serviços realizados com sucesso	0,27
% Recolha de leituras por EBs registadas	0,23
% EBs online	0,20
Tempo para recolha de leituras	0,19
Tempo para realização de serviços	0,11

Após este procedimento calcularam-se os valores agregados das alternativas utilizando o modelo aditivo que se representa pela seguinte expressão:

$$V(A) = \sum_{j=1}^n K_j v_j(a_j), \text{ com } \sum_{j=1}^n K_j = 1 \text{ e } K_j > 0$$

Onde:

$V(A)$ é o valor global da alternativa.

$v_j(a_j)$ é o valor do impacto da alternativa A no indicador j .

K_j é o coeficiente de ponderação do indicador j .

n é o número de indicadores.

Desta forma, e fazendo a aplicação do método ao desempenho total de cada DTC, a Expressão do desempenho é dada pela Expressão (4.14):

$$\text{Desempenho DTC (R.E. DTC)} = \sum_{j=1}^5 K_j v_j(a_j) , \text{ com } \sum_{j=1}^5 = 1 \text{ e } K_j > 0 \quad (4.14)$$

Desempenho DTC (R.E. DTC) é o valor global do desempenho para cada DTC, identificado pela sua Referência Externa (RE).

$v_j(a_j)$ é o valor do impacto do DTC no indicador j.

K_j é o coeficiente de ponderação do indicador j.

5 é o número de indicadores.

A aplicação da Expressão (4.14) foi feita em SAS VA da forma representada na Figura 4.33. Esta é uma medida agregada calculada com base nos indicadores calculados anteriormente. Sendo que todos os itens têm valores entre 0 e 1.

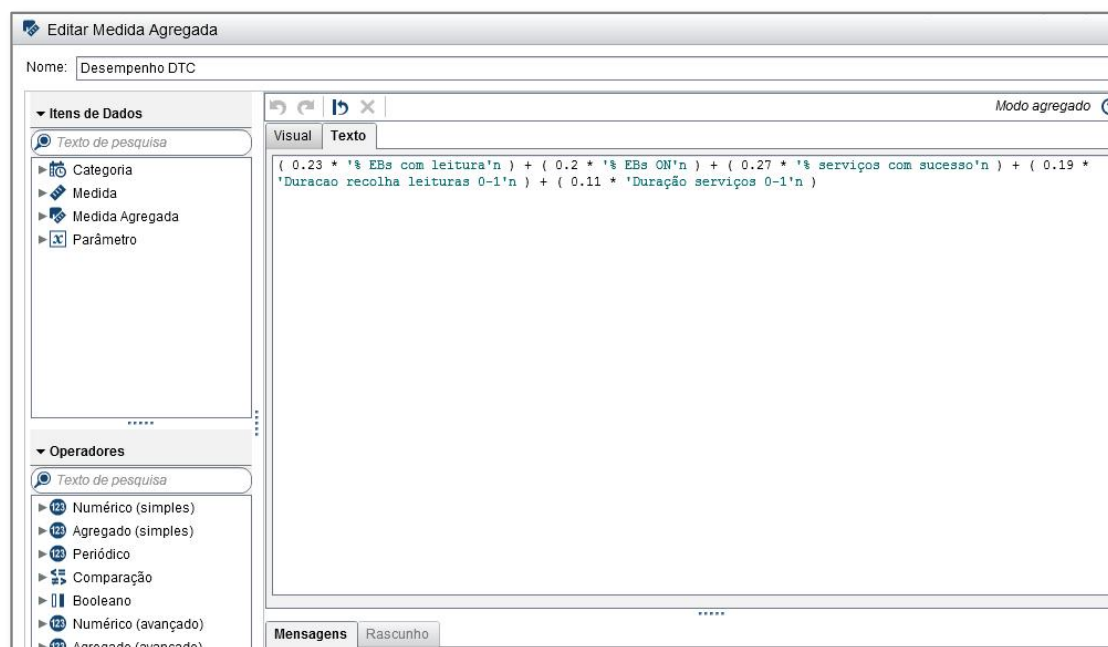


Figura 4.33 - Cálculo do desempenho por equipamento em SAS VA, com base nos indicadores e respectivos coeficientes de ponderação (DTC)

Uma das grandes vantagens da aplicação deste método é a flexibilidade que o utilizador desta ferramenta tem para poder alterar os coeficientes de ponderação consoante as suas

necessidades. Por exemplo, caso se queira fazer uma análise ao desempenho do equipamento tendo apenas em consideração um indicador, este pode ser feito, atribuindo o peso máximo a esse mesmo indicador (1) e o peso mínimo aos restantes (0).

Para a análise do desempenho das EBs o método aplicado foi o mesmo com uma ligeira variação.

Em primeiro lugar fez-se a ordenação por criticidade dos indicadores, obtendo-se a ordem representada na Figura 4.34 - Ordenação de indicadores por criticidade (EBs).

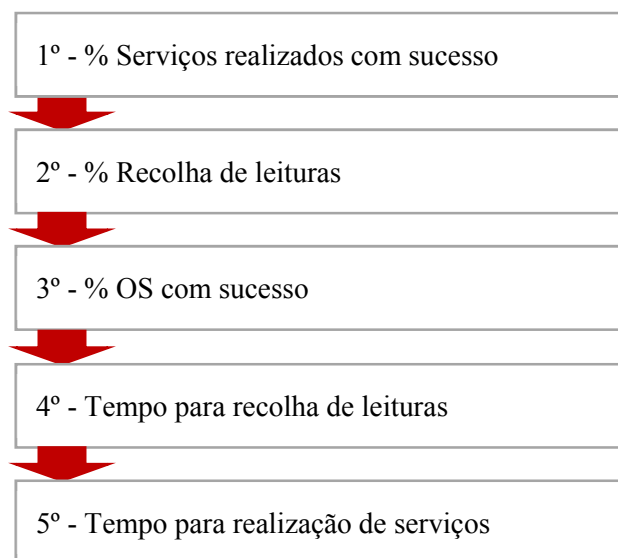


Figura 4.34 - Ordenação de indicadores por criticidade (EBs)

Do mesmo modo para a análise para os DTCs, a quantificação dos valores a atribuir foi feita comparando os incrementos (*swings*) do melhor para o pior nível tendo como referência o melhor (ou mais relevante) indicador ao qual foi atribuído o valor de 100 pontos. A distribuição das quantidades atribuídas encontra-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Pontos atribuídos a cada indicador (EBs)

<i>Ordem de prioridade de indicadores</i>	<i>Pontos atribuídos</i>
% Serviços realizados com sucesso	100
% Recolha de leituras	85
% OS com sucesso	75
Tempo para recolha de leituras	65
Tempo para realização de serviços	40
Total	365

Tal como na análise ao desempenho do DTC, neste caso, também a realização de serviços com sucesso se considerou como o indicador mais importante, uma vez que é

o que melhor revela a disponibilidade do equipamento para realizar as funções que lhe compete executar. Por outro lado, o tempo para a sua realização é menos importante.

Neste caso a percentagem de recolhas de leitura surge em segundo lugar, uma vez que é um serviço diário (registo diário) que a EB deve realizar, e que é uma das funções básicas do equipamento. A percentagem de OS realizadas com sucesso também tem alguma relevância, uma vez que indica a operacionalidade do equipamento, e é uma função para o qual o equipamento deve dar resposta.

A terceira etapa do método de *Swing Weighting*, tal como no caso anterior, consistiu em normalizar os valores obtidos de forma a que a sua soma fosse igual à unidade. Utilizando a mesma expressão (Expressão (4.14)) calculara-se os valores dos coeficientes de ponderação para as EBs.

Os valores obtidos nesta etapa encontram-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Coeficientes de ponderação (K) para 5 indicadores (EBs)

<i>Ordem de prioridade de indicadores</i>	<i>Coefficiente de ponderação (K)</i>
% Serviços realizados com sucesso	0,28
% Recolha de Leituras	0,23
% OS com sucesso	0,20
Tempo para Recolha de leituras	0,18
Tempo para realização de serviços	0,11

De seguida o procedimento foi o mesmo que no caso anterior e aplicou-se o método aditivo através da mesma expressão. No entanto, fazendo a aplicação do método ao desempenho total de cada EB, o desempenho é dado pela Expressão (4.15) :

$$Desempenho EB (R.E. EB) = \sum_{j=1}^5 K_j v_j(a_j) , com \sum_{j=1}^5 K_j = 1 e K_j > 0 \quad (4.15)$$

Desempenho EB (R.E. EB) é o valor global do desempenho para cada EB, identificada pela sua Referência Externa (R.E. EB).

$v_j(a_j)$ é o valor do impacto do EB no indicador j;

K_j é o coeficiente de ponderação do indicador j;

5 é o número de indicadores.

Caso a EB não efetue OS durante o período de tempo selecionado, a ordem de prioridade dos critérios será a indicada na Tabela 4.9 de forma a não penalizar o desempenho da EB, os coeficientes foram calculados na mesma proporção.

Tabela 4.9 - Coeficientes de ponderação (K) para 4 indicadores (EBs)

<i>Ordem de prioridade de indicadores</i>	<i>Coeficiente de ponderação (K)</i>
% Serviços realizados com sucesso	0,35
% Recolha de Leituras	0,28
Tempo para Recolha de leituras	0,23
Tempo para realização de serviços	0,14

Para os casos em que isto aconteça, e o número de indicadores a ter em conta passe a ser 4, a Expressão para o cálculo do desempenho da EB é dada pela Expressão (4.16):

$$Desempenho\ EB\ (R.E.\ EB) = \sum_{j=1}^4 K_j v_j(a_j) , \text{ com } \sum_{j=1}^4 K_j = 1 \text{ e } K_j > 0 \quad (4.16)$$

Desempenho EB (R.E. EB) é o valor global do desempenho para cada EB, identificado pela sua Referência Externa (RE EB).

$v_j(a_j)$ é o valor do impacto do EB no indicador j.

K_j é o coeficiente de ponderação do indicador j.

4 é o número de indicadores.

A aplicação da expressão implementada em SAS VA teve em conta esta variação no número de indicadores a considerar, tal como representado na Figura 4.35. Esta é uma medida agregada definida com base nos indicadores calculados anteriormente, sendo que todos os itens têm valores entre 0 e 1. Utilizou-se um operador booleano IF ... ELSE e uma função de “*NotMissing*” para que sempre que houvesse OS o desempenho fosse calculado com base nos 5 indicadores e os respetivos coeficientes de ponderação, e caso esta não se verificasse, o desempenho é calculado apenas com base nos restantes indicadores.

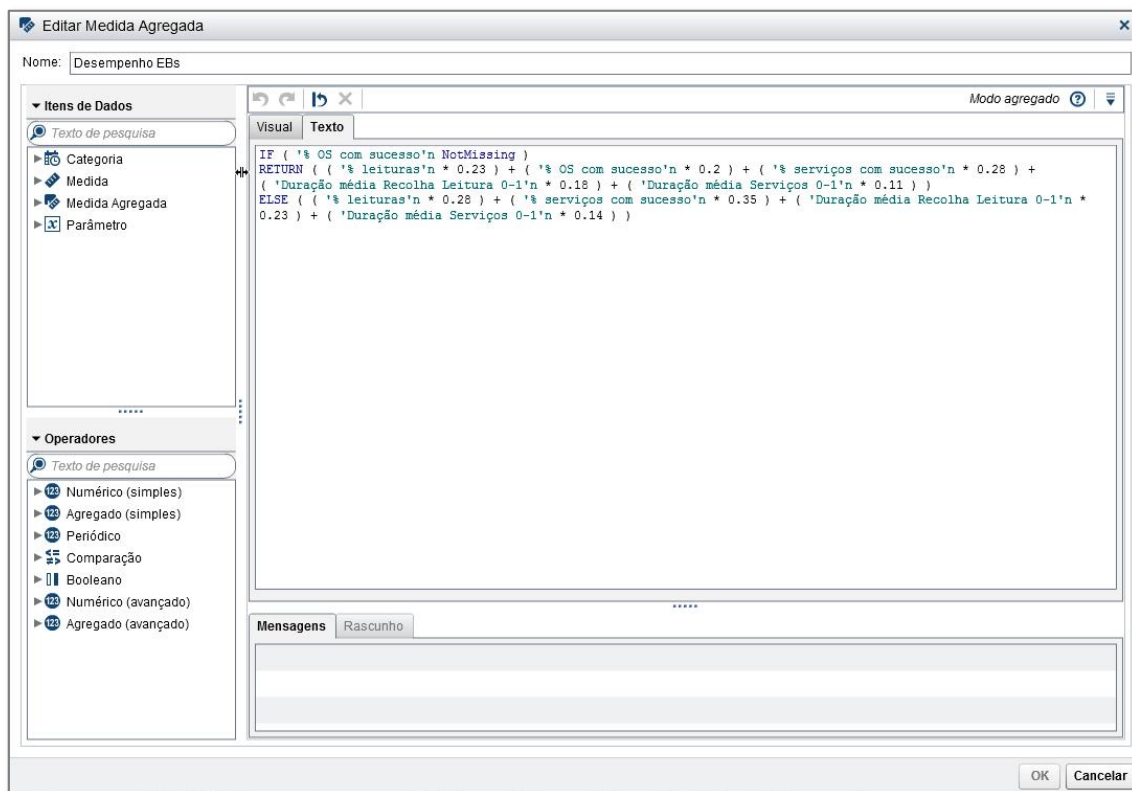


Figura 4.35 - Cálculo do desempenho por equipamento em SAS VA, com base nos indicadores e respetivos coeficientes de ponderação (EBs)

Tal como no caso dos DTCs, o cálculo destes desempenhos pode ser alterado, reajustando os coeficientes de ponderação, de acordo com a importância pretendida para análise, desde que se verifique sempre que a soma dos coeficientes de ponderação é de uma unidade.

4.4.3.3 Desenvolvimento do dashboard

A utilização de *dashboards* já está presente em alguns processos de negócio da empresa, uma vez que vivemos num tempo em que a transparência e rapidez da informação se tornaram uma necessidade para as empresas, motivadas não só pela regulação, mas também pelo aumento da exigência dos clientes, sendo fundamental dotar a organização de ferramentas que facilitem a tomada de decisões de uma forma rápida e sem erros.

Esta informação é transmitida através de gráficos, mapas, indicadores, listas, relatórios e filtros específicos, apresentando os dados organizados num ecrã de modo a facilitar o seu acompanhamento e a sua interpretação.

Alguns dos tipos de gráficos utilizados apresentam-se como exemplos na Figura 4.36. No canto superior esquerdo da figura está um gráfico de linhas com séries temporais, ideal para comparar valores que variam ao longo do tempo. No canto superior direito um gráfico de bolhas com capacidade para representar dispersões através de bolhas, relacionando pelo menos três medidas

(eixos e tamanho das bolhas). No canto inferior esquerdo está um gráfico de barras de eixo duplo que permite comparação entre duas medidas diferentes. No canto inferior direito está um gráfico de pizza que consiste num círculo dividido em várias fatias para cada valor de uma categoria, com base num único item de dados de medida.



Figura 4.36 - Exemplos de gráficos disponibilizados no SAS VA (adaptado de [40])

Outros elementos de visualização que a SAS VA oferece são mapas. Dois tipos de mapas estão representados na Figura 4.37. Do lado esquerdo da imagem está um exemplo de um mapa geográfico de bolhas onde cada bolha está associada a uma localização geográfica, e baseia-se num item de dados de medida que determina o tamanho da bolha. Um gráfico de coordenadas geográficas está representado do lado direito da imagem. Este gráfico permite localizar num mapa geográfico pontos com coordenadas e é indicado quando a cardinalidade é elevada.



Figura 4.37 – Exemplos de mapas disponibilizados no SAS VA (adaptado de [40])

Em relação a medidores, dois exemplos são apresentados na Figura 4.38. Do lado esquerdo um medidor deslizante, que compara um valor real com um valor alvo. No exemplo do lado direito também existe um valor real e um valor alvo que se comparam em intervalos, a cor do círculo central é a cor associada ao intervalo. Estes medidores podem ser configurados de acordo com as preferências do utilizador.

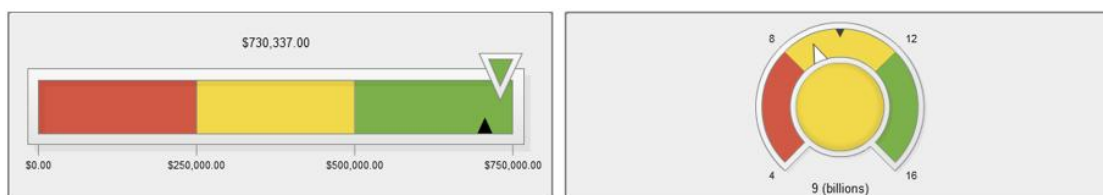


Figura 4.38 - Exemplos de medidores disponibilizados no SAS VA (adaptado de [40])

O objetivo de utilizar um *dashboard* para análise dos casos de estudo é transformar dados em bruto em conhecimento útil e que se apresente de uma forma gráfica e intuitiva a visualização dessa informação. Dessa informação deve ser possível retirar algumas conclusões, utilizando os elementos descritos. Utilizaram-se as tabelas criadas na etapa 4.4.2.5 Criação das tabelas e pré-processamento dos dados como fonte de dados para a criação do *dashboard*. Depois dos indicadores calculados no ponto 4.4.3.1 Cálculo dos indicadores e da aplicação do método descrito na etapa 4.4.3.2 Aplicação do método de Apoio à Decisão Multicritério desenhou-se e construiu-se o *dashboard* da Figura 4.39.

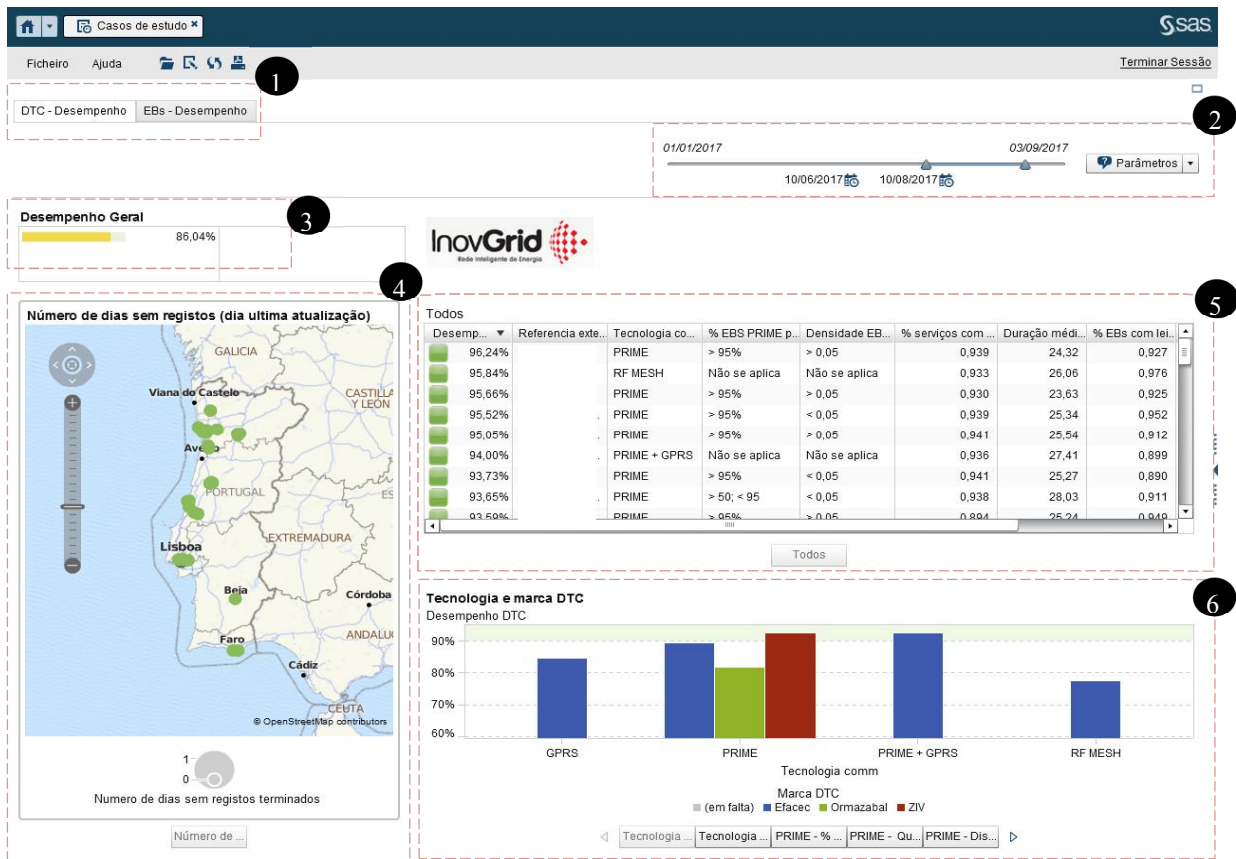


Figura 4.39 - *Dashboard* desenhado em SAS VA

O *dashboard* divide-se em dois separadores, o primeiro tem o nome “DTC – Desempenho” e o segundo “EBs – Desempenho” e são seleccionáveis na barra assinalada com o número um.

Na área assinalada com o número dois estão os filtros que podem ser seleccionados pelo utilizador a serem aplicados ao *dashboard*. Estes incluem uma barra temporal deslizante e filtros de parâmetros como, “Tecnologia de comunicações do DTC”, “Marca”, “Modelo”, “Referência Externa” e “PT associado ao DTC”.

Assinalada com o número três está uma barra indicadora do desempenho geral da rede tendo em conta o desempenho de todos os DTCs.

Na área quatro está um mapa de bolhas com as coordenadas dos equipamentos instalados. A métrica utilizada foi o número de dias sem registos. Quanto mais dias sem registos maior é a bolha, indicando assim a existência de problemas na comunicação do equipamento.

A tabela correspondente ao número cinco tem a lista dos equipamentos ordenados por ordem de classificação quanto ao seu desempenho. Contém também a informação relativa ao equipamento. As referências externas dos DTC têm hiperligações das quais surgem janelas de informação relativas ao DTC como representado na Figura 4.40, esta informação é relativa a características do DTC, do PT (caso se aplique) e a posição das EBs registadas no DTC.

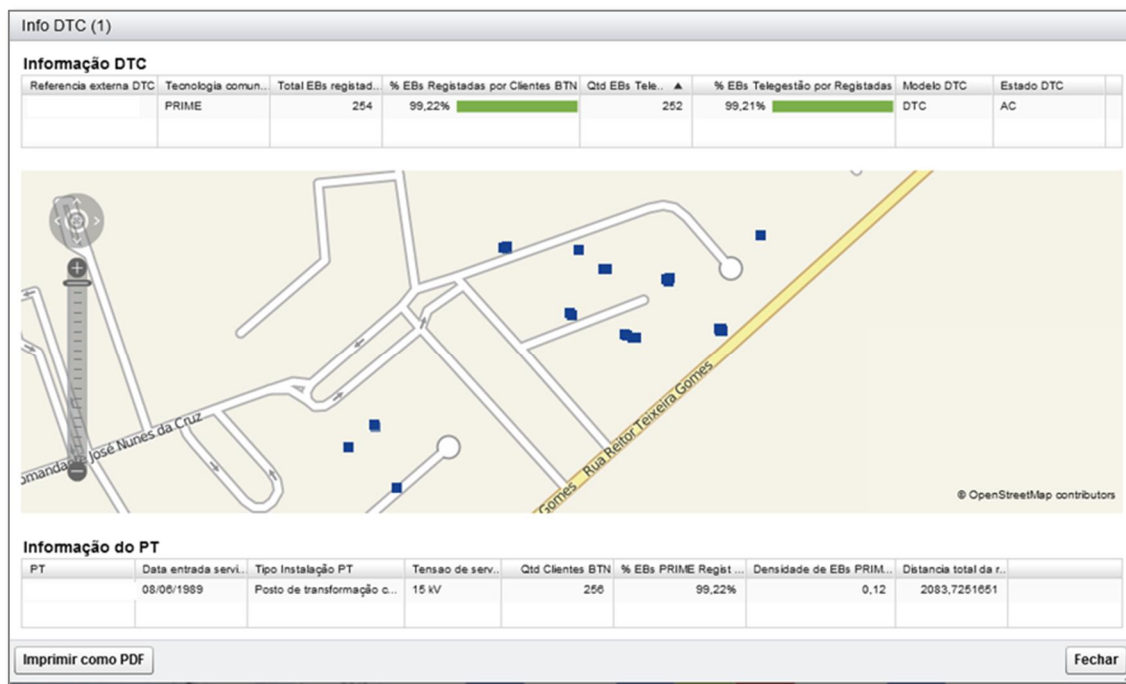


Figura 4.40 - Janela de informação correspondente ao um DTC no *dashboard*

Assinalado na Figura 4.39 a área com o número seis está um contentor de diferentes elementos seleccionáveis através dos botões na parte inferior da área assinalada. Os gráficos permitem analisar o desempenho dos equipamentos por segmentação, por exemplo, desempenho por tipo de tecnologia, ou desempenho por marca, etc.

Para o caso do Desempenho das EBs foi desenvolvido um *dashboard* semelhante e com o aspeto para as secções.

4.4.4 Etapa 4: Interpretação e conclusões

Por último, na quarta etapa foram feitas algumas interpretações dos resultados obtidos e retiradas algumas conclusões, terminando aqui o processo de KDD.

Na etapa anterior, no desenho do *dashboard*, foi tido em conta que informação seria mais relevante analisar e qual a melhor forma de visualizar essa informação. No entanto, foi nesta etapa que se analisou e se pretendeu transformar a informação em conhecimento útil ao negócio.

Esta etapa dividiu-se essencialmente em dois tipos de análise, a de classificação do desempenho, isto é, a ordenação por níveis de desempenho e a de segmentação que envolve comparações entre variáveis.

4.4.4.1 Classificação de desempenho por DTCs

Tal como proposto inicialmente, pretendia-se uma classificação por ordem de desempenhos ao nível dos equipamentos. Assim, criaram-se as tabelas que listam os equipamentos por RE, o seu nível de desempenho (%), e os indicadores que contribuem para o cálculo deste desempenho global, bem como outras informações do DTC. A tabela criada no *dashboard* encontra-se na Figura 4.41.

Tendo por base a lista de classificação de equipamentos por desempenho (para um período filtrado de dois meses), é possível visualizar por ordem de desempenho os equipamentos, permitindo a sua análise individual. Como já foi referido anteriormente, ao seleccionar com o cursor a RE de um equipamento, surge uma janela de informação com informação do equipamento, neste caso o DTC, bem como informações da sub-rede, o que facilita a sua análise rápida (Figura 4.41). Esta janela de visualização da sub-rede apenas surge para a tecnologia PLC PRIME.

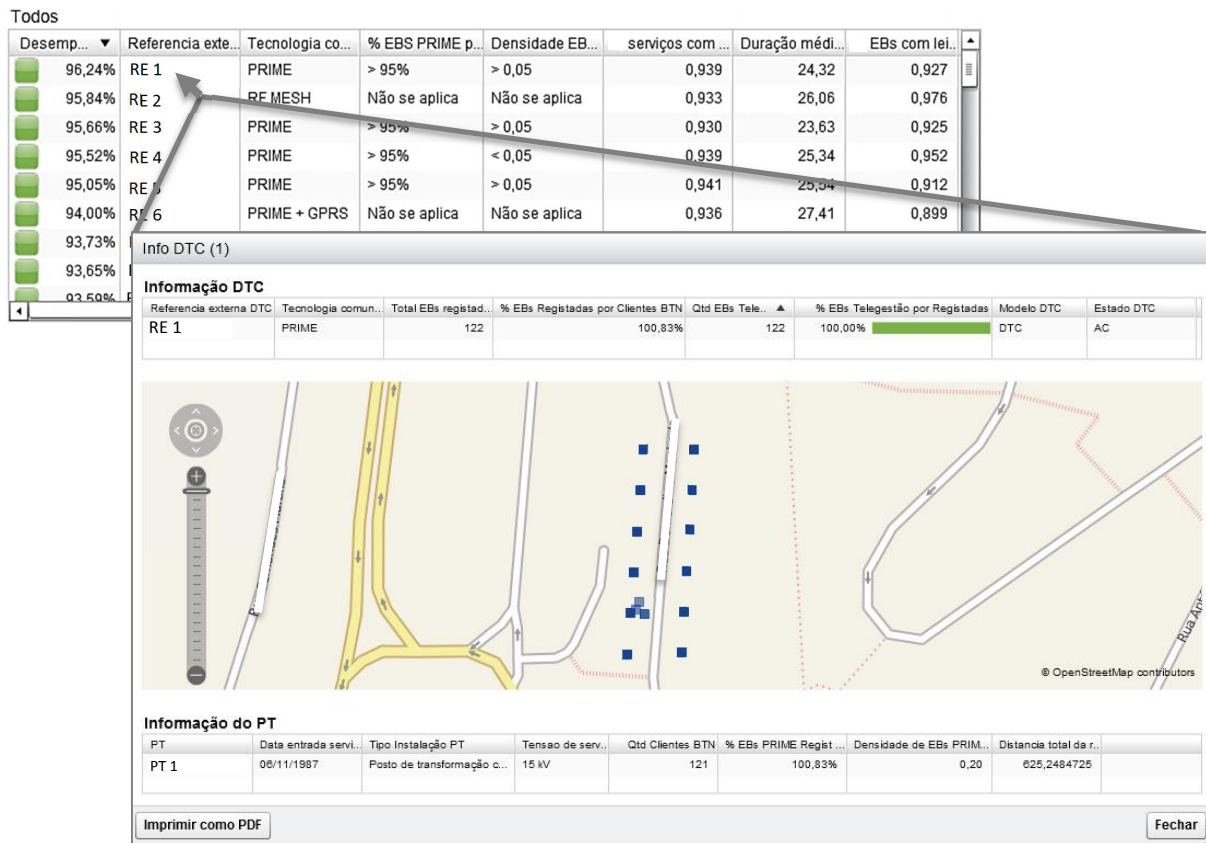


Figura 4.41 - Tabela ordenada com desempenhos dos DTCs e janela de informação relativa ao DTC com melhor desempenho (RE 1)

As tabelas, como a que está presente na Figura 4.41, por ordem de desempenho possibilitam a deteção de problemas ou comportamentos anómalos de forma rápida.

Tomando como exemplo o equipamento DTC com um desempenho superior (96,24%), podemos visualizar a informação representada na Figura 4.41:

Os quadrados a azul indicam a posição das EBs registadas no DTC selecionado. São facilmente identificáveis as características do DTC, tais como:

- Referência Externa: RE 1
- Marca: Marca DTC A
- Estado: Instalado c/ telecontagem (a partir de 2016-07-21 16:30)
- Data da criação: 2014-08-30
- Comunicações: PLC/GPRS

O DTC tem 122 EBs PRIME registadas, e todas elas estão em telecontagem. Isto representa uma percentagem de EBs em Telegestão por EBs Registadas de 100%.

Todas as EBs são monofásicas à exceção de uma que é trifásica e existem 4 marcas diferentes de equipamentos instalados, com a distribuição de percentagens por marca representadas na Figura 4.42.

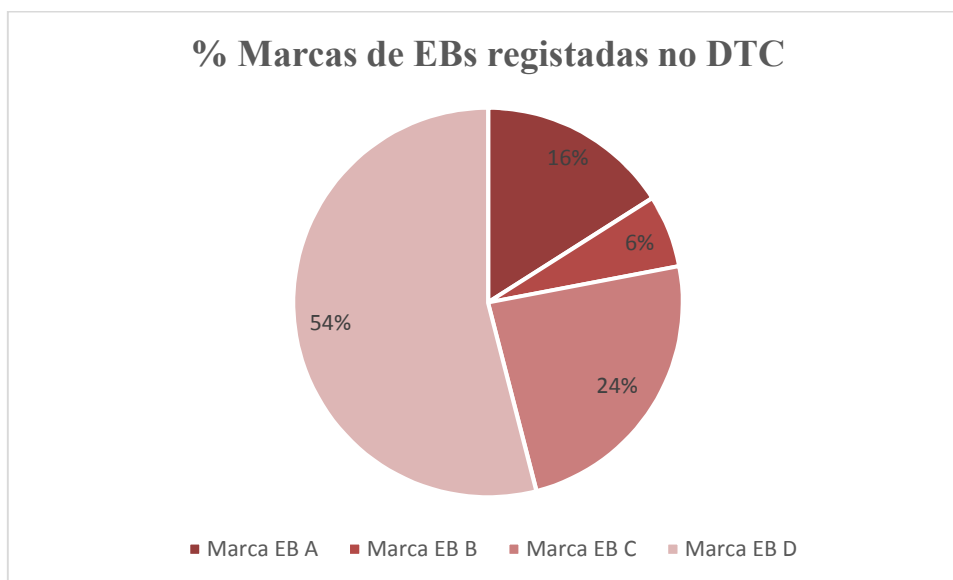


Figura 4.42 - Distribuição de marcas de EBs pelo DTC com RE 1

O PT associado a esta rede tem as seguintes características:

- Código de instalação: PT 1
- Tipo de instalação: Posto de transformação com seccionamento
- Potência instalada: 400kVA
- Tensão de serviço: 15 kV
- Tensão nominal: 15,00kV
- Índice de Criticidade: A
- Índice da Zona de Qualidade de Serviço: A
- Ponta Máxima Mensal (kW): 75

- N° de transformadores: 1
- Tipo construtivo: Cabine baixa em edifício próprio
- Tapado: Não tapado (TP1:0%)
- Data de entrada em serviço: 6/Nov/1987

Todos os troços da rede são subterrâneos e os cabos utilizados são do tipo LVAV 3x150 + 70 e VAV 3x25 + 16. No total, o comprimento da sub-rede é de 625,26 m. A ferramenta SIT foi utilizada para validar a informação obtida no *dashboard* e visualização desta informação pode ser feita na Figura 4.43.

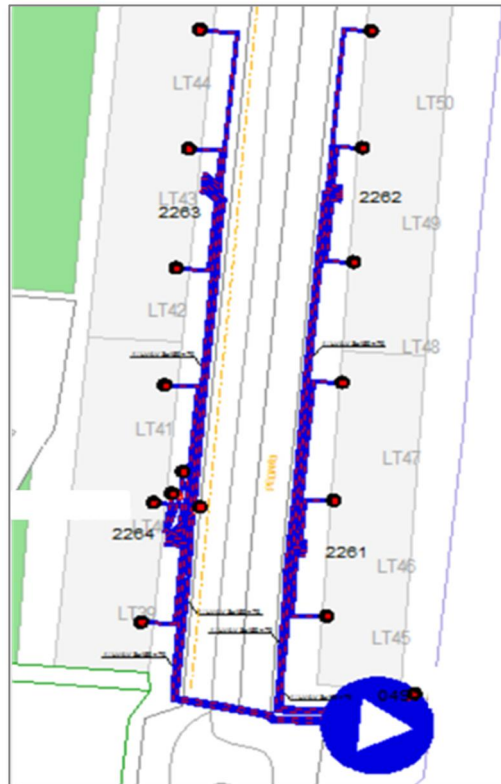


Figura 4.43 – Representação do PT e respetiva sub-rede utilizando SIT

No que toca ao DTC com pior desempenho (correspondente à RE 49), para tecnologia PRIME, surge com 67,75%, o DTC cuja informação está representada na Figura 4.44.

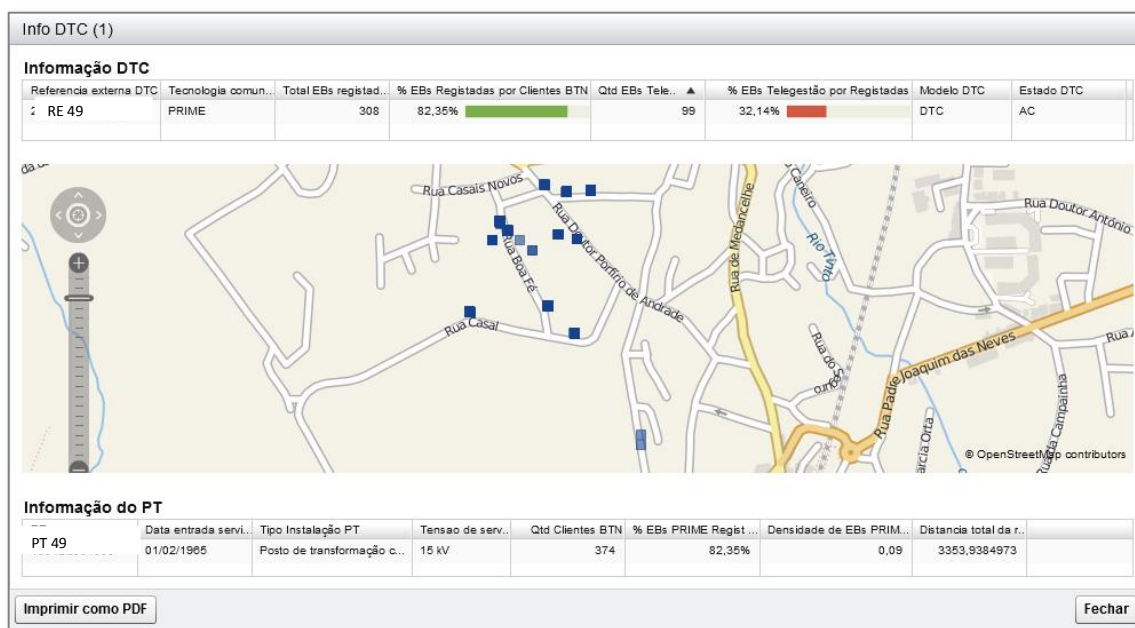


Figura 4.44 - Janela de informação relativa ao DTC com pior desempenho (RE 49)

Tendo em conta a informação da Figura 4.44, neste DTC estão registadas um total de 308 EBs, valor superior ao caso anterior (melhor desempenho) em que estavam registadas apenas 122 EBs.

A percentagem de EBs registadas por clientes BTN é de 82,35%, ou seja, do ponto de vista da instalação de EBs na rede, esta não está completa.

A distância total da sub-rede é de mais de 3300 metros, o que equivale a uma densidade de 0,09, valor este mais baixo relativamente ao caso anterior (melhor DTC), que apenas tinha cerca de 600 metros de distância da sub-rede e uma densidade de 0,20.

O ano de entrada de serviço do PT para este caso é de 1965. Caso não tenham surgido remodelações no que toca à infraestrutura da rede elétrica, esta é considerada uma rede antiga, podendo afetar também o desempenho das comunicações PLC PRIME.

O DTC com o penúltimo valor de desempenho (correspondente à RE 48), com 75,15%, encontra-se na Figura 4.45.

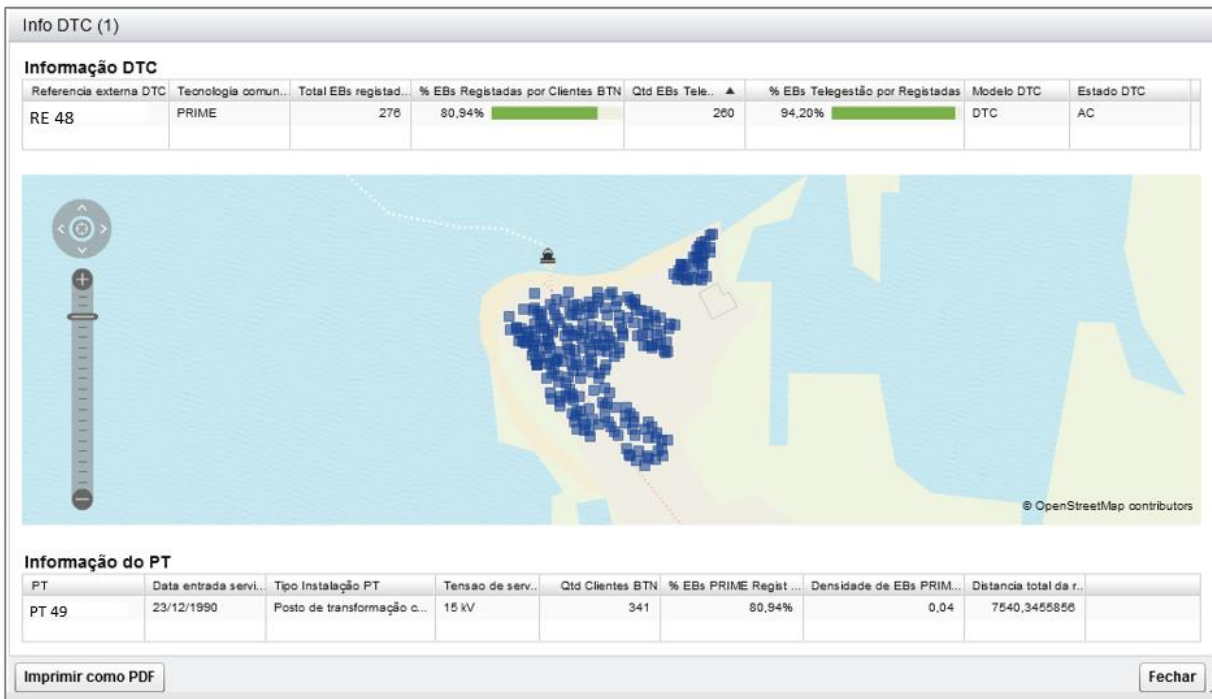


Figura 4.45 - Janela de informação relativa ao DTC com RE 48

Neste caso, o DTC tem 276 EBs registadas para um total de 341 clientes BTN, ou seja, uma percentagem de 80,94% em termos de quantidade de EBs por clientes BTN.

Este é dos três casos apresentados o que tem uma distância dos troços superior, com mais de 7500 m, e portanto o que tem uma maior densidade de EBs PRIME na rede.

Sendo a data de entrada de serviço do PT o ano de 1990, este tem uma instalação de rede elétrica recente.

4.4.4.2 Desempenho dos DTCs por segmentação

Na área do *dashboard* com gráficos fizeram-se algumas segmentações, de forma a comparar variáveis e a identificar segmentos, ou características que possam estar relacionadas ou que tenham influência no desempenho do equipamento em análise, neste caso DTCs.

No primeiro exemplo, na Figura 4.46, o gráfico relaciona o desempenho dos DTCs por tecnologia e marca. Sendo o eixo horizontal correspondente à tecnologia de comunicações e as diferentes cores identificadoras da marca.



Figura 4.46 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho dos DTCs com a tecnologia de comunicações e a marca do DTC

De acordo com o gráfico da Figura 4.46, dentro da tecnologia PRIME, a marca a vermelho (marca DTC B) tem uma média de desempenho mais elevada. No entanto, tendo em conta a amostra, não se podem retirar muitas conclusões quanto a estas variáveis uma vez que estamos a comparar marcas com quantidades pouco significativas.

Ainda assim, para amostras maiores, este tipo de análises pode dar apoio a decisões do ponto de vista do negócio quando se opta por determinada marca, assim como relativamente aos tipos de tecnologias que apresentam melhor funcionamento.

Na Figura 4.47 o gráfico representado apenas diz respeito à tecnologia PRIME e relaciona o desempenho do DTC com a percentagem de EBs instaladas por clientes BTN.

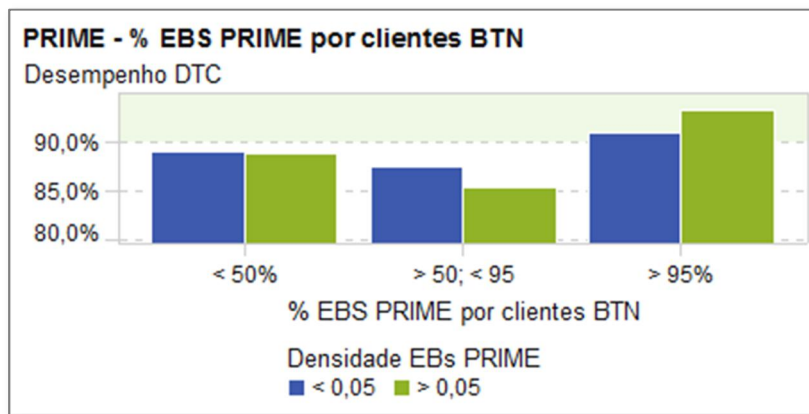


Figura 4.47 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho dos DTCs com %EBs PRIME por clientes BTN e a densidade de EBs PRIME (apenas tecnologia de comunicações PLC PRIME)

Apenas para percentagens superiores a 95% de equipamentos instalados (EBs) por clientes BTN é que se obtém um valor de desempenho superior a 90%. No que diz respeito à densidade de EBs na rede não existe uma relação clara, sendo que a divisão entre < 0,05 e > 0,05, pode não ser a melhor segmentação de variável.

De forma a relacionar a percentagem de EBs PRIME por clientes BTN e a quantidade de EBs instaladas na sub-rede, construiu-se o gráfico da Figura 4.48.

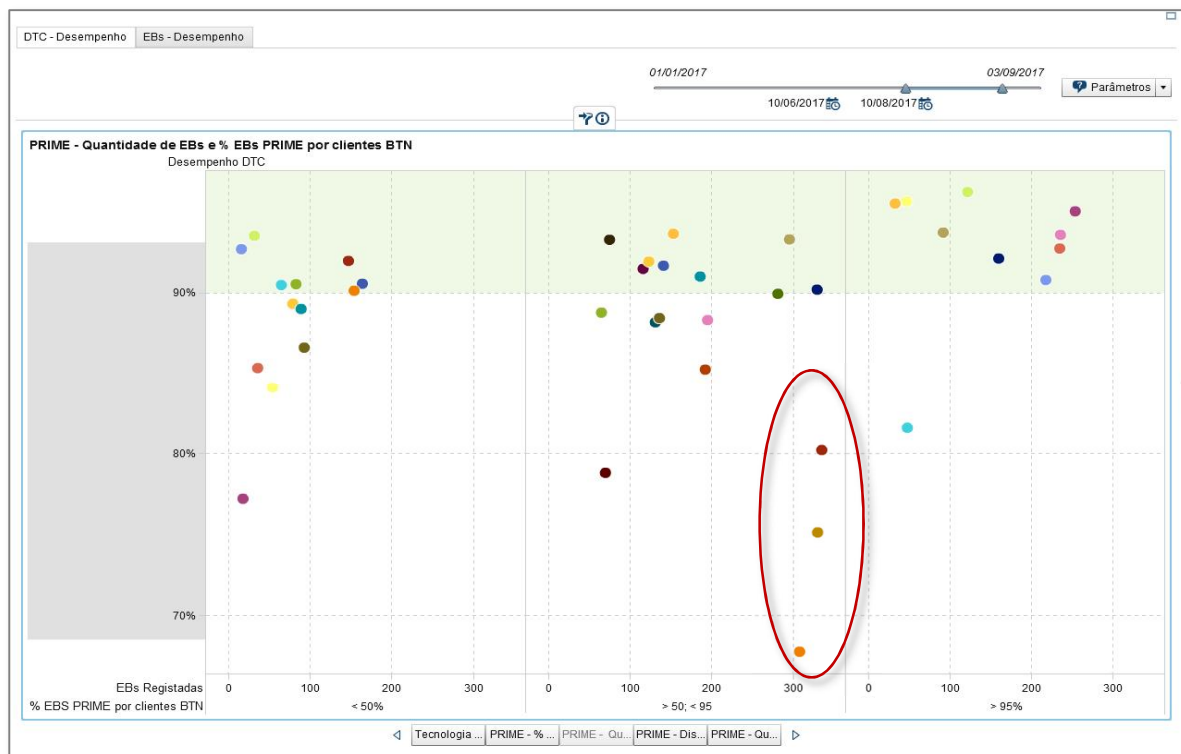


Figura 4.48 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho dos DTCs com a quantidade de EBs e a %EBs PRIME por clientes BTN (apenas tecnologia de comunicações PLC PRIME)

Do ponto de vista da identificação de padrões, os gráficos de dispersão são os mais adequados. E no caso da Figura 4.48, pode identificar-se uma tendência no aumento do desempenho dos DTCs com o aumento da percentagem de EBs registadas por clientes BTN. Sendo que, assinalado a vermelho estão três casos em que o desempenho está a baixo da maioria, e que nos três casos a quantidade de EBs registadas é superior a 300.

À *posteriori*, com o objetivo de averiguar melhor a influencia da quantidade de EBs registadas no desempenho dos DTCs, fez-se uma análise através do R Studio, uma ferramenta de análise estatística, obtendo-se o gráfico da Figura 4.49.

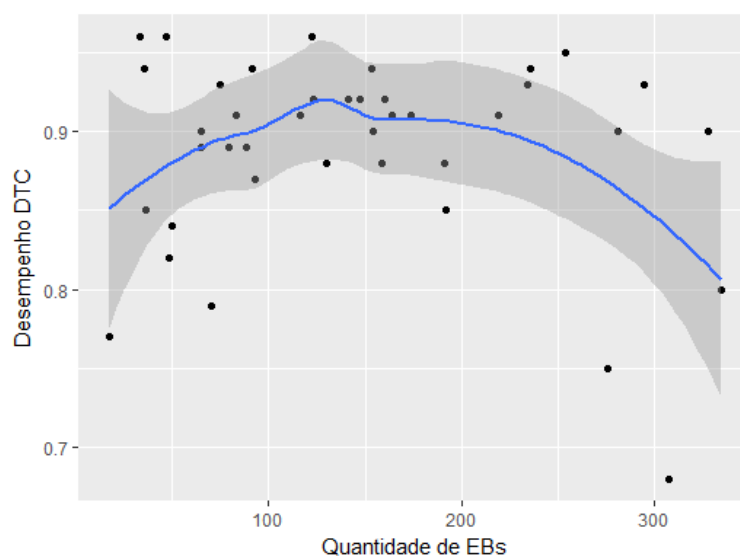


Figura 4.49 - Gráfico construído em R Studio que relaciona o desempenho do DTC por quantidade de EBs Registadas (apenas para tecnologia de comunicações PLC PRIME)

A curva de tendência obtida, representada a azul na Figura 4.49, revela que o desempenho piora com quantidades de EBs superiores a 300, bem como com valores muito baixos de EBs registadas. Já para valores entre as 100 e as 200 EBs registadas, estes atingem, de acordo com a curva de tendência, valores superiores.

Ainda assim, para uma validação mais segura destes resultados eles devem ser confirmados usando uma amostra que teria que ser maior.

Este tipo de análises ajuda na gestão dos ativos, podendo identificar que fatores têm mais influência na performance da infraestrutura Inovgrid.

4.4.4.3 Desempenho das EBs por segmentação

Da mesma forma que para o caso dos DTCs, na área do *dashboard*, análise de desempenho - EBs com gráficos fizeram-se algumas segmentações, de forma a comparar variáveis e a

identificar segmentos, ou características que possam estar relacionadas ou que tenham influência no desempenho do equipamento em análise.

Para o caso das EBs, a amostra já é significativa, uma vez que se estão a analisar mais de 8000 equipamentos.

Na Figura 4.50 é apresentado um gráfico do *dashboard* que permite uma comparação entre diferentes marcas e modelos. Sendo que os modelos estão identificados pelas cores.

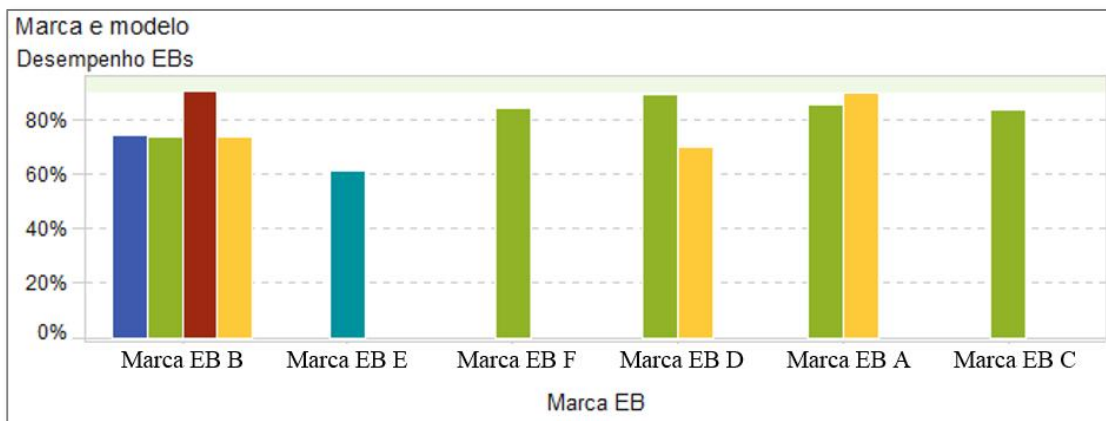


Figura 4.50 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com a marca e modelo

De acordo com a Figura 4.50, a marca cujo desempenho é pior, é a Marca E. Ainda assim, este valor não é significativo, uma vez que a quantidade de EBs desta marca é muito reduzido.

Na Figura 4.51, a análise é feita apenas para EBs cuja tecnologia de comunicação é GPRS, e o que se pretendeu com esta análise foi comparar o desempenho das EBs registadas em DTCs Virtuais, ou em DTCs físicos. Fez-se ainda uma distinção entre EBs monofásicas e trifásicas.

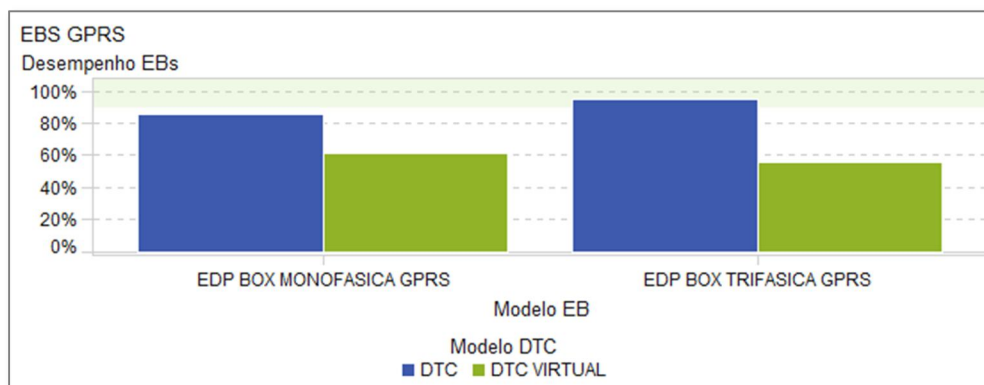


Figura 4.51 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com o modelo da EB e do DTC

Da Figura 4.51, pode-se concluir que independentemente de ser uma EB monofásica ou trifásica, as EBs registadas em DTCs Virtuais têm um pior desempenho. Isto pode ter a ver com uma questão de configurações do DTC, e com o facto de para DTCs Virtuais o número de EBs registadas é tipicamente muito superior.

A análise da influência da distância ao PT (ou ao DTC) no desempenho de EBs, para tecnologia de comunicações PRIME, é feita através do gráfico apresentado na Figura 4.52.

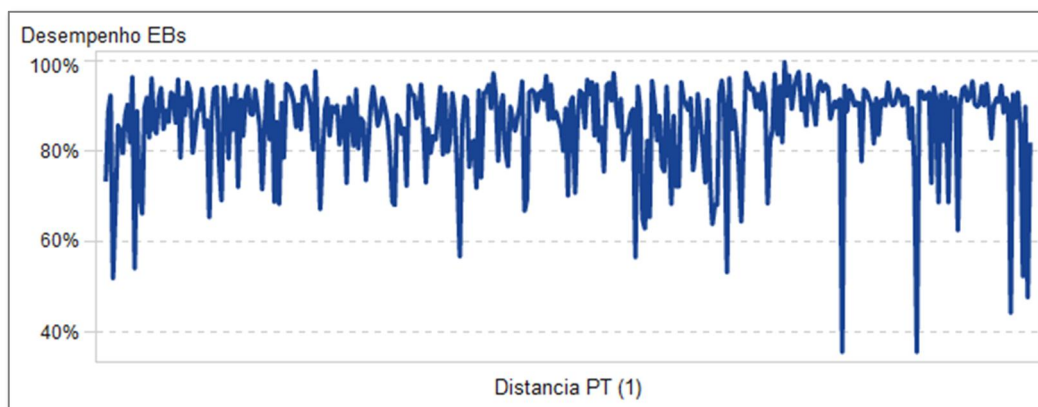


Figura 4.52 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com a sua distância ao DTC

De acordo com a Figura 4.52, o desempenho das EBs tem tendência a descer com o aumento da distância ao DTC, ou seja, do emissor ao recetor.

Na Figura 4.53, está presente um gráfico de dispersão que compara diferentes variáveis, tendo em conta o seu desempenho (EBs). As variáveis são, o modelo da EB, o número de EBs e a marca do DTC.

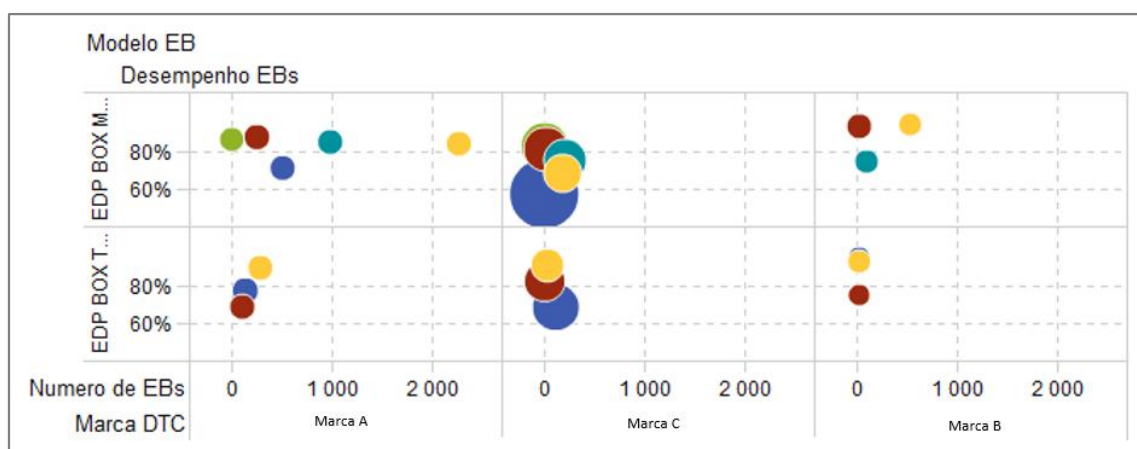


Figura 4.53 - Gráfico do *dashboard* que relaciona o desempenho das EBs com a marca dos DTCs e o modelo da EB

Para o caso concreto da Figura 4.53, as conclusões não são claras dada a dimensão do gráfico, ainda assim é evidente que através da visualização deste tipo de gráficos o utilizador vai poder diferenciar de entre diferentes combinações possíveis, aquela que tem melhores desempenhos.

5 Conclusões e Propostas de Desenvolvimentos Futuros

Este capítulo está dividido em dois subcapítulos, o primeiro é relativo às conclusões que se podem retirar do trabalho realizado no âmbito do estágio na EDP Distribuição e o segundo apresenta algumas propostas para trabalho futuro.

5.1 Conclusões

De uma forma geral o objetivo proposto inicialmente foi cumprido, através do desenvolvimento de uma metodologia capaz de dar resposta à análise do desempenho dos equipamentos existentes na infraestrutura Inovgrid. Do ponto de vista de gestão dos ativos da infraestrutura Inovgrid, este tipo de abordagens e análises é fundamental.

Durante o estágio foi notório que do ponto de vista da Organização, a área de *Analytics* já estava a ser considerada como um dos pilares da transformação digital. Sendo que podem destacar-se duas áreas prioritárias neste processo de transformação digital:

- A relação com o cliente (que acessos ele tem, experiências ou necessidades);
- Operacional (manutenção preditiva, análise de desempenho na gestão de ativos, gestão das redes inteligentes com modelos de previsão e combate à fraude).

Ora, o trabalho desenvolvido neste estágio veio ao encontro desta visão, uma vez que pretendeu através da utilização de ferramentas de BI dar a capacidade ao utilizador/colaborador de visualizar e fazer uma interpretação da informação de forma a transformá-la em conhecimento útil à gestão dos ativos e ao negócio global, facilitando tomadas de decisão, bem como identificação e solução de problemas, com uma maior eficiência operacional através do acesso aos dados, pré-processados de forma a apresentar informação útil. Alguns dos exemplos:

- As tabelas por ordem de desempenho possibilitam a deteção de problemas ou de comportamentos anómalos de forma rápida, identificado os casos de equipamentos com baixos desempenhos.
- Os gráficos de dispersão tendo em conta diferentes variáveis facilitam a identificação de padrões.
- Os gráficos geográficos de coordenadas dão indicações visuais e intuitivas do estado da infraestrutura.
- Alguns gráficos de comparação entre variáveis permitem perceber que segmentos de rede possuem melhor desempenho, e promovem uma melhor gestão dos ativos e tomadas de decisão com base em informação de melhor qualidade.

A criação de indicadores de desempenho permitiu que de uma forma rápida se analise se os equipamentos da infraestrutura estão a corresponder às suas funções e para o qual foram

projetados. Esta não é uma análise objetiva, daí terem sido necessários os *inputs* de quem gere a infraestrutura e um estudo aprofundado dos vários elementos que a constituem.

De forma mais concreta, relativamente aos resultados dos desempenhos de equipamentos é importante referir algumas conclusões:

- A amostra de sub-redes, embora significativa, pode ser considerada pequena considerando um universo de mais de 8.000 EBs. Assim, embora esta amostra permita obter conclusões e direções importantes, para se afirmarem relações mais sólidas entre variáveis e desempenho será importante o seu alargamento.
- A percentagem de equipamentos (EBs) instalados por clientes na sub-rede, pode ter influencia no desempenho dos equipamentos presentes na mesma de acordo com os gráficos obtidos, isto é, quanto maior esta percentagem melhor. Ainda assim, observou-se que para casos onde existam mais de 300 EBs instaladas o valor de desempenho é mais baixo. Estas situações devem ser analisadas caso a caso de forma a obter conclusões mais concretas. Por exemplo, analisar se existem instalações geradoras de ruído ou outros fatores que também possam influenciar o desempenho.
- Em relação às EBs que comunicam através de GPRS, estas têm um desempenho inferior comparativamente à tecnologia PRIME, com uma diferença de mais de 20%. Para este caso consideraram-se cerca de 7.000 EBs, das quais cerca de 1.100 eram GPRS.
- De acordo com os resultados obtidos, o desempenho das EBs tem tendência a diminuir com o aumento da distância ao DTC, ou seja, do emissor ao recetor.

O processo de conhecimento do funcionamento da infraestrutura Inovgrid para a definição dos indicadores relevantes para a análise do desempenho dos equipamentos e a exploração das bases de dados a utilizar para a criação do modelo de dados a dar resposta a estes indicadores foram os processos mais demorados durante o estágio, gerando várias dificuldades, o que acabou por atrasar o desenvolvimento do trabalho. Isto deveu-se essencialmente a:

- Complexidade dos modelos de bases de dados, com um elevado número de tabelas e necessidade de muito tempo de exploração da informação, tanto para a definição dos indicadores, bem como para a implementação do modelo de dados pretendido;
- Falta de normalização taxonómica entre tabelas e atributos;
- Indisponibilidade dos servidores, devido aos processos de replicação de dados não estarem devidamente estáveis que se revelou uma situação frequente e que dificultava o tratamento da informação;
- Processamento de dados demorado devido à elevada quantidade de informação (dados).

O projeto em SAS Guide foi desenvolvido de forma a que fosse possível alargar a análise a amostras maiores e numa fase posterior a toda a rede de distribuição instalada em Portugal. Para isso o projeto foi criado com funcionalidade geral e foram utilizados filtros para apenas

selecionar os equipamentos da amostra. Caso esses filtros sejam retirados, a extração de informação passa a ser feita para todos os equipamentos presentes nos sistemas fonte.

Para além disto, na ferramenta de visualização SAS VA, o cálculo de desempenho proposto tendo em conta diferentes coeficientes de ponderação, foi implementado de forma a que fosse possível que estes coeficientes fossem alterados de acordo com as especificações do utilizador. Isto é, se por exemplo, apenas se quiser analisar um dos indicadores e não o desempenho global, basta dar o peso máximo a esse indicador e zero aos restantes.

Do ponto de vista da valorização pessoal e profissional este foi um estágio bastante enriquecedor. Os temas estudados permitiram aprofundar os conhecimentos lecionados durante o mestrado numa perspetiva aplicada ao mundo empresarial. Dada a dimensão da empresa foi possível contactar com outras áreas de negócio e outros temas em desenvolvimento, o que promoveu um maior envolvimento e enriquecimento profissional.

5.2 Trabalho Futuro

Analisaram-se cerca de 49 redes diferentes, onde as configurações e parametrizações dos equipamentos foram analisadas de forma a garantir a fiabilidade da informação. Para que a análise se possa expandir para toda a infraestrutura Inovgrid, e se possa agilizar o processo deste tipo de análises de forma a efetuar uma correta gestão dos ativos, é importante garantir a qualidade dos dados. Para isto, é necessário criar pontos de controlo e uma validação constante da informação, bem como verificar a coerência da informação. Do ponto de vista da autora este é um importante foco de atuação.

Os métodos desenvolvidos podem ser melhorados, nomeadamente na otimização do *workflow* para o pré-processamento dos dados e em testes de verificação para ajuste dos coeficientes de ponderação utilizados.

Com acesso às réplicas será possível dar resposta a determinados indicadores e determinadas pesquisas, sendo que, na opinião da autora esta opção deveria ser considerada.

No que toca à definição dos indicadores, outro caso a explorar são os alarmes gerados pelos equipamentos. Durante o estágio não foi possível a sua análise devido a indisponibilidade dessa informação, que poderá ser muito útil para determinação de desempenhos.

Outro ponto extremamente importante, sem o qual nada do que foi referido anteriormente nesta secção será possível, é que se consiga alcançar uma estabilização dos sistemas, e que estes sejam robustos e capazes de acompanhar o aumento de informação que está a crescer exponencialmente.

É possível efetuar uma análise que permita perceber a evolução da performance das sub-redes, uma vez que os indicadores foram calculados por dia, sendo possível obter um histórico que pode revelar a evolução das sub-redes.

Por fim, outros métodos podem ser explorados para este tipo de análises como árvores de decisão e regras, redes neurais ou *K-Nearest Neighbors* (K-NN).

Referências

- [1] EDP Distribuição, “EDP Distribuição - Quem somos,” [Online]. Available: <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/edpdistribuicao/Pages/aEDPDistribuicao.aspx>. [Acedido em março 2017].
- [2] EDP Distribuição S.A., “Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público,” Outubro 2015. [Online]. Available: https://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/EDP%20Documents/EDP%20Distribui%C3%A7%C3%A3o_Manual_Liga%C3%A7%C3%B5es_2015.pdf. [Acedido em maio 2017].
- [3] Eletricidade da Madeira, “Postos de transformação,” [Online]. Available: <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/distribui%C3%A7%C3%A3o/postos-de-transforma%C3%A7%C3%A3o/>. [Acedido em 2017].
- [4] EDP Distribuição S.A., [Online]. Available: <http://www.edp.pt/pt/fornecedores/seguranca/redededistribuicao/Pages/RededeDistribui%C3%A7%C3%A3o.aspx>. [Acedido em maio 2017].
- [5] ERSE, “Glossário,” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/glossario/Paginas/glossario.aspx?folder=baeaae46-4f3f-401d-91ff-668518dd41e8>. [Acedido em julho 2017].
- [6] ERSE, “Guia de medição, leitura e disponibilização de dados,” 2015. [Online]. Available: http://www.erse.pt/pt/electricidade/regulamentos/relacoescomerciais/Documents/SubRegulamenta%C3%A7%C3%A3o/GMLDD_2016.pdf. [Acedido em maio 2017].
- [7] V. Costa, “Contagens de Energia Eléctrica,” FEUP, Porto, 2007.
- [8] EDP S.A., “Contadores de eletricidade,” [Online]. Available: <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/contadores-eletricidade/>. [Acedido em maio 2017].
- [9] Shneider Electric, “Designing a metering system for small and medium-sized buildings,” 2011. [Online]. Available: https://www.schneider-electric.pt/documents/solutions/solution/Eficiencia-Energetica/ee_white_paper_designing_metering_system.pdf. [Acedido em julho 2017].

- [10] J. R. Molina, M. M. Núñez , J. F. Martínez e W. P. Aguiar, “Business Models in the Smart Grid: Challenges, Opportunities,” em *Energies*, 2014.
- [11] J. Torres, “Redes Inteligentes,” EDP Distribuição, 2014. [Online]. Available: http://www.apenergia.pt/uploads/docs/Joao_torres.pdf. [Acedido em junho 2017].
- [12] EDP Distribuição, “Energy with intelligence,” 2015. [Online]. Available: <http://web3.cmvm.pt/sdi/emitentes/docs/PC59115.pdf>. [Acedido em junho 2017].
- [13] A. A. Messias, “Redes Inteligentes de Energia – Smart Grids,” 2009. [Online]. Available: http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/eventos/aires_messias.pdf. [Acedido em junho 2017].
- [14] EDP Inovação, “Desenvolvimento da SmartGrid da EDP: Projecto InovGrid,” 2010. [Online]. Available: <https://pt.slideshare.net/mbenquerenca/desenvolvimento-da-smartgrid-da-edp-projecto-inovgrid>. [Acedido em junho 2017].
- [15] EDP, “EDP media,” [Online]. Available: <http://www.edp.pt/pt/media/noticias/2011/Pages/InovCityReferenciaEuropeia.aspx>. [Acedido em junho 2017].
- [16] “S3C - smart people, smart grid,” [Online]. Available: <http://www.s3c-project.eu/News/96/InovGrid.html>. [Acedido em julho 2017].
- [17] ERSE, “Contadores inteligentes de eletricidade e gás natural,” maio 2012. [Online]. Available: http://www.erse.pt/pt/consultaspublicas/consultas/Documents/40_1/Contadores_Inteligentes_eletricidade_gas_CPublica_15052012.pdf. [Acedido em junho 2017].
- [18] G. A. Rio, “Projecto Inovgrid e o papel das TIC na gestão de uma Rede Inteligente,” em *11ª Conferência Anual da itSMF*, 2014.
- [19] EFACEC, “Concentrador Inteligente / controlador de contadores,” [Online]. Available: http://www.efacec.pt/wp-content/uploads/2017/03/CS24P1211C1_low.pdf. [Acedido em 2017].
- [20] DLMS user Association, “what is DLMS/COSEM,” [Online]. Available: <http://www.dlms.com/information/whatisdllmscosem/index.html>.

-
- [21] F. Melo, L. Matias e N. Pereira, “Moving towards an advanced and secure communication infrastructure for the smart grid secondary substations,” em *CIREDD Workshop*, Rome, 2014.
- [22] R. d. S. Augusto, “Simulation of Powerline Communication (PLC) for Smart Grids in OMNeT++,” IST, Lisboa, 2013.
- [23] PRIME alliance, “PRIME v1.4 White Paper,” [Online]. Available: http://www.prime-alliance.org/wp-content/uploads/2014/10/whitePaperPrimeV1p4_final.pdf. [Acedido em 2017].
- [24] Kema, “Estudo sobre contadores inteligentes,” 2012. [Online]. Available: http://www.erse.pt/pt/consultaspublicas/consultas/Documents/40_1/Relat%C3%B3rio%201E_G_Situa%C3%A7%C3%A3o%20actual%20e%20experi%C3%Aancia%20com%20Projectos-piloto%20em%20Portugal_KEMA.pdf. [Acedido em maio 2017].
- [25] I. Arechalde, M. Castro, I. García-Borreguero, A. Sendín, I. Urrutia e A. Fernandez, “Performance of PLC communications in frequency bands from 150 kHz to 500 kHz,” IEEE, Madrid, Spain, 2017.
- [26] A. Sendin, I. Peña e P. Angueira, “Strategies for Power Line Communications Smart Metering,” *Energies 2014*, 2014.
- [27] J. Sá Silva, R. Mendão Silva e F. Boavida, *Redes de sensores sem fios*, Lisboa: FCA, 2016.
- [28] M. Jaatun, I. Tøndel e G. Køien, “GPRS Security for Smart Meters,” HAL achieves-ouverts.fr, 2017.
- [29] M. Rocha, P. Cortez e J. M. Neves, *Análise inteligente de dados - Algoritmos e implementação em java*, Lisboa: FCA, 2008.
- [30] S. Pinho, “Uma Metodologia de Apoio à Decisão para Priorização de Projetos de Tecnologia da Informação,” Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2006.
- [31] M. Matos, “Ajuda Multicritério à Decisão - introdução,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2005.

- [32] C. Bana e Costa, J. Lourenço e M. Oliveira, “Modelos de Apoio à Decisão - Árvores de valor e descritores,” Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2011.
- [33] J. Gao, X. Yang, J. Liu, W. Liang e C. P. Chen, *A survey of communication/networking in Smart Grids*, Elsevier, 2012.
- [34] A. Vassalo, “Redes e Serviços Móveis GSM / UMTS, Avaliação da QoS na perspectiva do utilizador,” em *Conferência IEEE*, Instituto Superior Técnico, 2010.
- [35] J. A. Corchado, E. Manero, J. A. Cortés, A. Sanz e L. Díez, “Application-layer performance analysis of PRIME in Smart Metering networks,” em *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2016 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, Sydney, NSW, Australia, 2016.
- [36] A. Sendin, . A. Llano, . A. Arzuaga e I. Berganza, “Field techniques to overcome aggressive noise situations in PLC networks,” IEEE, Udine, Italy, 2011.
- [37] SAS Institute, “SAS - Company Information,” [Online]. Available: https://www.sas.com/pt_pt/company-information.html#history. [Acedido em janeiro 2018].
- [38] SAS Institute, [Online]. Available: https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/factsheet/sas-enterprise-guide-101431.pdf. [Acedido em fevereiro 2018].
- [39] SAS Institute, “SAS Visual Analytics,” [Online]. Available: https://www.sas.com/pt_br/software/visual-analytics.html. [Acedido em fevereiro 2018].
- [40] SAS Institute, “Communities - SAS Visual Analytics,” [Online]. Available: <https://communities.sas.com/t5/SAS-Visual-Analytics/Have-section-tabs-in-modern-view-like-they-are-in-classic-VA-7-3/td-p/255641>. [Acedido em 2018].
- [41] F. Silva, “Bases de Dados - Parte I , conceitos básicos,” Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, [Online]. Available: <http://www.dcc.fc.up.pt/~fds/aulas/BD/1617/Slides/partel.pdf>. [Acedido em novembro 2017].
- [42] A. M. Almeida, “Modelo de sistemas de informação técnica baseado numa plataforma SIG,” Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2005.

- [43] Grid Innovation Online, “InovGrid Project - EDP Distribuição (Portugal),” [Online]. Available: <http://www.gridinnovation-on-line.eu/articles/library/inovgrid-project---edp-distribuicao-portugal.kl>. [Acedido em 2018].
- [44] C. Bana e Costa, J. Lourenço e M. Oliveira, “Modelos de Apoio à Decisão - Métodos de Ponderação,” Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010/2011.

Anexos

Anexo A.1

Tabela de parâmetros detalhados propostos para avaliação de medição inteligente baseada em PLC, adaptado de [26].

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	PARÂMETRO
A. EVOLUÇÃO DA SUB-REDE	A.1. Estabilidade de topologia	A.1.1. Gráfico	Evolução temporal dos nós registados: número de nós x tempo.
		A.1.2. Valor	Número de alterações na rede (incremento ou decréscimo no número de nós registados) por minuto.
		A.1.3. Conjunto de valores	Valores estatísticos (máximo, mínimo, médio e desvio padrão) da disponibilidade de nós de comunicação medidos ao longo do tempo.
	A.2. Evolução dos dados de aplicação	A.2.1. Gráfico	Número de tentativas de leitura corretas em cada ciclo.
		A.2.2. Conjunto de valores	Valores estatísticos (máximo, mínimo, médio e desvio padrão) de leituras bem-sucedidas em cada ciclo.
		A.2.3. Conjunto de valores	Valores estatísticos (máximo, mínimo, médio e desvio padrão) da duração de tentativas de leitura bem-sucedidas em cada ciclo.
B. NÓS DE COMUNICAÇÃO INDIVIDUAIS	B.1. Tempo total acumulado de estados	B.1.1. Conjunto de valores	Tempo total em cada um dos estados.
		B.1.2. Conjunto de valores	Percentagem de tempo em cada estado
	B.2. Número total de desconexões no nível das comunicações	B.2.1. Valor	Número total de vezes que um nó de comunicação muda de estado registado para não registado.
C. DISPONIBILIDADE DA SUB-REDE	C.1. Disponibilidade das comunicações	C.1.1. Conjunto de valores	Disponibilidade de comunicações. Percentagem de tempo (por elemento)
		C.1.2. Gráfico	Disponibilidade de comunicações referente ao transformador, linha de eletricidade, distância ao PT (linha direta ou comprimento da linha / alimentador), natureza da

			linha (sobrecarga, subterrânea, mista) e endereço de concentração do contador.
	C.2. Disponibilidade do contador	C.2.1. Conjunto de valores	Disponibilidade do contador. Percentagem de tempo (por elemento)
		C.2.2. Gráfico	Disponibilidade do contador referente ao transformador, linha de eletricidade, distância ao PT (linha direta ou comprimento da linha / alimentador), natureza da linha (sobrecarga, subterrânea, mista) e endereço de concentração do contador.
	C.3. Disponibilidade comparada	C.3.1. Gráfico	Representação simultânea de nós de comunicação e disponibilidade de contadores.
	C.4. Disponibilidade da sub-rede (nó de comunicação e nível do medidor)	C.4.1. Valor	Disponibilidade média dos nós de comunicação na sub-rede.
		C.4.2. Valor	Disponibilidade média de contadores na área de influência dos concentradores (sub-rede).
D. TOPOLOGIA DE SUB-REDE	D.1. Estados estáveis mais comuns, com dependências até o nó base	D.1.1. Lista	Lista de estados consecutivos, com hora de início e fim de cada nó.
		D.1.2. Gráfico	Topologia das representações das dependências fornecidas.
		D.1.3. Valor	Acumulação do número de nós Terminal e <i>Switch</i> dependendo de um <i>Switch</i> .
		D.1.4. Lista	Estados inconsistentes (nós com dependências não representadas na árvore).
	D.2. Topologia instantânea de dependências	D.2.1. Gráfico	Gráfico de topologia instantânea, incluindo a capacidade de representar alterações em evolução nas dependências.
E. INFORMAÇÃO DA BASE DE DADOS	E.1. Conectividade da rede BT	E.1.1. Lista	PT, transformador, linha / alimentador, concentração do contador e fase onde contador é colocado, juntamente com a localização geográfica (coordenadas).
		E.1.2. Lista	PT, transformador, linha / alimentador, concentração do contador, juntamente

		localização geográfica (coordenadas).
E.2. Características dos contadores	E.2.1. Lista	Características dos contadores, incluindo as indicações monofásicas ou trifásicas

