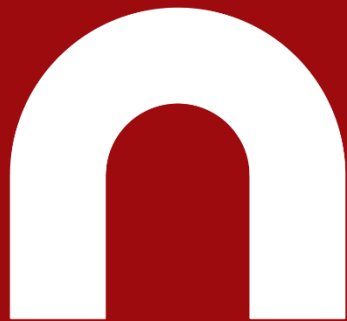




isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA

***Smart Metering* utilizando o PLC Prime na E-Redes**

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas
de Energia

Autor

Nuno Filipe Ferreira Gomes

Orientador

Doutor Fernando Lopes

Supervisor na empresa E-Redes

Engenheiro José Carlos Gonçalves

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, janeiro 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Fernando Lopes pelo acompanhamento constante, por me ter orientado sabiamente e por todos os conhecimentos transmitidos.

Agradeço à E-Redes por proporcionar a realização deste projeto e pelas facilidades concedidas para que o trabalho se pudesse realizar. Em particular ao meu supervisor Eng. José Carlos Gonçalves, pelo apoio incansável, por ter estado sempre disponível e por toda a paciência demonstrada ao longo do projeto, bem como por todos os ensinamentos transmitidos que transcenderam os necessários à realização do trabalho.

Agradeço também aos meus colegas na E-Redes com quem me cruzei diariamente, e que tiveram um papel muito importante na realização deste trabalho e no meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos meus pais, sem eles nada disto seria possível, por toda a compreensão e por terem “aturado” todo o meu *stress*, e ainda assim terem estado sempre prontos para me apoiar e motivar.

Quero ainda agradecer à restante família e amigos que me incentivaram e proporcionaram momentos de boa disposição e amizade, durante esta fase importante do meu percurso académico.

A todas estas pessoas, o meu sincero obrigado.

Nuno Filipe Ferreira Gomes

RESUMO

O setor energético está em rápida mudança devido ao aparecimento de legislação, em muitos países industrializados, que obriga à substituição dos tradicionais contadores estáticos por Equipamentos de Medição Inteligente (EMIs), num reduzido espaço de tempo.

Esta legislação serve não só para tornar a rede elétrica mais eficiente, reduzir os impactos ambientais e manter a estabilidade da rede, mas também para enfrentar os novos desafios que surgem nos dias de hoje como a produção distribuída, o armazenamento de energia e a mobilidade elétrica.

Por estas razões, os Operadores das Redes de Distribuição (ORD) de cada país, no caso de Portugal, a E-Redes, viram-se obrigadas a adotar a tecnologia que consideram mais adequadas para transformar a rede elétrica convencional numa rede inteligente. Atualmente, grande parte do sistema de energia elétrica em Portugal já se encontra em rede inteligente.

Uma vez que este tipo de rede requer dispositivos de comunicação à distância, as perturbações nos canais de comunicação são um tópico importante, pois estas comunicações podem sofrer várias perturbações, como ruído e variações de atenuação.

As perturbações associadas ao ruído podem ocorrer através da utilização de equipamentos comuns que se encontram praticamente em todas as habitações como carregadores de computadores portáteis e telemóveis, iluminação LED/fluorescente e até *boxes* de televisão.

Ocorrendo estas perturbações a rede inteligente deixa de conseguir comunicar de forma fiável, tornando-se assim “inútil”.

Neste trabalho foi apresentada a metodologia utilizada na E-Redes que permite analisar a rede de distribuição em busca destas fontes de problemas, de ruído sendo ainda propostas várias formas de resolução destes problemas.

Por fim, foram desenvolvidos alguns casos de estudo com várias fontes de ruído, para perceber como os seus efeitos são minimizados pela utilização de diferentes tipos de filtros PLC Prime, utilizados atualmente pela E-Redes.

Este trabalho permitiu concluir que a metodologia apresentada funciona, uma vez que foi aplicada em dois exemplos reais na rede de distribuição, os quais foram solucionados. Permitiu concluir ainda que os filtros de fase seccionada com ligação ao neutro de indutância em série e capacidade em paralelo, para estes testes revelaram-se os mais adequados, quer com ruídos de baixa intensidade, quer com ruídos de alta intensidade para os casos analisados, uma vez que permitiram solucionar da melhor forma todos os tipos de ruído testados.

ABSTRACT

The energy sector is changing rapidly due to the emergence of legislation in many industrialized countries that requires traditional static meters to be replaced by smart meters in a short period of time.

This legislation serves not only to make the electrical grid more efficient, reduce environmental impacts, and maintain grid stability, but also to address today's new challenges such as distributed generation, energy storage, and electric mobility.

For these reasons, each country's Distribution Network Operators (DNOs), in the case of Portugal, E-Redes, were compelled to adopt the technologies they consider most appropriate to transform the conventional electrical grid into a smart grid. Currently, the majority of the electric power system in Portugal is already in a smart grid.

Since this type of grid requires remote communication devices, disturbances in the communication channels are an important topic, since these communications may suffer several disturbances, such as noise and attenuation variations.

The noise disturbances can occur through the use of common equipment found in virtually every home such as laptops and cell phone chargers, LED/fluorescent lighting, and even television boxes.

When these disturbances occur, the smart grid can no longer communicate reliably, thus becoming "useless".

This project developed a methodology to be applied at E-Redes, in order to analyze the distribution network searching for these sources of problems and proposed several ways to solve these problems.

Finally, some case studies with several noise sources were developed in order to understand how their effects are minimized by the use of different types of PLC Prime filters, currently used by E-Redes.

This project allowed us to conclude that the developed methodology was successful since it was applied in two field examples in the distribution network, that were solved. This work also allowed us to conclude that the sectioned phase filters with neutral connection and high impedance are the most appropriate for both low-intensity and high-intensity noise in the analyzed cases, since they represented the best solution for all types of noise tested.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS	XVII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento do Trabalho.....	1
1.2 Objetivos do Trabalho	2
1.3 Estrutura do Documento	2
1.4 Apresentação da cadeia de valor e grupo EDP	3
2. ESTRUTURA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	5
2.1 Posto de Transformação e Distribuição	5
2.2 Armário de Distribuição	7
2.3 Ramal.....	8
2.4 Portinhola.....	9
2.5 Caixa de contagem	10
2.6 Contador	11
3. REDES INTELIGENTES E SMART METERING	13
3.1 Limitações da rede elétrica convencional.....	13
3.2 Redes Inteligentes (<i>Smart Grids</i>)	14
3.3 Arquitetura de rede.....	16
3.4 Comunicações	17
3.5 Ativos de Telemetria.....	18
3.5.1 Equipamento de medição inteligente EMI	19
3.5.2 Controlador do transformador de distribuição DTC	20
3.5.3 Totalizador.....	21
3.5.4 <i>Router</i>	22
3.5.5 <i>Modem</i> Telecontagem.....	23
3.5.6 <i>Gateway</i>	24

4. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO DOS EMIs	25
4.1 Escolha da tecnologia	25
4.2 Tecnologias sem fios.....	26
4.2.1 GPRS	26
4.2.2 RF Mesh.....	27
4.3 Tecnologias por cabo	29
4.3.1 PLC-DCSK	29
4.3.2 PLC Prime	31
4.3.3 G3 PLC.....	33
5. PLC PRIME V1.4	35
5.1 Funcionamento específico	35
5.2 Aspectos Fundamentais da Tecnologia Prime	36
5.2.1 Cyclic Redundancy Check (CRC)	36
5.2.2 Codificação Convolucional	36
5.2.3 Scrambler	37
5.2.4 Repetition encoder	37
5.2.5 Interleaving	38
5.2.6 Modulação (Portadora + OFDM)	38
5.3 Funcionamento	40
5.4 Estrutura das tramas PRIME PHY	42
5.5 Modo Robusto	43
6. OTIMIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	45
6.1 Ruído.....	45
6.2 Atenuação	47
6.3 Cadastro.....	48
6.4 Avaria de equipamento	48
6.5 Aperto/Oxidação de ligações	49
6.6 Como solucionar essas anomalias.....	50
6.6.1 Filtros.....	50
6.6.2 Repetidor.....	57
7. METODOLOGIA DE ANÁLISE E DETECÇÃO DE ANOMALIAS DE COMUNICAÇÃO.....	59
7.1 Pré-planeamento.....	59
7.1.1 SITRD - Sistema de Informação Técnica – Rede Distribuição	59

7.1.2	Sysgrid	60
7.1.3	Ordem de trabalho	60
7.1.4	Google Maps	61
7.2	Análise no terreno	61
7.2.1	Dentro do PTD	62
7.2.2	Fora do PTD	63
8.	PROTÓTIPO DE TESTES	65
8.1	Bancada de testes.....	65
8.1.1	Lâmpada fluorescente compacta	68
8.1.2	Lâmpada LED	71
8.1.3	Fonte comutada de 12 V	74
8.1.4	Fonte comutada de 24 V	77
	Fonte comutada de 12 V	80
	Fonte comutada de 24 V	80
8.2	Exemplos no terreno	81
8.2.1	Exemplo 1	81
8.2.2	Exemplo 2	87
9.	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
	ANEXOS	97
	Anexo A – Exemplo da resposta em frequência de um filtro LC feito em LTSpice	97
	Anexo B – Exemplo de um filtro PLC Prime com potencial de aplicação (retirado de [37])	98
	Anexo C – Características técnicas do analisador de espectro EnerVIZOR PLT M1501 (retirado de [42])	99
	Anexo D – Mapa da rede 1 (algumas referências foram anonimizadas)	100
	Anexo E – Elementos da rede 1	101
	Anexo F – Ordem de trabalho pré-análise da rede 1.....	102
	Anexo G – Google Maps da rede 1	103
	Anexo H - Ordem de trabalho pós-análise da rede 1.....	104
	Anexo I – Mapa da rede 2 (algumas referências foram anonimizadas)	105
	Anexo J – Elementos da rede 2.....	106
	Anexo K – Ordem de trabalho pré-análise da rede 2.....	107
	Anexo L – Google Maps da rede 2	108

Anexo M - Ordem de trabalho pós-análise da rede 2	109
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia de valor do setor elétrico.....	4
Figura 2 - Posto de transformação e distribuição em cabine com alimentação subterrânea	6
Figura 3 - Armário de distribuição do tipo X	8
Figura 4 – Portinhola P100.....	9
Figura 5 - Caixa de contagem de instalação monofásica com potência de 5,75 kV..	10
Figura 6 - Contador estático [7]	11
Figura 7 - Esquema de uma Smart Grid [11].....	15
Figura 8 - Arquitetura da rede inteligente, adaptado de [12]	16
Figura 9 – Exemplo de quadro de ativos de telemetria	18
Figura 10 – Equipamento de medição inteligente [14]	19
Figura 11 – Exemplo de um DTC [14]	21
Figura 12 – Exemplo de um Totalizador, adaptado de [15].....	21
Figura 13 - Router, adaptado de [16]	22
Figura 14 - Modem Telecontagem, adaptado de [18].....	23
Figura 15 – Gateway [14]	24
Figura 16 - Ligação gateway	24
Figura 17 - Smart metering utilizando GPRS [19]	26
Figura 18 – Smart metering utilizando RF Mesh, adaptado de [23]	28
Figura 19 - Modulação DCSK [25].....	30
Figura 20 - Diagrama de blocos PLC-DCSK, adaptador de [24]	31
Figura 21 - Diagrama de blocos G3-PLC [29]	34
Figura 22 - Camadas da norma Prime [30]	35
Figura 23 - Diagrama de blocos PLC Prime, adaptado de [30]	36
Figura 24 - Codificação Convolutiva [30].....	37
Figura 25 - Diagrama de blocos do mecanismo FEC no modo robusto [30]	37
Figura 26 - Constelações da modulação DBPSK, SQPSK e D8PSK [30].....	39
Figura 27 - Trama PHY tipo A [30]	42
Figura 28 - Trama PHY tipo B [30]	42
Figura 29 – Ilustração de ruído a afetar comunicações de smart metering.....	46
Figura 30 - Exemplo espectro de frequências do sinal PLC Prime afetado por ruído .	47
Figura 31 – Ilustração de atenuação a afetar comunicações de smart metering	47
Figura 32 - Ilustração erro de cadastro a afetar comunicações de smart metering...	48
Figura 33 - Ilustração de como o filtro impede o ruído	50
Figura 34 - Tipos de filtros PLC Prime	51
Figura 35 - Filtro trifásico [34].....	52
Figura 36 - Esquema de ligação filtro trifásico.....	52
Figura 37 - Ligação de três filtros monofásicos numa instalação trifásica.....	53
Figura 38 - Esquema ligação de três filtros monofásicos numa instalação trifásica..	53
Figura 39 - Filtro de fase [39]	54
Figura 40 - Esquema de ligação filtro de fase	54

Figura 41 - Filtro de fase e neutro [36]	55
Figura 42 - Esquema de ligação de filtro de fase e neutro	55
Figura 43 - Filtro de fase com ligação de neutro [37]	56
Figura 44 - Esquema de ligação de filtro de fase com ligação de neutro	56
Figura 45 – Exemplo de um Repetidor [38]	57
Figura 46 - Esquema de ligação do repetidor.....	57
Figura 47 - Ordem de trabalho	60
Figura 48 - Analisador de espectro [41]	62
Figura 49 - Conjunto de filtros utilizados	65
Figura 50 - Esquema elétrico da bancada de testes	66
Figura 51 - Bancada de testes	67
Figura 52 - Gráfico do espectro de frequências da rede BT – sinal base	67
Figura 53 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT	68
Figura 54 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A	68
Figura 55 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro B	69
Figura 56 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C	69
Figura 57 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D	70
Figura 58 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E	70
Figura 59 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT.....	71
Figura 60 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A.....	71
Figura 61 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo B.....	72
Figura 62 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C.....	72
Figura 63 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D.....	73
Figura 64 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E.....	73
Figura 65 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT	74
Figura 66 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A.....	74
Figura 67 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro B	75
Figura 68 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C.....	75

Figura 69 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D	76
Figura 70 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E	76
Figura 71 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT	77
Figura 72 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A	77
Figura 73 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro B	78
Figura 74 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C	78
Figura 75 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D	79
Figura 76 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E	79
Figura 77 - Mapa da rede 1	81
Figura 78 - Espectro de frequências aos terminais do DTC do PTD 000X	82
Figura 79 - Espectro de frequências da instalação ligada a produzir ruído	83
Figura 80 - Espectro de frequências da instalação após desligação	84
Figura 81 - Instalação dos três filtros de 40 A na mercearia	85
Figura 82 - Espectro de frequências da instalação com ruído após montagem dos filtros na mercearia	85
Figura 83 - Mapa da rede 2	87
Figura 84 - Espectro de frequências aos terminais do DTC do PTD 00XZ	88
Figura 85 - Espectro de frequências do AD 73XU	89
Figura 86 - Instalação dos três filtros de 40 A na loja de tecidos	90
Figura 87 - Espectro de frequências da instalação com ruído após montagem dos filtros na loja de tecidos	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros da modulação OFDM PRIME PHY, adaptado de [30]	40
Tabela 2 - Conclusões sobre a utilização de filtros dos testes de bancada	80

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

ADC – *Analog to Digital Converter* (Conversor Analógico – Digital)

AMI - *Advanced Metering Infrastructure*

AT – Alta Tensão

BN - *Base Node*

BT - Baixa Tensão

BTE - Baixa Tensão Especial

BTN - Baixa Tensão Normal

BTS - *Base Transceiver Station* (Estação Base Transceptora)

D8PSK - *8-ary Differential Phase Shift Keying*

DBPSK - *Differential Binary Phase Shift Keying*

DCP - Disjuntor de Controlo de Potência

DCSK - *Differential Code Shift Keying*

DQPSK - *Differential Quadrature Phase Shift Keying*

DTC - *Distribution Transformer Controller* (Controlador Transformador de Distribuição)

EDP – Energias De Portugal

EMI – Equipamento de Medição Inteligente

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FCC - *Federal Communications Commission*

FDM – *Frequency Division Multiplexing*

FEC - *Forward Error Correction*

FEDER - *Electricité Réseau Distribution France*

GGSN - *Gateway GPRS Support Node*

GPRS - *General Packet Radio Service* (Serviço de Rádio de Pacote Geral)

GSM - *Global System for Mobile communications* (Sistema Global para Comunicações Móveis)

ISM - *Industrial Scientific and Medical*

LED – *Light-Emitting Diode* (Díodo Emissor de Luz)

LNID - *Local Node Identifier*

MT - Média Tensão

OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais)

Smart Metering utilizando o PLC Prime na E-Redes

ORD – Operador da Rede Distribuição

PLC - *Power Line Communication* (Comunicação Via Rede Elétrica)

PRIME - *PoweRline Intelligent Metering Evolution*

QGBT - Quadro Geral de Baixa Tensão

REN – Redes Energéticas Nacionais

RF - Rádio Frequência

RND - Rede Nacional de Distribuição

RNT - Rede Nacional de Transporte

SGSN - *Serving GPRS Support Node*

SID - *Switch IDentifier*

SN - *Service Node*

SYSGRID - *Smart Grid Asset Data Management*

TDM - *Time Division Multiplexing*

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se uma pequena introdução ao presente projeto, a começar pelo enquadramento do trabalho e os respetivos objetivos.

De seguida é descrita a estrutura do documento e por fim é resumida toda a cadeia de valor do setor elétrico e apresentadas as diferentes empresas que atuam em cada setor desta cadeia, com ênfase nas várias empresas subsidiárias do grupo EDP, que atuam na maior parte dos setores.

1.1 Enquadramento do Trabalho

A distribuição de energia elétrica tem um papel fundamental no bem-estar da população e funcionamento da sociedade atual, pelo que o fornecimento da mesma tem de ser feito de forma constante e com altos níveis de qualidade.

Com o aumento do número de consumidores e do consumo de energia elétrica ao longo dos anos, existiu um aumento da produção de energia através de fontes de energia não renováveis e também a exploração intensiva de recursos geológicos, o que é obviamente prejudicial para o ambiente.

Atualmente, com o objetivo de combater estes problemas, foram adotadas pela maioria dos países industrializados, legislação com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e aumentar a eficiência no consumo da energia elétrica.

A sobrevivência do planeta Terra depende da mudança e adaptação dos padrões de vida para permitir uma maior sustentabilidade e menor consumo de recursos. É preciso um novo mundo, onde as energias mais limpas sejam geridas de uma forma inteligente.

Para responder a esta nova era da energia, a E-Redes em conjunto com um consórcio com vários parceiros, lançou em 2007 o InovGrid, um projeto inovador que dotou a rede elétrica de informação e equipamento inteligente capaz de automatizar a gestão da energia, melhorando assim a qualidade do serviço, diminuindo os custos e aumentando a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental.

Esta rede inteligente faz de Portugal um país mais eficiente e sustentável, otimizando os sistemas energéticos, reduzindo as emissões de CO₂ e diminuindo a utilização de recursos fósseis.

1.2 Objetivos do Trabalho

O trabalho desenvolvido neste projeto integrou-se nas atividades da E-Redes, na área de manutenção da Direção de Operações de Redes Inteligentes (DORI) e incluiu numa primeira fase a aquisição de conhecimentos sobre toda a infraestrutura da rede Baixa Tensão (BT), assim como as infraestruturas que suportam as operações de rede inteligente em redes BT, onde se inclui a própria estrutura da rede, os equipamentos existentes, o tipo de comunicações utilizadas, os serviços pretendidos e o sistema de informação de gestão de suporte. Inclui ainda a apresentação da metodologia utilizada pela E-Redes para a análise e resolução de problemas que podem existir na comunicação PLC Prime e ainda a aplicação da mesma em casos reais. Foi realizado ainda um protótipo de teste utilizando várias fontes de ruído para o PLC Prime, onde foi analisado como as perturbações geradas são minimizadas através da instalação de diferentes tipos de filtros PLC Prime.

1.3 Estrutura do Documento

A estrutura do presente relatório está dividida em 9 capítulos, antecidos por um Resumo e *Abstract*, sendo que estes estão relacionados com os objetivos apresentados.

No Capítulo 1, o atual, é apresentado um breve enquadramento do trabalho e dos temas a serem analisados, os objetivos, a estrutura e um breve resumo da cadeia de valor do setor elétrico, assim como a interligação entre as várias empresas que operam em cada atividade, a maioria delas subsidiárias do grupo EDP.

No Capítulo 2, é apresentada a estrutura da rede elétrica de baixa-tensão, bem como vários conceitos associados à mesma.

No Capítulo 3, são apresentados vários conceitos relativos às redes elétricas inteligentes e *smart metering*. É ainda apresentado com detalhe a arquitetura e os equipamentos necessários para o correto funcionamento deste tipo de redes.

No Capítulo 4, é feito um breve resumo das várias opções em termos das tecnologias de comunicação existentes assim como os motivos que levaram à escolha do PLC Prime por parte da E-Redes.

No Capítulo 5, é apresentado em detalhe o funcionamento da tecnologia de comunicação principal na E-Redes, o PLC Prime.

No Capítulo 6, são apresentadas as várias anomalias que limitam ou impedem a comunicação PLC Prime, assim como os equipamentos utilizados para solucionar os problemas colocados por essas anomalias.

No Capítulo 7, é apresentada a metodologia de trabalho que a E-Redes utiliza, e que permite analisar e detetar as anomalias de comunicação PLC Prime, desde o pré-planeamento em *BackOffice* até ao trabalho no terreno.

No Capítulo 8, é desenvolvido um protótipo para testes práticos de várias fontes de ruído PLC Prime e é analisado como os efeitos negativos destas são minimizados com a instalação de diferentes tipos de filtros PLC Prime. São também mostrados alguns exemplos de análises reais, efetuadas no terreno, para as várias anomalias que podem existir na comunicação PLC Prime.

O Capítulo 9, termina este trabalho de projeto com as conclusões relativas ao trabalho e algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

O final deste trabalho inclui as referências bibliográficas e os diversos anexos com documentação técnica, mencionados ao longo do documento.

1.4 Apresentação da cadeia de valor e grupo EDP

O sector elétrico em Portugal pode ser dividido em quatro atividades principais, como podemos observar na Figura 1, sendo elas: produção, transporte, distribuição e comercialização de eletricidade.

O grupo EDP, Energias de Portugal, S.A atua em três destas atividades, produção, distribuição e comercialização de eletricidade.

Toda esta cadeia de valor do setor elétrico é iniciada pela atividade de produção que consiste na transformação de fontes de energia primária em energia elétrica. Esta energia elétrica pode ser produzida a partir de fontes de energia renováveis, como é o caso da energia hídrica, eólica e solar, ou a partir de fontes de energia não renováveis como carvão, gás ou nuclear.

O grupo EDP, Energias de Portugal, S.A possui duas empresas subsidiárias na atividade de produção, a EDP Renováveis e a EDP Produção.

No que toca à atividade de transporte, a Redes Energéticas Nacionais (REN) opera a Rede Nacional de Transporte (RNT) que leva a energia elétrica desde os centros produtores até às subestações localizadas perto dos grandes centros consumidores, assegurando o equilíbrio entre a procura e a oferta de energia, sendo a única entidade de transporte de eletricidade em Portugal, no âmbito de um contrato de concessão estabelecido com o Estado Português.

Na fase intermédia da cadeia de valor do setor elétrico está a distribuição, que une a RNT e os consumidores. A distribuição de eletricidade é feita através da Rede Nacional de Distribuição (RND) constituída por infraestruturas de alta, média e baixa tensão. As redes de distribuição de baixa tensão operam sob contratos de concessão estabelecidos entre municípios e distribuidoras.

Relativamente à atividade de distribuição, o Grupo EDP possui a empresa subsidiária, EDP Distribuição, que no dia 29 de janeiro de 2021 passou a designar-se E-REDES. Este processo acontece de forma a diferenciar a imagem entre operadores do mesmo grupo económico no âmbito do setor elétrico, produtor, distribuidor e comercializador, em linha com as indicações da Comissão Europeia. Foi aprovado pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) a 11 de agosto de 2020, seguido de um plano de ação para garantir a neutralidade de custos e garantir que a transição para a nova marca seja feita sem qualquer impacto para os consumidores e demais *stakeholders*.

A E-Redes é a empresa responsável pela gestão das redes de distribuição de energia elétrica em Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT), cujo concedente é o Estado, e também da rede de distribuição de BT, através das concessões municipais. Esta opera um total de 374 691 km de rede de distribuição e conta para tal com o envolvimento diário e o profissionalismo de mais de 3 000 colaboradores e de cerca de 4 500 prestadores de serviço para a satisfação de 6 200 000 clientes.

A missão da E-Redes baseia-se na garantia da expansão e da fiabilidade da rede, do abastecimento de eletricidade e no fornecimento de serviços aos comercializadores de energia. Alguns dos serviços prestados pela E-Redes 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.

Para finalizar a cadeia de valor do setor elétrico temos a atividade de comercialização. A energia distribuída chega ao ponto de abastecimento sendo então vendida pelo comercializador aos consumidores finais. Na atividade de comercialização o Grupo EDP possui a empresa subsidiária EDP Comercial que atua no mercado livre de energia.

Toda esta cadeia de valor é regulada pela ERSE, que tem como função a regulação dos setores da eletricidade, do gás natural e do Gás de Petróleo Liquefeito (GPL), bem como a gestão de operações da rede de mobilidade elétrica.

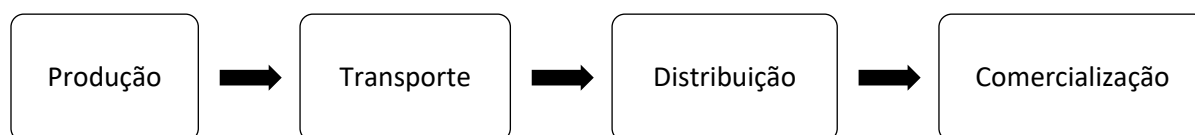


Figura 1 - Cadeia de valor do setor elétrico

2. ESTRUTURA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

De forma a enquadrar os próximos capítulos, é importante perceber toda a rede elétrica de distribuição e os vários conceitos associados à mesma, que são apresentados neste capítulo.

Para fornecer ou receber energia elétrica, é necessário estar ligado à rede elétrica de distribuição pública em baixa, média ou alta tensão.

Para tal, dever-se-á escolher a ligação mais adequada dos pontos de vista técnico e económico, e solicitar ao distribuidor de energia um orçamento para a sua execução:

- Baixa Tensão (BT) – adequa-se a clientes residenciais, lojas, escritórios e pequenas empresas, alimentadas a 230/400 V.
 - Baixa Tensão Normal (BTN), para potências contratadas iguais ou inferiores a 41,4 kVA e uma potência mínima contratada de 1,15 kVA,
 - Baixa Tensão Especial (BTE), para potências contratadas superiores a 41,4 kVA.
- Média Tensão (MT) – destina-se a empresas tipicamente com potências instaladas superiores a 200 kVA, alimentadas ao nível de tensão de 10 kV, 15 kV ou 30 kV, conforme a sua localização geográfica.
- Alta Tensão (AT) – destina-se a empresas tipicamente com potências instaladas superiores a 10 MVA, alimentadas ao nível de tensão de 60 kV [1].

2.1 Posto de Transformação e Distribuição

Um posto de transformação e distribuição, como o da Figura 2, é a instalação responsável por transformar energia elétrica de média tensão para baixa tensão, por meio de um ou mais transformadores, cujo secundário é de baixa tensão.

Estes são constituídos por três componentes principais:

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

Os postos de transformação podem ser classificados quanto ao modo de construção como:

- Aéreos: o transformador instalado num apoio da linha de distribuição de média tensão e o quadro geral de baixa tensão na base desse poste, num armário dimensionado para o efeito;
- Em cabine: todo o equipamento está instalado dentro de uma cabine que pode assumir várias variantes como cabine alta (torre), cabine baixa em edifício próprio, cabine pré-fabricada, cabine metálica (monobloco), cabine baixa integrada em edifício e cabine subterrânea.

Quanto à entrada da alimentação elétrica:

- Aérea: A entrada de energia em média tensão é feita por linhas aéreas, que são amarradas à torre do PTD;
- Subterrânea: A entrada de energia em média tensão é feita por cabos elétricos enterrados.

Quanto à topologia da rede elétrica:

- Radial (antena): caso em que a alimentação é feita por uma única entrada;
- Anel: caso em que a alimentação é garantida por duas entradas distintas. A vantagem desta topologia é que permite a alimentação ao PTD mesmo que uma das entradas esteja fora de serviço [2].



Figura 2 - Posto de transformação e distribuição em cabine com alimentação subterrânea

2.2 Armário de Distribuição

Os armários de distribuição, como o da Figura 3, podem exercer várias funções, tais como, interligar as redes, proteger as linhas derivadas a partir de uma linha principal, e proteger os ramos, podendo combinar as duas ou as três funções. Estes são compostos pelo maciço, invólucro, barramentos de cobre, triblocos e fusíveis.

Os armários de distribuição são escolhidos, segundo o documento “Materiais para derivações e entradas BT – Armários para Ligações Eventuais” (DNT-C62-802/N) da E-Redes, de acordo com alguns critérios como, por exemplo:

- O número de circuitos que possui, de forma a ficar um de reserva para o caso de uma futura expansão;
- As dimensões das secções dos barramentos;
- A distância entre barras de fase consecutivas;
- A distância mínima entre triblocos consecutivos.

Os tipos de armários existentes são considerados os seguintes:

- Armário X: este tipo de armário apresenta cinco circuitos equipados com cinco triblocos de tamanho 2;
- Armário Y: este tipo de armário apresenta seis circuitos, sendo dois equipados com triblocos de tamanho 2 situados ao centro do barramento e quatro equipados com triblocos de tamanho 00;
- Armário W: este tipo de armário apresenta seis circuitos, sendo dois equipados com triblocos de tamanho 2 situados ao centro do barramento e quatro equipados com triblocos de tamanho 00 (idêntico ao armário Y, exceto nas dimensões e distâncias entre triblocos);
- Armário T: este tipo de armário apresenta seis circuitos, sendo quatro equipados com triblocos de tamanho 00 e dois com ligação direta ao barramento e situados em cada uma das suas extremidades;
- Armário Z: este tipo de armário apresenta sete circuitos equipados com sete triblocos de tamanho 2 [3].



Figura 3 - Armário de distribuição do tipo X

2.3 Ramal

É o elemento da instalação que faz a ligação entre a rede existente, a partir, por exemplo do QGBT, do AD, do quadro de uma central geradora ou de uma canalização principal aérea ou subterrânea, e termina numa portinhola [4]. As especificações, no que concerne aos cabos para ramais (tipo de rede, tipo de cabo, tipo de ligação, correntes e potências alimentadas), estão indicadas no documento “Derivações e baixadas - Ligação de clientes de Baixa Tensão – Soluções técnicas normalizadas” (DIT-C14-100/N).

2.4 Portinhola

Uma portinhola, como a da Figura 4, é um quadro onde termina 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.

As portinholas são escolhidas, segundo o documento “Materiais para derivações e entradas BT – portinholas de baixa tensão” (DMA-C62-807/N) e a escolha é justificada pela sua corrente estipulada, o número de circuitos que protege, o tipo de cabo e da sua derivação.

Em situações especiais, como por exemplo, moradias geminadas, em banda, ou edifícios bifamiliares com entradas independentes, é possível utilizar uma caixa de distribuição da rede subterrânea, colocada no muro da propriedade do(s) cliente(s) em vez de utilizar uma portinhola. Essa caixa terá de ser dotada de proteção dos ramais contra sobreintensidades [5].

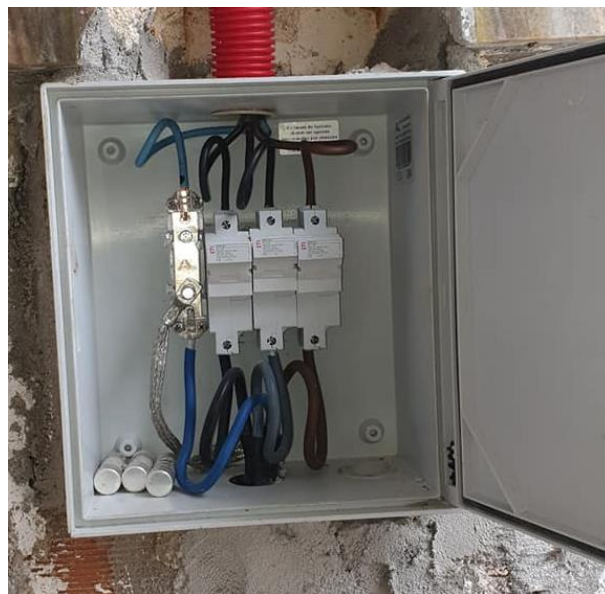


Figura 4 – Portinhola P100

2.5 Caixa de contagem

A caixa de contagem, como a da Figura 5, é o espaço reservado à montagem dos contadores e deve permitir a instalação de contadores trifásicos de ligação direta (mesmo se as instalações tiverem sido projetadas para serem monofásicas), com dimensões suficientes para a sua colocação, remoção e ligação dos mesmos aos condutores e cabos correspondentes.

A caixa de contagem deve ser colocada no exterior e de modo que seja de fácil acesso e seguro por parte do distribuidor de energia, caso este necessite de efetuar leituras, verificações ou substituição do equipamento de medida e contagem [6].



Figura 5 - Caixa de contagem de instalação monofásica com potência de 5,75 kVA

2.6 Contador

O contador tem como função medir a quantidade de energia elétrica consumida. Existem vários tipos de contadores:

Os contadores eletromecânicos funcionam através de indução eletromagnética. Atualmente este tipo de contador já não é instalado em Portugal, no entanto, ainda se podem encontrar em instalações antigas.

Por sua vez os contadores estáticos, como o da Figura 6, são um dos tipos de contadores mais comuns em Portugal, pois surgiram depois dos eletromecânicos.

Já os contadores híbridos conjugam os dois tipos anteriores.

Atualmente os contadores anteriores foram substituídos pelos contadores inteligentes, EMIs, no âmbito do projeto Inovgrid, que vieram agregar a função de Disjuntor de Controlo de Potência (DCP) e contador. Este EMI possui várias características que serão descritas mais à frente no Capítulo 3 [1].



Figura 6 - Contador estático [7]

3. REDES INTELIGENTES E *SMART METERING*

Neste capítulo são abordadas as redes inteligentes e os conceitos gerais associados ao *smart metering*.

Será explicada a arquitetura das redes inteligentes, as diferentes redes de comunicação e ainda os vários ativos de telemetria que constituem uma rede inteligente.

3.1 Limitações da rede elétrica convencional

A infraestrutura da rede elétrica atual caminha para o limite da sua capacidade. Atualmente em Portugal ainda existem ambos os modelos, estando numa fase de transição do modelo centralizado para o novo modelo descentralizado.

No modelo centralizado, a gestão da produção, da distribuição e da rede são realizadas em centros de controlo e operação, possibilitando condições de harmonia e estabilidade da rede elétrica. Esta solução funcionou durante vários anos sem causar grandes problemas e garantindo a estabilidade da rede.

Atualmente, essa solução já não é suficientemente eficaz para dar resposta a alguns problemas, tais como:

- O controlo da procura e da oferta durante períodos específicos (armazenamento de energia);
- A integração massiva de produção distribuída;
- O aumento da produção através de energias renováveis;
- A redução da dependência dos combustíveis fósseis;
- O aumento da mobilidade elétrica [8].

Para dar resposta a estes problemas surgiram as redes inteligentes, que adotando um modelo descentralizado, conseguem combater a imprevisibilidade e volatilidade do fornecimento de energia de origem não fóssil (solar ou eólica), visto que estas dependem de forças naturais e podem provocar grande instabilidade nas redes ou mesmo falha no fornecimento. Mudará também o papel dos consumidores de eletricidade, uma vez que terão uma participação muito mais ativa no sistema.

Estas redes são fundamentais, já que garantem a estabilidade das mesmas, tanto no transporte como na distribuição [9].

3.2 Redes Inteligentes (*Smart Grids*)

Visto a utilidade destas redes ser tão abrangente, necessitam também de uma definição abrangente, e podem ser definidas como “... o conjunto de todas as tecnologias digitais de comunicação bidirecional, de controlo, análise e monitorização automatizada do sistema, acopladas à rede elétrica analógica. Tudo isto de forma a integrar inteligente e eficientemente as ações de todos os utilizadores e operadores a elas conectados (produtores, consumidores, transportadores, distribuidores, fornecedores), com o intuito de garantir um sistema elétrico economicamente eficiente e sustentável com baixas perdas e altos níveis de qualidade e segurança no abastecimento.” [10].

As redes inteligentes são redes de energia que podem monitorizar automaticamente os fluxos de energia e ajustar-se às mudanças na oferta e procura de energia em conformidade. Quando associadas a sistemas de contagem inteligentes, as redes inteligentes chegam aos consumidores e fornecedores, fornecendo informações sobre o consumo em tempo real.

Estas redes utilizam sensores e fazem uso da capacidade informática e de monitorização de dados para escolher as melhores decisões face a situações adversas que possam surgir. Isto facilita a possibilidade de fornecer energia elétrica de forma mais eficiente, económica e fiável.

O desenvolvimento de uma rede elétrica inteligente para o futuro prevê um conjunto de conceitos e funcionalidades [10]:

- **Autorreparação:** A colocação de sensores por toda a rede permitirá utilizar informação em tempo real para antecipar, detetar e solucionar problemas na rede, tendo assim a possibilidade de evitar interrupções e perdas de qualidade do serviço;
- **Motivação e envolvimento dos consumidores:** Uma rede elétrica inteligente incorpora tecnologias que permitem aos consumidores uma gestão energética mais eficiente, reduzindo os custos na fatura elétrica. Uma comunicação entre a rede e o consumidor permite uma relação de cooperação, possibilitando a tarifação em tempo real ou a redução de consumos em períodos de pico de procura de eletricidade;
- **Resistência a ataques ou desastres:** A informação em tempo real proveniente da rede permite aos operadores direcionar os fluxos elétricos por redes alternativas que garantam o serviço nas zonas afetadas;
- **Acomodação de todas as opções de produção e armazenamento de energia:** A interligação eficiente de várias fontes de produção de energia distribuída permite que os consumidores residenciais, comerciais e industriais produzam eletricidade que, em excesso, possam fornecer à rede. Este fator

melhora a fiabilidade e a qualidade da energia, reduz os preços da eletricidade e aumenta as opções do consumidor;

- **Maior eficiência:** As redes inteligentes minimizam os custos de operação e de manutenção da rede. Os fluxos de energia otimizados reduzem os desperdícios energéticos e maximizam o uso de recursos energéticos de baixo custo.

A Figura 7 mostra um esquema de uma rede inteligente. Se o compararmos com o sistema elétrico convencional, podemos observar uma mudança radical, uma vez que estamos a lidar com um sistema menos hierárquico em que tudo está interligado. É possível observar também que neste esquema existe produção distribuída e integrada na rede, assim como a integração dos sistemas de carregamento de veículos elétricos de G2V (do Inglês, *Grid-to-Vehicle*) e V2G (do Inglês, *Vehicle-to-Grid*), e ainda a integração de vários tipos de parques de energias renováveis, como a eólica, solar e hídrica.



Figura 7 - Esquema de uma *Smart Grid* [11]

3.3 Arquitetura de rede

Para que seja possível disponibilizar todos os serviços de rede inteligente aos consumidores finais é necessário constituir uma infraestrutura tecnológica avançada.

A arquitetura da rede inteligente é organizada numa hierarquia multinível, capaz de gerir simultaneamente a informação de cariz técnico e comercial.

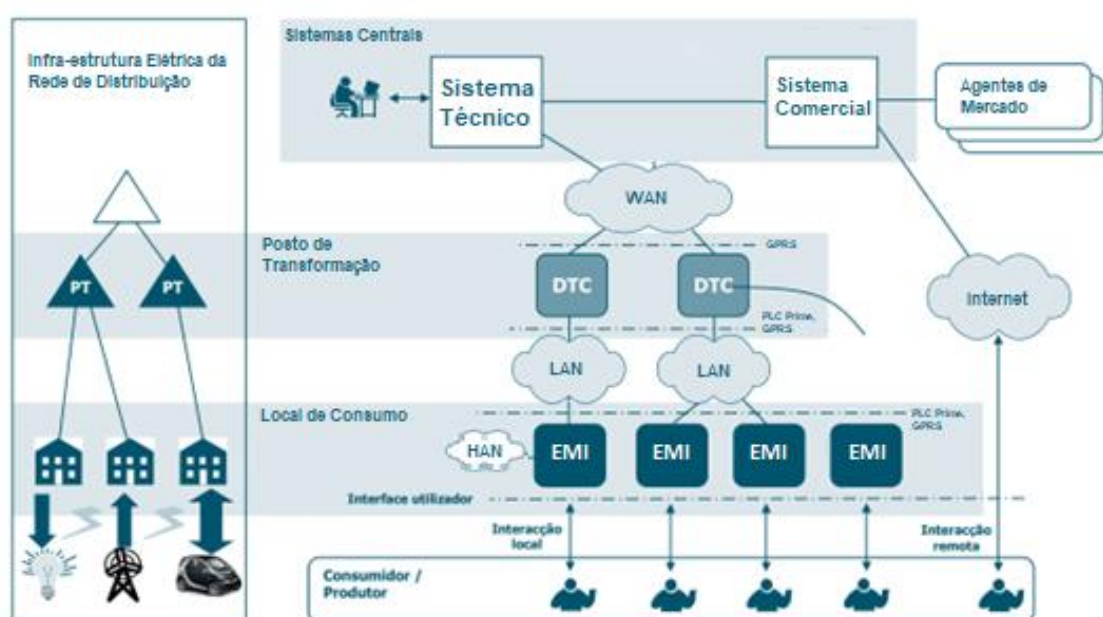


Figura 8 - Arquitetura da rede inteligente, adaptado de [12]

Como é possível observar na Figura 8, a arquitetura está dividida em três níveis:

- **Nível do produtor/consumidor:** deste nível fazem parte os EMI, que se encontram nos pontos de consumo, estes oferecem as funcionalidades de telecontagem de eletricidade e gestão de energia doméstica, incluindo o controlo da microprodução de energia;
- **Nível da subestação MT/BT (posto de transformação):** neste nível encontra-se o DTC (do Inglês, *Distribution Transformer Controller*), que é responsável por gerir os EMI e monitorizar e controlar o posto de transformação;
- **Nível de controlo e gestão central:** neste nível é feita a agregação da informação comercial e de gestão energética, sendo implementado ainda o controlo operacional da rede.

O EMI está localizado no local de consumo e comunica com o DTC, através de PLC PRIME (do Inglês, *PowerLine Intelligent Metering Evolution*). O DTC está localizado nos postos de transformação e por sua vez comunica com os sistemas centrais de supervisão e aquisição de dados do ORD de energia através de GPRS (do Inglês, *General Packet Radio Service*), de modo a integrarem e processarem a informação recolhida.

Os equipamentos que se encontram nestes três níveis comunicam entre si através de tecnologias de comunicação diversas, que foram escolhidas tendo em conta a componente tecnológica e os protocolos de comunicação, de forma que a infraestrutura consiga suportar o tipo e quantidade de tráfego previsto entre os diferentes níveis da arquitetura e os níveis de robustez de comunicação necessários. A solução encontrada pela E-Redes, PLC Prime e GPRS, baseia-se em protocolos *standard*, abertos e interoperáveis, de modo a garantir a compatibilidade, a evolução e o controlo do risco inerente a uma instalação em larga escala [12].

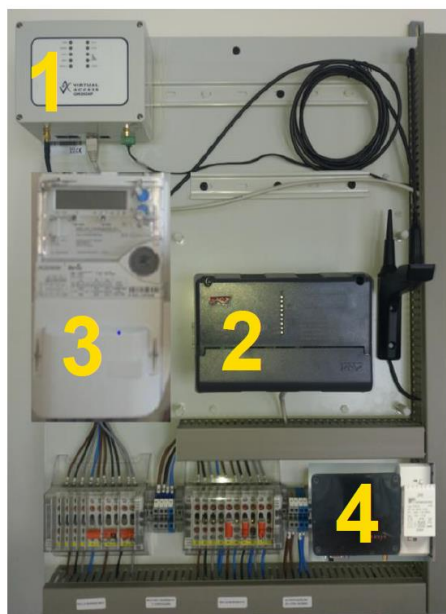
3.4 Comunicações

As comunicações representam uma componente fundamental no projeto de uma rede inteligente, porque disponibilizam todo o suporte de infraestrutura a todas as funcionalidades e serviços. A infraestrutura divide-se nas seguintes redes:

- WAN (do Inglês, *Wide Area Network*): É uma rede de longa distância que neste caso interliga os sistemas do centro de controlo e operação com os DTC;
- TAN (do Inglês, *Transformer Area Network*): Significa rede de área minúscula, ou neste caso do transformador, e interliga o DTC e os restantes dispositivos eletrónicos inteligentes existentes no posto de transformação;
- LAN (do Inglês, *Local Area Network*): É uma rede de área local e nesta aplicação interliga o DTC e os EMIs;
- HAN (do Inglês, *Home Area Network*): É uma rede de área doméstica e interliga o EMI com dispositivos instalados na casa do consumidor/produtor [9].

3.5 Ativos de Telemetria

Para que a rede seja inteligente, não basta instalar contadores inteligentes, é necessária uma infraestrutura de suporte. Atualmente um PTD não é apenas um posto de transformação e distribuição de energia - possuindo um ou mais transformadores, os equipamentos de interrupção/seccionamento e proteção devidos e os respectivos QGBTs, - possui vários outros equipamentos, denominados ativos de telemetria, que se encontram instalados num quadro, como mostra a Figura 9.



- 1 – Router
- 2 – DTC
- 3 – Totalizador
- 4 – Modem Telecontagem

Figura 9 – Exemplo de quadro de ativos de telemetria

3.5.1 Equipamento de medição inteligente EMI

Um EMI, como o da Figura 10, substitui os antigos contadores de eletricidade e é responsável por fazer a ligação da casa dos consumidores à rede inteligente de energia.

Este é o ponto de comunicação entre o cliente e a rede, e além de fazer a contagem como os contadores antigos, possui várias vantagens tanto para o cliente como para o ORD.

Para o ORD:

- facilita a deteção e resolução de avarias;
- possibilita funcionalidades de telecontagem (leitura remota dos consumos);
- possibilita funcionalidades de telegestão (corte e religação, alteração da potência contratada, alterações tarifárias, controlo da microgeração, criação de serviços de valor acrescentado e integração com a domótica tudo isto de forma remota).

O cliente deixa de necessitar de fornecer leituras todos os meses, passando o registo dos consumos a ser automáticos. Estes consumos são reais e não estimativas. O cliente pode ainda ter acesso às informações sobre o seu consumo de energia elétrica, podendo assim corrigir hábitos menos eficientes e por consequência reduzir a fatura. Poderá também ver o seu diagrama de cargas diário, conhecendo assim as horas de maior consumo e aquelas em que o preço da eletricidade é mais favorável, podendo as alterações contratuais serem realizadas à distância [1].



Figura 10 – Equipamento de medição inteligente [14]

3.5.2 Controlador do transformador de distribuição DTC

Além dos EMIs, um dos principais equipamentos necessários são os DTCs ou concentradores de dado, como o ilustrado na Figura 11. Estes dispositivos são instalados nos PTDs, possuindo capacidade de gestão ao nível da MT e BT, e asseguram a comunicação bidirecional entre os milhares de EMIs instalados no país e os sistemas centrais de informação da E-Redes. Permitem também a comunicação com a “BT Grid” que é a aplicação usada na E-Redes para telecontrolo da rede elétrica. Para serem utilizados em MT é necessária a utilização de TTs (Transformadores de Tensão) e TIs (Transformadores de Intensidade), em BT são necessários apenas TIs.

O DTC possui as seguintes funções:

- Gestão dos equipamentos terminais de monitorização de rede, de telegestão e de contagem - EMIs - que se encontram instalados nos locais de consumo da rede BT associada ao DTC, ou no PT. Esta gestão inclui a configuração, a recolha de informação e o envio de comandos para os EMIs. Inclui também a gestão da própria rede de comunicações com os EMIs e ainda a comunicação com os sistemas de informação centrais;
- Análise de informação do transformador de potência e dos EMIs (eventos, alarmes, potências de consumo) para a gestão da rede BT. Faz também a monitorização de sinais (porta de cabina do PTD aberta) e/ou gestão de dispositivos (sensor de temperatura) do transformador de potência ou do PTD. O DTC deverá ainda suportar o acréscimo futuro de outras funções como, por exemplo, a gestão da microprodução e o controlo do carregamento do veículo elétrico [13];
- Análise da qualidade da energia;
- Detecção e notificação de falhas de energia;
- Monitorização do desequilíbrio de cargas e tensões;
- Monitorização de sobrecarga do transformador;
- Balanço energético [8].



Figura 11 – Exemplo de um DTC [14]

3.5.3 Totalizador

O Totalizador, como o ilustrado na Figura 12, é um contador trifásico de ligação indireta, pois possui TIs que permitem a leitura de grandezas do transformador do PT. Recolhe ainda correntes, tensões, pontas máximas e diagramas vetoriais. Este também necessita de estar em telecontagem, utilizando um *modem* GPRS próprio ou através do *router* ligado ao DTC.

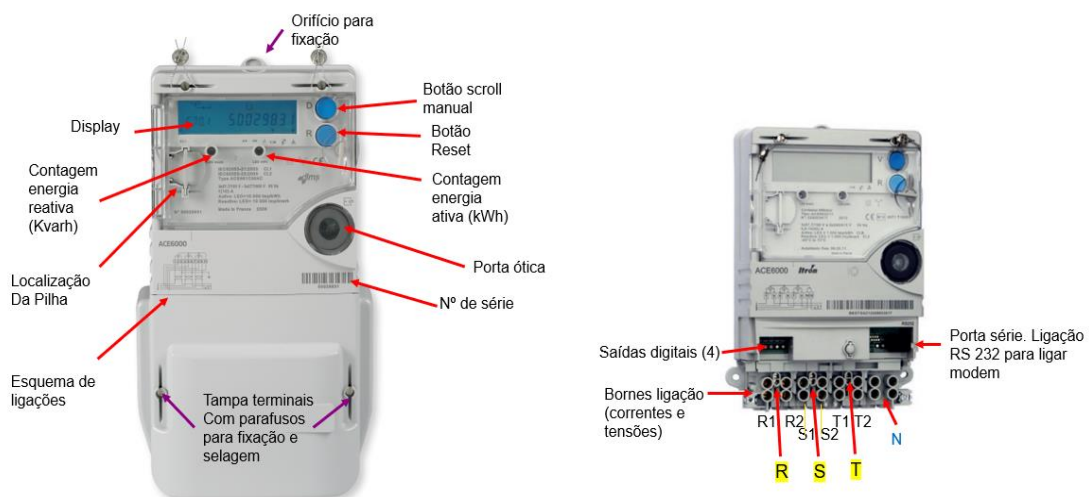


Figura 12 – Exemplo de um Totalizador, adaptado de [15]

3.5.4 Router

O *Router*, como por exemplo o apresentado na Figura 13, é um equipamento que permite as comunicações GPRS/3G nos diversos dispositivos no posto de transformação. Agrega as comunicações do DTC via *Ethernet* e reencaminha para o sistema EDP (Sysgrid). Pode agregar as comunicações do totalizador via RS232 e reencaminhar para o sistema EDP. Agrega as comunicações do contador IP via RS485 e reencaminha para o sistema EDP.

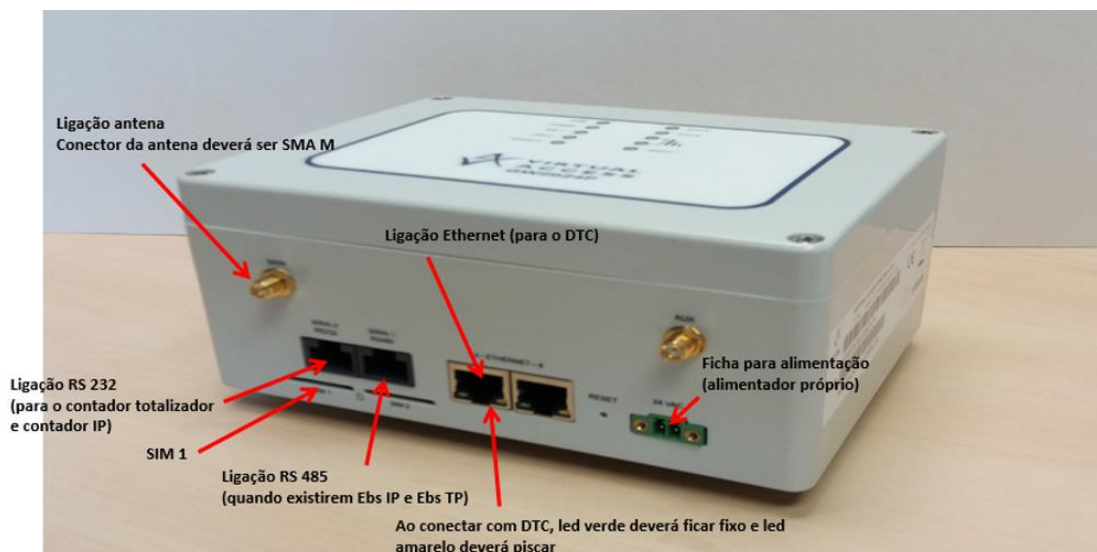


Figura 13 - Router, adaptado de [16]

3.5.5 Modem Telecontagem

O *Modem Telecontagem*, como o ilustrado na Figura 14, é o equipamento que permite as comunicações GPRS do totalizador e do contador IP do PT, permitindo a estes estarem em telecontagem. Agrega as comunicações do totalizador via RS232 e reencaminha para o sistema EDP. Quer o sistema seja PLC, GPRS ou ADSL necessita sempre de um *modem* específico [17].

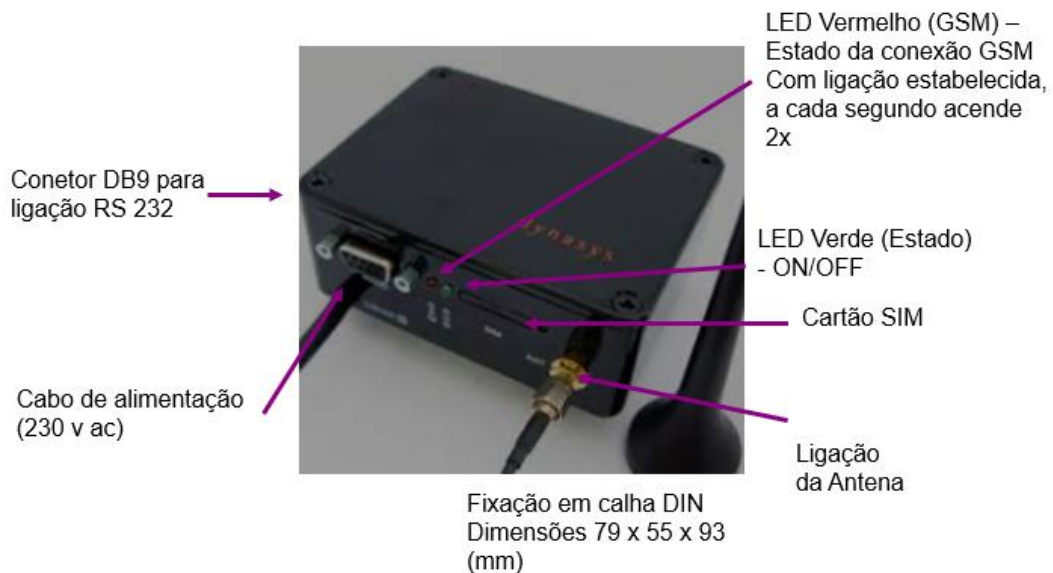


Figura 14 - Modem Telecontagem, adaptado de [18]

3.5.6 Gateway

O *Gateway*, como o da Figura 15, é um equipamento que permite criar pontes de comunicação com o DTC, em pontos intermédios da rede, solucionando assim problemas relacionados com longas distâncias onde o sinal PLC Prime não consegue chegar.

Este liga-se por GPRS ao DTC e pode ser instalado em qualquer ponto da rede onde seja possível conferir alguma proteção mecânica e a colocação de uma antena GPRS idêntica à dos DTC, como por exemplo, nos armários de distribuição, caixas de coluna, etc.



Figura 15 – Gateway [14]

Este equipamento apenas necessita da ligação das três fases e neutro, no caso da instalação ser trifásica, como mostra a Figura 16, ou caso seja numa instalação monofásica, apenas necessita da ligação na fase R e neutro.

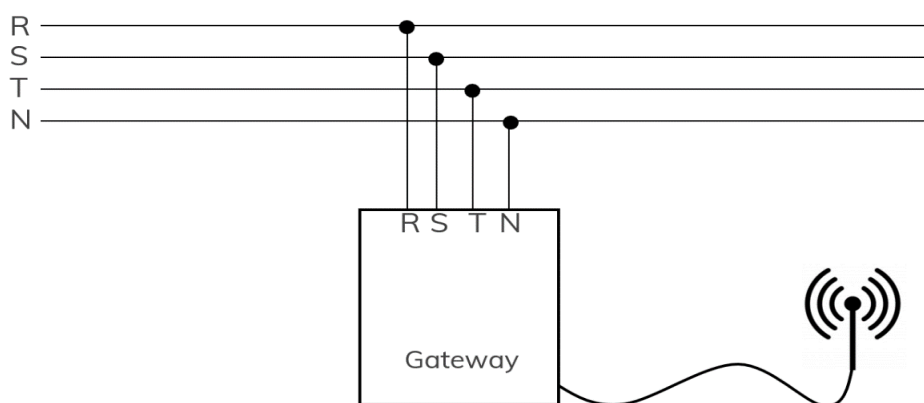


Figura 16 - Ligação gateway

4. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO DOS EMIs

Neste capítulo serão descritos vários tipos de tecnologias de comunicação utilizadas pelos EMIs, com e sem fios, assim como as razões que levaram a E-Redes a escolher o PLC PRIME e o GPRS como as tecnologias principais em Portugal.

4.1 Escolha da tecnologia

Uma vez que a legislação não estipula qualquer infraestrutura de comunicações específica, o ORD é livre de decidir qual a melhor opção, desde que cumpra os regulamentos relacionados com segurança e privacidade. Existem várias tecnologias por onde escolher, cada uma com as suas vantagens e desvantagens.

De forma a escolher a tecnologia de comunicação a utilizar, a E-Redes iniciou alguns projetos-piloto de forma a testar algumas tecnologias como PLC-DCSK, GPRS, RF Mesh e PLC Prime. Estes projetos-piloto foram realizados com o intuito de tirar conclusões acerca destas tecnologias no que toca:

- À fiabilidade das diferentes tecnologias de comunicações;
- À maturidade e estrutura de custos das tecnologias de comunicação;
- Às evidências coletadas face às mudanças no comportamento dos consumidores acerca da disponibilização de uma informação mais realística sobre o consumo das suas instalações;
- Às funcionalidades mínimas consideradas nos contadores instalados em baixa tensão;
- À relação custo/funcionalidade dos contadores [17].

A segurança nos sistemas AMI (do Inglês, *Advanced Metering Infrastructure*) é também bastante importante visto que os EMIs têm de comunicar informações sensíveis. A entrega de energia aos EMIs pode ser controlada remotamente, assim como as atualizações de estado, *software* e os parâmetros de configuração podem ser todos considerados confidenciais.

Assim, os ORDs precisam de saber quão segura é a comunicação. A segurança pode ser utilizada como um fator diferenciador ao decidir sobre qual tecnologia de comunicação utilizar. É, no entanto, provável que outras considerações, tais como a área de cobertura da rede de telecomunicações e a densidade da área povoada, terá tido mais peso. Ainda assim, o conhecimento da proteção oferecida pelas tecnologias de comunicação alternativas é importante para decidir que medidas de segurança adicionais são necessárias. Só com esse conhecimento é que os ORDs podem decidir quais as soluções de comunicação que sejam, ao mesmo tempo, rentáveis e que ofereçam segurança adequada [19].

4.2 Tecnologias sem fios

As comunicações sem fios consistem na transferência de dados sem a utilização de cabos. É uma boa opção, pois os custos de manutenção e instalação são baixos, apenas necessitando de um cartão SIM, o qual, em regra, é tarifado consoante a quantidade de dados transmitidos.

4.2.1 GPRS

O GPRS, mais conhecido como Serviço de Rádio de Pacote Geral, é uma tecnologia associada a comunicações móveis via rádio para transmissão de dados. Esta é uma extensão melhorada da tecnologia GSM (do Inglês, *Global System for Mobile communications*), da qual retira partido da sua infraestrutura, razão pela qual no seu início tinha a mesma cobertura (2,5G). Permite o envio de mensagens instantâneas, mensagens curtas (SMS) e multimédia (MMS) e também *e-mails*. Proporciona velocidades de transferência entre os 56 e 114 kbps [20].

Com a introdução do GPRS pretendeu-se otimizar o equipamento GSM existente, oferecendo velocidades até 171,28 kbps com recurso a 8 *slots* de tempo das redes GSM.

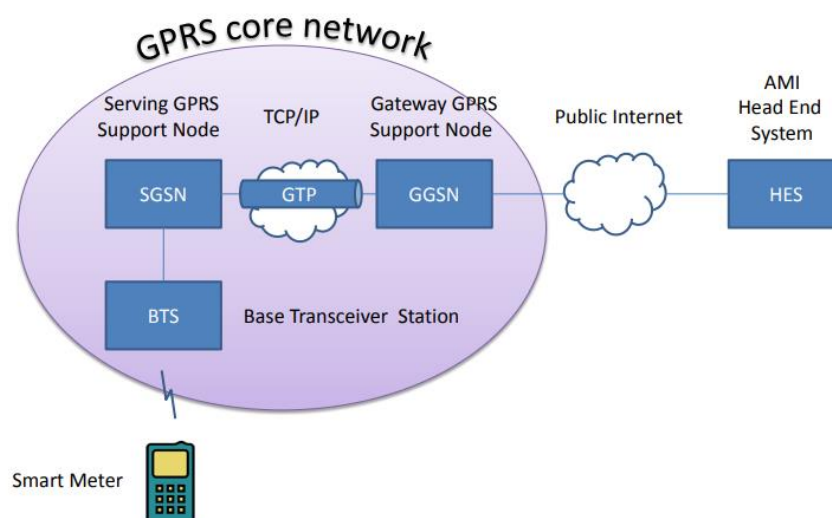


Figura 17 - Smart metering utilizando GPRS [19]

Como podemos observar na Figura 17, a comunicação é feita diretamente entre os EMIs e os sistemas centrais. Esta tecnologia introduz a necessidade de uma série de novos elementos na rede, como o SGSN (do Inglês, *Serving GPRS Support Node*) que conecta à BTS (do Inglês, *Base Transceiver Station*) e o GGSN (do Inglês, *Gateway GPRS Support Node*) na estação móvel do operador, que faz a ligação à Internet pública, o que permite a comunicação com os sistemas centrais da EDP.

A utilização de GPRS para *smart metering* implica equipar os EMI's com um módulo SIM e um terminal de comunicações que comunique por GPRS.

Esta tecnologia é frequentemente utilizada em *smart metering*, quando se trata de redes isoladas, por exemplo, em zonas rurais, para ligações ponto-a-ponto ou ainda para comercializadores que necessitam de informações específicas, como diagramas de carga, etc.

A fiabilidade desta tecnologia é boa, madura e normalizada, com uma elevada taxa de sucesso na execução de serviços. Por outro lado, os custos desta tecnologia são elevados e detetam-se ocasionalmente problemas de congestionamento/sobrecarga na rede [21].

4.2.2 RF Mesh

A tecnologia RF Mesh consiste numa arquitetura de telecomunicações via rádio constituída por elementos de rede (nós de rede) a comunicar via radiofrequência (RF) e organizados segundo uma tipologia em malha [21].

Esta tecnologia é unicamente adequada para utilização em aplicações *smart metering* devido à sua capacidade de formar dinamicamente ligações de comunicação *ad-hoc* (sem ponto de acesso) entre nós de redes vizinhas. Além disso, o alcance da comunicação pode ser aumentado através da realização de múltiplos HOPS (ocorre quando um pacote é passado de um segmento de rede para o seguinte) de um nó para o outro até que o destino final seja alcançado. Assim, os sistemas RF Mesh são capazes de superar condições de propagação variáveis, que são tipicamente encontradas numa NAN (do Inglês, *Neighborhood Area Network*), encontrando caminhos alternativos através da malha no caso de um caminho ser bloqueado por uma obstrução. Outras soluções RF, tais como sistemas ponto a ponto ou ponto a multiponto, são limitadas pela necessidade de ter ligações fiáveis consistentes entre cada par de nós de comunicação.

Os sistemas de medição inteligente baseados em redes de RF operam predominantemente nas bandas ISM (do Inglês, *Industrial Scientific and Medical*), dos 902 aos 928 MHz, que são reguladas pela FCC (do Inglês, *Federal Communications Commission*) [22].

A utilização destas bandas oferece a vantagem de um alcance alargado e uma melhor penetração através de paredes e objetos em comparação com as bandas ISM de maior frequência, tais como a de 2,4 GHz. Os sistemas atuais baseiam-se tipicamente em esquemas de modulação FSK (do Inglês, *Frequency-Shift Keying*) e utilizam FHSS (do Inglês, *Frequency-Hopping Spread Spectrum*) para evitar a colisão.

A utilização de FHSS também oferece um melhor *link budget* e uma maior sensibilidade do recetor em comparação com o espectro de propagação direta de sequência (DSSS), devido à sua menor largura de banda de canal. O aumento do *link budget*, por sua vez, leva a um maior alcance. A equação simplificada para calcular o *link budget* é a seguinte:

$$\text{Potência Recebida (dBm)} = \text{Potência Transmitida (dBm)} + \text{Ganhos (dB)} - \text{Perdas (dB)}$$

A Figura 18 representa uma arquitetura típica de rede de medição inteligente baseada em RF Mesh. Nesta podemos observar que os EMIs comunicam com os *routers* dentro na rede NAN. Os *routers* por sua vez comunicam com o DTC ou concentrador de dados, que se encontram na rede WAN. Por sua vez, este DTC ou concentrador de dados comunica através da *Internet* pública com o gestor de rede, que se encontra nos sistemas centrais.

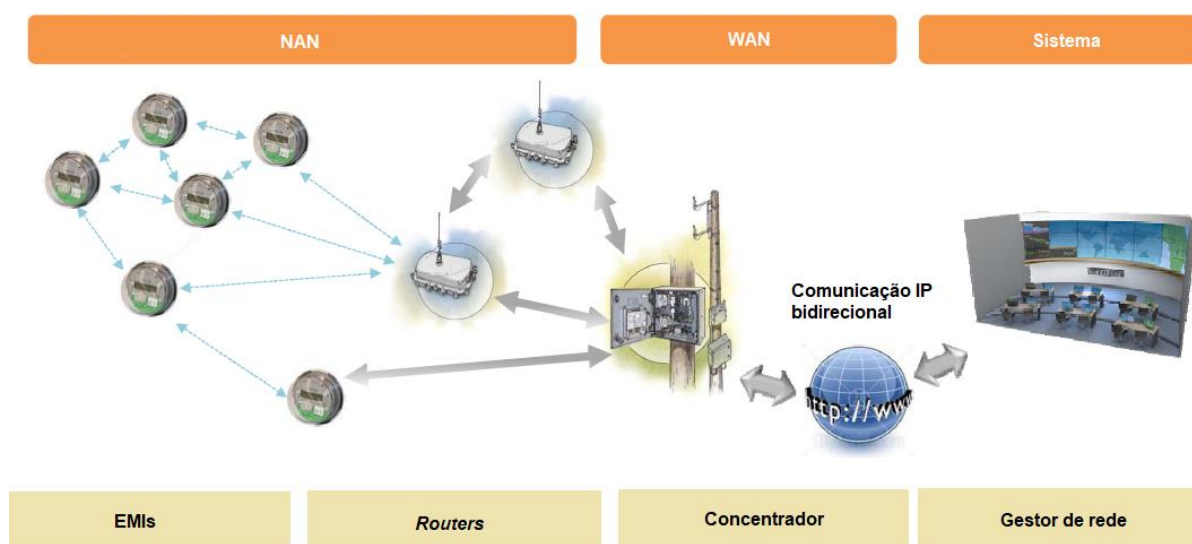


Figura 18 – Smart metering utilizando RF Mesh, adaptado de [23]

Esta tecnologia é particularmente apropriada para instalações concentradas e é necessário ter espectro disponível, o qual depende da autorização do regulador das telecomunicações, a Autoridade Nacional de COMunicações (ANACOM) [23].

4.3 Tecnologias por cabo

As linhas elétricas foram originalmente concebidas para a distribuição de energia elétrica a baixas frequências (50 Hz no caso de Portugal), de um pequeno número de produtores para um enorme número de consumidores. Daí que a transmissão de dados a frequências mais elevadas ter muitas limitações, causadas por diferentes tipos de interferência.

O PLC (do Inglês, *Power Line Communication*) é um termo genérico para a tecnologia que permite utilizar estas linhas de energia como meio de comunicação, ou seja, para transferência de dados.

No início, as aplicações em PLC foram pensadas de um ponto de vista da segurança da rede elétrica, de forma a garantir-se a proteção de algumas secções dos sistemas de distribuição de energia, no caso de haver falhas energéticas. Face ao alastramento das redes de distribuição de energia elétrica, começaram por volta de 1922 a operar os primeiros sistemas PLC em linhas de alta tensão, utilizando frequências entre os 15 kHz e os 500 kHz. Mais tarde, encontrou-se aplicabilidade do PLC para medição dos consumos na rede elétrica, dado que os tráfegos envolvidos eram bastante baixos.

A grande vantagem desta tecnologia é que tira partido de uma infraestrutura já existente, o que significa poupanças significativas em termos de construção, instalação e custos de manutenção da rede.

Por outro lado, possui várias desvantagens, pois é fortemente afetada pelo ruído, cargas e impedâncias que podem alterar-se em curtos períodos.

4.3.1 PLC-DCSK

O PLC-DCSK (do Inglês, *Power Line Communication - Differential Code Shift Keying*) é um sistema de comunicação, desenvolvido pela Yitran, ou seja, proprietária, que transmite dados através de tecnologia PLC [24].

Esta técnica de espalhamento espectral utiliza uma largura de banda muito maior do que a banda mínima necessária para transmitir a informação. Desta forma, os dados são “espalhados” através da inserção de mudanças de tempo entre dados sucessivos. A desmodulação é feita pela correlação entre o sinal recebido e uma réplica do sinal usado para espalhar a informação.

O DCSK modula o símbolo por deslocamento cíclico do símbolo básico no transmissor, e a detecção do deslocamento no recetor. O primeiro gráfico da Figura 19 mostra o símbolo original sem deslocamento, que também pode representar uma informação '0000'. Já o segundo e terceiro gráficos demonstram símbolos modulados que são criados a partir do símbolo original por deslocamento cíclico de acordo com o valor dos dados.

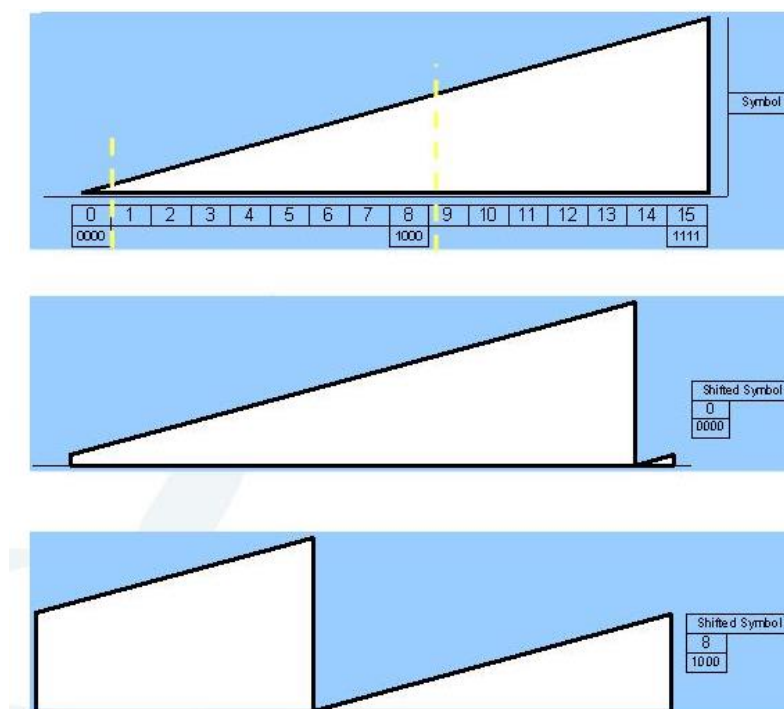


Figura 19 - Modulação DCSK [25]

As modulações de espalhamento espectral oferecem muitas vantagens, pois este deslocamento é insensível a ruídos de banda estreita, que são comuns nas linhas de BT, e também são capazes de funcionar quando o nível de sinal é inferior ao nível de ruído (SNR negativo).

Esta modulação é também menos suscetível à atenuação de múltiplos percursos, sinais que chegam através de rotas diferentes e a modulação por impedância. Estas propriedades explicam porque é que as forças militares têm utilizado a modulação DCSK de espalhamento espectral durante muitos anos e porque é que esta é considerada a técnica de modulação mais robusta para comunicação PLC.

Um sinal *chirp* (*sweeping frequency*) começa e termina em diferentes frequências. Para a banda CENELEC-A, tipicamente entre 20-80 kHz, dependendo do símbolo transmitido. A modulação DCSK suporta múltiplos modos de transmissão que correspondem ao número de bits que são transmitidos durante cada período do símbolo no modo padrão, há 6 bits representados por cada símbolo.

Devido ao “espalhamento” do sinal ao longo de uma banda de frequências, o ruído em qualquer frequência não afeta muito o sinal. A razão para isto é que o decodificador ainda pode decodificar as partes da forma de onda que não são afetadas. Para transmissões dentro da banda CENELEC-A, a mesma forma de onda é também repetida em três bandas de transmissão, 18-44 kHz, 38-63 kHz e 58-89 kHz o que faz do DCSK uma tecnologia de modulação extremamente robusta.

Um recetor DCSK contém um correlacionador que utiliza um filtro combinado com um modelo da forma de onda do *chirp* que é utilizado para detetar a quantidade de deslocamento dentro do sinal recebido para cada símbolo. Isto pode ser comparado para todos os padrões de deslocamento possíveis, com o padrão de deslocamento que com a correlação máxima decodificado para produzir os dados originalmente transmitidos. Um transmissor DCSK pode ser representado pelo diagrama de blocos na Figura 20, porém, dada a semelhança entre este diagrama e o diagrama do PLC Prime, estes blocos serão explicados mais à frente no Subcapítulo 5.2.



Figura 20 - Diagrama de blocos PLC-DCSK, adaptador de [24]

4.3.2 PLC Prime

A Prime Alliance foi fundada em 2006 por 8 empresas líderes do setor energético, e o PLC Prime é uma das normas mais comuns atualmente. Esta foi o resultado de regulamentos que obrigam a tornar a rede elétrica mais inteligente [26].

Foi aprovada como norma internacional ITU G.9904 e começou por ser implementada pela Iberdrola em Espanha e atualmente possui uma adesão mundial de mais de 65 empresas, incluindo serviços públicos, institutos de pesquisa, empresas de *chipsets* e *software*, fornecedores de contadores inteligentes e concentradores de dados, integradores e consultores. Além de Portugal e Espanha é utilizada também na América do Sul.

O Prime focou-se no desenvolvimento de uma nova solução de telecomunicações aberta, pública e não proprietária que apoia não apenas as funcionalidades de medição inteligente, mas também o progresso em direção à *smart grid*. As comunicações por linha de energia, PLC, são uma tecnologia muito adequada para fornecer o desempenho de telecomunicações necessário, mesmo em redes elétricas subterrâneas complexas.

O PLC Prime funciona com velocidades desde 5,4 kbps a 1028,8 kbps consoante o tipo de modulação e o número de canais ativos.

Esta norma não pode ser utilizada de forma individual, é necessário recorrer a outra tecnologia, como o 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 (cartões SIM) [27].

A fiabilidade desta tecnologia varia consoante a rede, pois depende das suas características elétricas, bem como da variação das cargas (e consequentemente do ruído) ao longo do dia e também da densidade de equipamentos. Logo, a transmissão de dados sobre a rede elétrica envolve uma série de problemas, tais como:

- Atenuação;
- Ruído;
- Mudanças bruscas de impedância [21].

Para minimizar estes problemas, são utilizados diferentes tipos de modulações (do tipo digital para analógico), tais como ASK (*Amplitude-Shift Keying*), FSK (*Frequency Shift Keying*) ou PSK (*Phase Shift Keying*) para banda estreita, e OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para banda larga [26].

O PLC Prime está hoje bastante desenvolvido, consolidado e é utilizado como padrão a nível mundial para diferentes aplicações como *smart metering*, controlo de rede e monitorização de ativos. O objetivo de estabelecer um conjunto de padrões PLC internacionais abertos está mais que alcançado.

Para a Europa Ocidental, os regulamentos relativos ao circuito de linhas elétricas residenciais estão descritos na norma CENELEC EN 50065 [28]. Esta norma menciona a sinalização em instalações elétricas de baixa tensão na banda de frequência dos 3 kHz aos 148,5 kHz para a transmissão de informações na rede elétrica de baixa tensão, quer na rede pública de distribuição de eletricidade, quer no interior das instalações dos consumidores. A banda utilizada pela E-Redes é a CENELEC-A, dos 9 kHz aos 95 kHz, pois é limitada aos distribuidores de energia.

No caso do PLC Prime v1.3.6, implementado em Portugal pela E-Redes, funciona numa gama de frequências dos 40 kHz aos 90 kHz, mais especificamente dos 41,992 kHz aos 88,867 kHz, evitando assim a parte inferior da banda CENELEC-A, que normalmente é bastante ruidosa.

Esta norma será abordada com mais detalhe no Capítulo 5.

4.3.3 G3 PLC

Em 2007, começou o desenvolvimento de um novo e mais inteligente padrão PLC de banda estreita com modulação OFDM, que funciona com velocidades desde os 44 kbps até aos 280 kbps. Oferece comunicações altamente fiáveis, de alta velocidade em ambos os sentidos e de longo alcance através da rede elétrica já existente. As características e capacidades do G3-PLC foram concebidas especificamente para *smart grids* de forma a enfrentar os difíceis desafios das comunicações através da rede elétrica [29].

O G3-PLC é uma norma aberta e internacional publicada pela Unidade Internacional de Telecomunicações ITU G.9903 e é atualmente a norma mais utilizada globalmente, em países como França, Alemanha, Suíça, Itália, Ucrânia, Índia, Rússia e China.

Esta norma utiliza a banda de frequências entre 10 e 500 kHz para a transferência de dados. Pode operar na banda Europeia CENELEC A (35 kHz - 90 kHz), na banda Europeia CENELEC B (98 kHz - 121 kHz), na banda Japonesa ARIB (155 kHz - 403 kHz) e na banda EEU, FCC (155 kHz - 487 kHz) [15].

As redes de comunicação bidirecionais baseadas em G3-PLC fornecem aos operadores de redes elétricas capacidades inteligentes de controlo e monitorização. Os operadores serão capazes de monitorizar o consumo de eletricidade em toda a rede em tempo real, implementar horários de taxas variáveis e estabelecer limites de consumo de eletricidade para melhor gerir picos de carga.

Por sua vez, os consumidores poderão ter visibilidade em tempo real do seu consumo de eletricidade. Com a adição de horários de tarifas variáveis, os utilizadores serão encorajados a reduzir o consumo de eletricidade durante os períodos de pico de utilização.

Em 2011, foi criada a G3-PLC Alliance, patrocinada pela FEDER (do Francês, *Electricité Réseau Distribution France*), uma organização cujo objetivo era desenvolver um padrão global para esta tecnologia e promovê-la a nível mundial, a fim de permitir a interoperabilidade de diferentes dispositivos e a sua implementação. Atualmente conta com quase 100 membros que são *stakeholders* internacionais do ecossistema da rede inteligente, incluindo empresas de serviços públicos, empresas de semicondutores, fabricantes de equipamento e empresas industriais.

O G3-PLC pode ser representado pelo diagrama de blocos representado na Figura 21, no qual os dados a serem transmitidos passam por um *scrambler*, de forma a 'aleatorizar' o fluxo de bits, o quais são incorporados em mecanismos de correção de erros baseado num codificador *Reed-Solomon* seguido por um codificador convolutivo e um *interleaver* bidimensional, que introduz diversidade de tempo ou de frequência. Após este existe ainda uma modulação OFDM da subportadora, após a qual é injetada na rede elétrica.

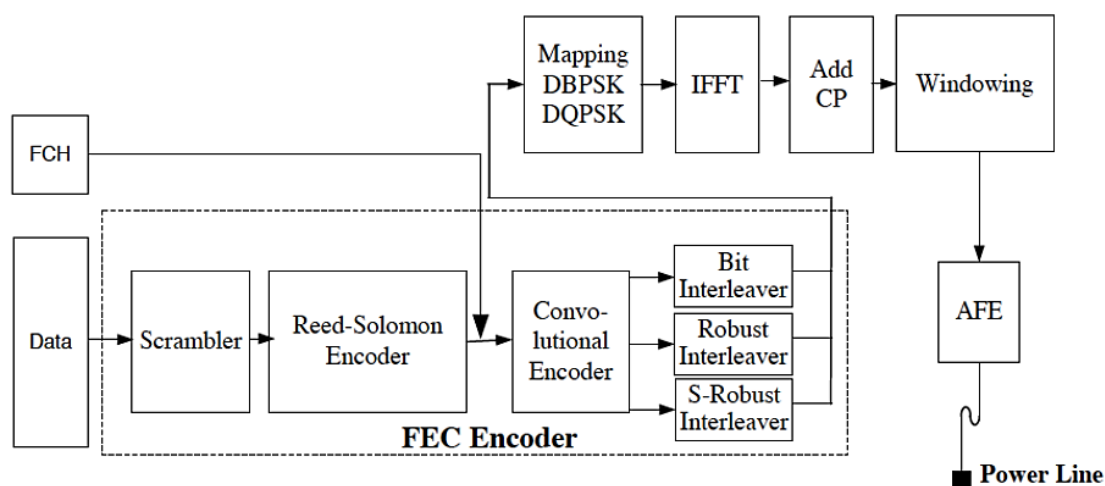


Figura 21 - Diagrama de blocos G3-PLC [29]

5. PLC PRIME V1.4

Neste capítulo será aprofundado o funcionamento do PLC Prime v1.4 que é a mais recente versão do PLC Prime, referido na Secção 3.4.2.

5.1 Funcionamento específico

O Prime consiste numa camada física (PHY), uma camada MAC (do Inglês, *Medium Access Control*) e várias Camadas de Convergência (CS), como é possível observar na Figura 22 [30].

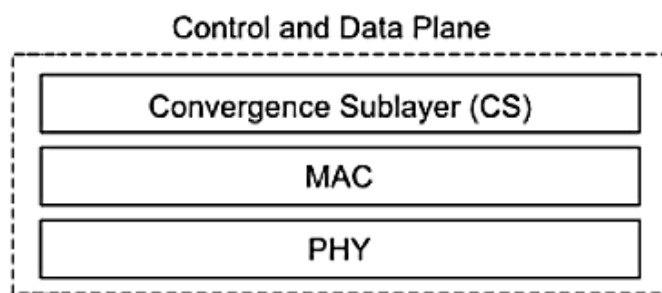


Figura 22 - Camadas da norma Prime [30]

A camada PHY é responsável pela transmissão e receção de tramas entre nós.

A camada MAC é estruturada para funcionar como uma camada síncrona para maximizar a utilização dos recursos de baixa largura de banda da camada PHY. Por outro lado, a camada MAC é também responsável pela gestão de ligações e formação da topologia da rede.

A camada CS classifica o tráfego, associando-o com a sua respetiva ligação MAC, fazendo o mapeamento de qualquer tipo de tráfego para ser incluído nas MSDUs (do Inglês, *MAC Service Data Units*).

5.2 Aspetos Fundamentais da Tecnologia Prime

Do lado do transmissor, a camada física (PHY) recebe a MPDU (do Inglês, *MAC Protocol Data Unit*) da camada MAC e gera tramas PLC PHY, designadas PPDU (do Inglês, *Physical Protocol Data Unit*) [30].

O processamento realizado na trama PPDU encontra-se representado no diagrama de blocos da Figura 23, onde cada bloco será aprofundado nas secções seguintes.

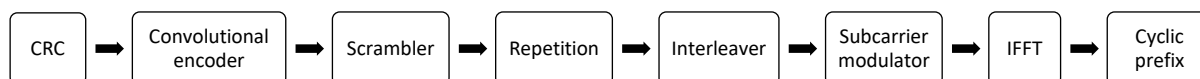


Figura 23 - Diagrama de blocos PLC Prime, adaptado de [30]

5.2.1 Cyclic Redundancy Check (CRC)

O bloco CRC permite que um código de redundância seja adicionado ao cabeçalho PHY, como um mecanismo de deteção de erros.

5.2.2 Codificação Convolutacional

O Codificador Convolutacional surge na norma Prime como um bloco opcional, conforme o estado do FEC (do Inglês, *Forward Error Correction*). Quando o canal apresenta robustez de comunicações, aumenta-se o ritmo de dados ao desativar este bloco, porém as comunicações ficam mais vulneráveis a erros de comunicação.

Este bloco admite à entrada (*Input*) um fluxo de *bits* não codificado e forma à saída (*First Output* e *Second Output*) o fluxo de *bits* codificado.

Os parâmetros do codificador convolutacional utilizado no Prime são:

- Taxa de codificação, $r = \frac{1}{2}$;
- Restrição de comprimento, $K = 7$;
- Polinómios geradores de código, 1111001 e 1011011.

No início de cada transmissão PPDU, o estado do codificador é fixado em zero. Como se vê na Figura 24, seis zeros são inseridos no final dos bits de informação do cabeçalho para nivelar o codificador e devolver o estado a zero. Da mesma forma, se for utilizada uma codificação convolutacional para a carga útil, oito bits zero são novamente inseridos no final do fluxo de bits de entrada para assegurar que o estado do codificador regressa a zero no final da carga útil.

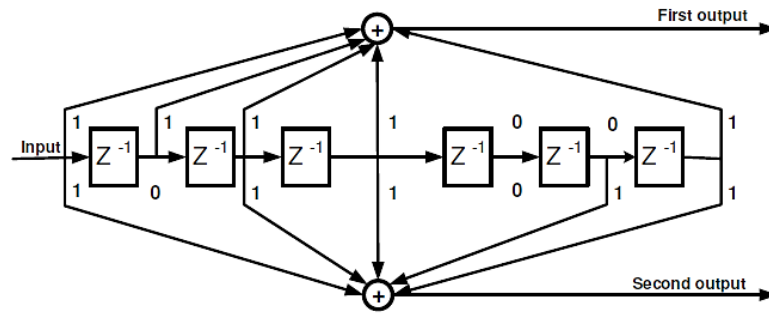


Figura 24 - Codificação Convolucional [30]

5.2.3 Scrambler

O uso de *scrambling* é obrigatório, independentemente da modulação e da configuração de codificação. Portanto durante o processamento da PPDU PRIME PHY, esta passa sempre por este bloco, que tem como objetivo ‘aleatorizar’ o fluxo de bits, pelo que reduz o fator de crista na saída da IFFT quando um longo fluxo de 0 ou 1 ocorre no cabeçalho, ou nos bits de carga útil após a codificação (se houver).

5.2.4 Repetition encoder

Este foi especialmente concebido para o Prime v1.4 e introduz, tanto a diversidade temporal como a diversidade de frequências, para os bits transmitidos que se repetem numa sequência de bits quatro vezes. É ativado apenas quando o modo robusto é utilizado.

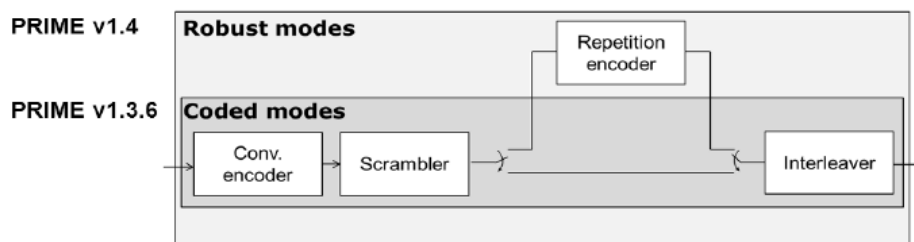


Figura 25 - Diagrama de blocos do mecanismo FEC no modo robusto [30]

Esta solução, além de aumentar a robustez da comunicação, possui algumas vantagens, quando comparado com a alternativa de aumentar o tamanho do *interleaver* como: uma menor complexidade, menores requisitos de memória e custo, facilita a *backward compatibility* com o Prime v1.3.6 e não aumenta a latência de decodificação.

5.2.5 Interleaving

O uso de *interleaving* é também opcional e só é utilizado quando o FEC está ativo. Este bloco permite tornar desprezáveis os erros de rajada (*burst*) ao afastar os bits adjacentes entre vários outros bits, através de uma ordenação bem definida.

As interferências na banda estreita causam o desvanecimento da frequência (*fadings*) no espectro, podendo fazer com que grupos de subportadoras OFDM sejam menos fidedignas do que outras, causando assim erros de bits em rajadas (*burst bit errors*).

Se (e apenas se) a codificação utilizada for do tipo A como descrito no Subcapítulo 5.4, a intercalação é aplicada para ´aleatorizar` a ocorrência de *bit errors* antes da decodificação. No transmissor, os bits codificados são permutados de uma certa forma, o que garante que os bits adjacentes são separados por vários bits após a intercalação.

5.2.6 Modulação (Portadora + OFDM)

O OFDM é uma combinação de modulação e multiplexagem (multicanalização), em que várias subportadoras são transmitidas independentemente (em paralelo) sem interferirem com as vizinhas. A multiplexagem é uma técnica que permite que várias mensagens diferentes sejam transmitidas simultaneamente através do mesmo canal de transmissão. A multiplexagem pode fazer-se seja no tempo, seja na frequência, porém no PLC Prime apenas é utilizada a multiplexagem na frequência.

Tipos de multiplexagem principais:

- TDM: (do Inglês, *Time Division Multiplexing*), que utiliza a divisão do tempo para enviar diferentes tipos de mensagens
- FDM: (do Inglês, *Frequency Division Multiplexing*), que utiliza a divisão na frequência para enviar diferentes tipos de mensagens

A escolha desta modulação assenta no facto de proporcionar uma alta resiliência à interferência e atenuação.

Na modulação OFDM existem várias subportadoras separadas na frequência. Cada portadora ocupa uma largura de banda específica e pode ser classificada como pertencente a um fluxo de transmissão de dados (nesta opção são agregadas várias subportadoras para transmissão da mesma informação, o que permite aumentar a capacidade de transmissão) ou como um canal independente (nesta opção cada subportadora pode transmitir informação independente). Para que as subportadoras não interfiram umas com as outras são reservados intervalos de frequência de separação.

O OFDM tem evoluído nos últimos tempos, representando o resultado dos esforços realizados pelos fabricantes para implementação de sistemas PLC com técnicas de modulação já otimizadas na transmissão de serviços caracterizados por necessitarem de uma grande disponibilidade e capacidade de transmissão, a televisão digital, redes *Ethernet* sem fios, difusão de áudio, x-DSL, WiMAX, etc.

Para cada portadora é usado um esquema de modulação diferencial com possibilidade de escolha entre três constelações diferentes, que se encontram representadas na Figura 26: DBPSK (do Inglês, *Differential Binary Phase Shift Keying*), DQPSK (do Inglês, *Differential Quadrature Phase Shift Keying*) e D8PSK (do Inglês, *8-ary Differential Phase Shift Keying*).

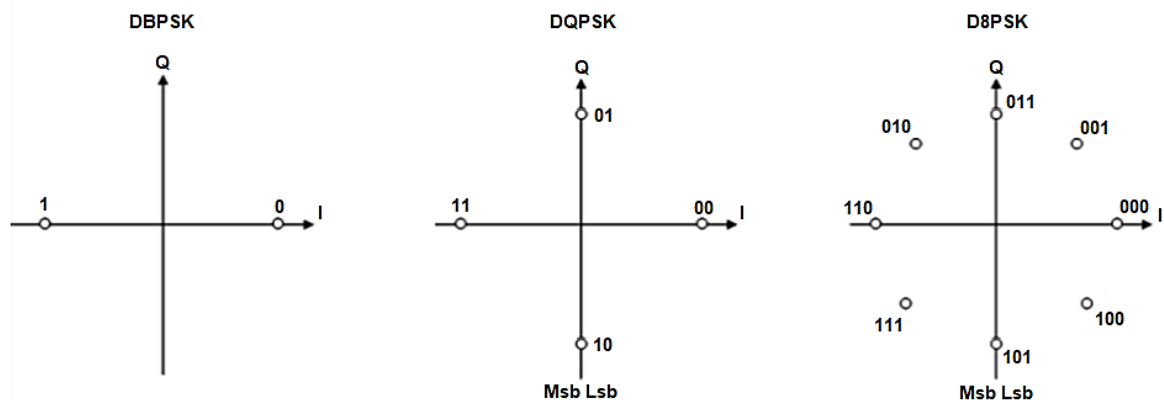


Figura 26 - Constelações da modulação DBPSK, SQPSK e D8PSK [30]

Tratando-se de um sistema que utiliza a técnica de modulação OFDM, são mostrados na Tabela 1 os parâmetros da mesma nesta aplicação.

Tabela 1 - Parâmetros da modulação OFDM PRIME PHY, adaptado de [30]

Parâmetro	Valores
Relógio em banda de base (Hz)	1000000
Espaçamento entre portadoras (Hz)	488,28125
Número de portadoras para dados	84 (cabeçalho) 96 (<i>payload</i>)
Número de portadoras para canal piloto	13 (cabeçalho) 1 (<i>payload</i>)
Intervalo FFT (amostras)	2048
Intervalo FFT (μ s)	2048
<i>Cyclic Prefix</i> (amostras)	192
<i>Cyclic Prefix</i> (μ s)	192
Intervalo de símbolo (amostras)	2240
Intervalo de símbolo (μ s)	2240
Tempo do preâmbulo (μ s)	2048 (Tipo A) 8192 (Tipo B)

5.3 Funcionamento

Numa rede Prime, os dispositivos são automaticamente configurados em árvore, e podemos distinguir dois tipos de nós: Base Node (BN) e Service Node (SN) [30].

- **Base Node:** Mais conhecido como concentrador de dados. Está localizado na 'raiz' da árvore e atua como o nó mestre que fornece conectividade a todos os elementos da sub-rede que forma. Gere os recursos e ligações da sub-rede. Só pode haver um BN por sub-rede, pelo que o endereço MAC do BN atua como um identificador nessa sub-rede. Desta forma, uma rede Prime pode ser formada por múltiplas sub-redes com um BN em cada uma;
- **Service Node:** Mais conhecidos como EMIs. Formam as folhas ou os ramos da estrutura da árvore. Estão inicialmente num estado funcional desconectado e têm de seguir um processo de registo para se tornarem parte da sub-rede. Têm duas funções: são responsáveis por manter a conectividade na sub-rede e por transmitir dados a partir de outros dispositivos próximos. Os dispositivos que têm a funcionalidade de BN continuam a fazê-lo enquanto não forem explicitamente reconfigurados por outros mecanismos. Os SN, por outro lado,

alteram o seu comportamento dinamicamente entre as funções de 'Desconectado', 'Switch' e 'Terminal'. A comutação entre estados funcionais ocorre em resposta a certos eventos na rede.

Nesta fase podemos definir o processo genérico de criação de uma rede Prime começando com a ligação de um BN, o qual inicia o envio de tramas para que outros nós respondam, de forma a juntarem-se à sub-rede. Por sua vez, os SNs ligados procuram uma sub-rede para se ligarem. O BN receberá todos os pedidos de registo de todos os SNs, processará cada um deles e responderá com uma mensagem de aceitação ou rejeição. Quando o BN aceita o registo, atribuirá a cada SN um LNID (do Inglês, *Local Node Identifier*) único que será utilizado nas comunicações subsequentes dentro da sub-rede. Da mesma forma, o BN é responsável pelo cancelamento do registo de qualquer SN registado. Os SNs registados serão incluídos na tabela de registo do BN.

Existirão SNs que não tenham sido capazes de se ligar diretamente ao BN, pelo que enviarão pedidos para aos nós de nível superior a solicitar a sua promoção a repetidores, um processo realizado pelo BN, que é responsável por autorizar a promoção. Uma vez concluída a promoção, é atribuído ao nó promovido um SID (do Inglês, *Switch Identifier*) e os nodes que não foram capazes de se registar diretamente no BN fá-lo-ão através do node repetidor.

Além disso, uma série de tramas é normalmente enviada entre o BN e os SNs chamadas tramas *Keep Alive*, que são responsáveis por garantir a presença dos nós na sub-rede, a fim de manter a conectividade. É uma troca mútua, portanto, se um SN não responder com a trama correspondente, o BN considerará que o SN já não faz parte da sub-rede e iniciará o processo de abandono desse SN.

O Prime está atualmente na versão 1.4, o que representa uma extensão da versão 1.3.6, incluindo alterações às camadas PHY e MAC que proporcionam maior robustez e desempenho. Esta nova versão conserva todos os benefícios e lições aprendidas com os milhões de contadores inteligentes Prime instalados, confirmando que se trata de uma tecnologia que funciona em implementações de redes inteligentes em larga escala.

5.4 Estrutura das tramas PRIME PHY

O Prime v1.4 define dois tipos de tramas PHY denominadas trama de Tipo A e Tipo B. A estrutura da trama PHY tipo A, representada na Figura 27, começa com um preâmbulo que dura 2,048 ms, seguido de 2+M símbolos OFDM, que correspondem ao cabeçalho e os restantes ao *payload*, com duração de 2,24 ms cada um [30].

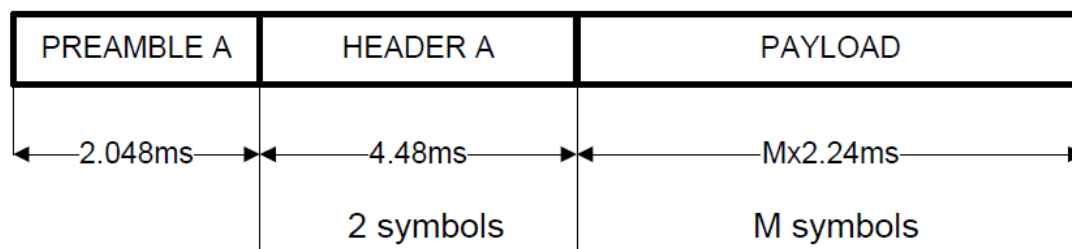


Figura 27 - Trama PHY tipo A [30]

A estrutura da trama PHY tipo B, representada na Figura 28, começa com um preâmbulo robusto de duração 8,192 ms, seguido de 4+M símbolos OFDM, com duração de 2,24 ms cada um. Os primeiros quatro símbolos OFDM transportam o cabeçalho da trama enquanto os restantes M símbolos OFDM transportam o *payload*.

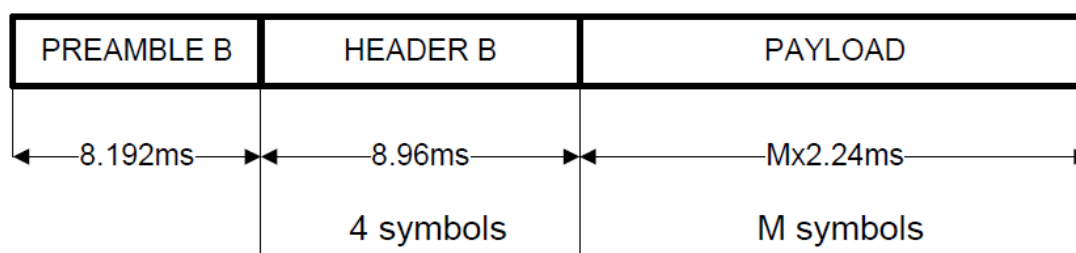


Figura 28 - Trama PHY tipo B [30]

O valor de M é assinalado no cabeçalho, e é no máximo 252.

A trama do tipo A corresponde à PPDU definida no Prime v1.3.6.

A trama do tipo B é um novo tipo de PPDU que inclui um cabeçalho mais eficiente especialmente desenhado para suportar modos de transmissão robusta. Possui ainda várias vantagens como assinalar 4 vezes mais símbolos do que o cabeçalho da trama A, visto que os PPDU robustos são mais longos.

Dependendo das condições do canal, a transmissão poderá ser feita através da trama do tipo B para tirar vantagens da sua maior robustez, ou através da trama do tipo A visto que possui um cabeçalho mais reduzido permitindo obter uma maior eficiência na transmissão.

5.5 Modo Robusto

De forma a enfrentar condições ambientais agressivas, foram introduzidos no Prime v1.4 modos de transmissão robustos opcionais. Estes modos foram desenhados para melhorar a robustez do sistema a ruídos impulsivos e às interferências. Em particular, todas as partes (preâmbulo, cabeçalho e *payload*) da trama PHY tipo B foram melhoradas através da introdução de um fator de repetição de quatro [30].

6. OTIMIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Neste capítulo serão abordados os diferentes tipos de anomalias que afetam a comunicação PLC Prime na rede de distribuição, assim como os equipamentos utilizados para solucionar esses problemas.

6.1 Ruído

O ruído nas linhas elétricas é um problema para a transmissão de dados e tem como consequência a alteração de algumas das características do sinal transmitido por efeito de um outro sinal externo ao sistema de transmissão, ou produzido pelo próprio sistema de transmissão. Este é um sinal indesejado e de natureza aleatória para o qual não é possível prever o seu valor [31].

O ruído nas linhas elétricas pode ser impulsivo ou de frequência seletiva por natureza e, às vezes, ambos. Devido à elevada atenuação sobre a linha elétrica nas frequências de transmissão, o ruído também depende da localização. Os ruídos nos sistemas PLC podem ser tipificados em quatro categorias [32]:

- Ruído colorido: este tipo de ruído tem uma densidade espectral de potência relativamente baixa e que decresce com frequência crescente. É considerado como sendo a soma de todas as fontes de ruído de baixa potência e pode ser variável no tempo;
- Ruído de fundo de banda estreita: este ruído resulta de sinais sinusoidais modulados em amplitude. Este tipo de interferência é proveniente de estações de radiodifusão em bandas de onda média e curta. A interferência varia durante as diferentes horas do dia;
- Ruído impulsivo que é síncrono com a frequência real de fornecimento do gerador: este tipo de ruído de impulso repete-se normalmente em múltiplos de 60/50 Hz. Tem uma curta duração de poucos microssegundos e uma densidade espectral de potência que diminui com o aumento da frequência. O ruído é causado por fontes de alimentação que funcionam de forma síncrona com a frequência do principal;
- Ruído impulsivo assíncrono com a principal frequência: este é o tipo de ruído mais prejudicial para a transmissão de dados. A sua duração varia entre poucos microssegundos a alguns milissegundos. Este ruído impulsivo pode atingir uma potência 50 dB acima do ruído de fundo. É causado por fenómenos transitórios de comutação na rede.

O ruído pode ter origem nas instalações de clientes, porém propaga-se pela rede. Ao contrário de outros problemas da comunicação PLC a dispersão e atenuação aumentam à medida que nos aproximamos dos pontos de consumo, já o ruído no canal PLC está presente em todas as secções do cabo de alimentação. Na Figura 29, podemos observar que um ruído existente numa instalação no meio de uma rede, pode afetar a comunicação com todos os EMLs a jusante da mesma.

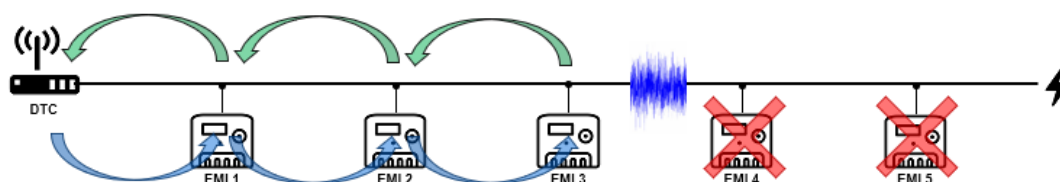


Figura 29 – Ilustração de ruído a afetar comunicações de smart metering

Os ruídos nas frequências entre os 40 kHz e 90 kHz são muito prejudiciais à comunicação PLC Prime, podendo mesmo bloquear o sinal de comunicação. Este é considerada a principal fonte de erros na transmissão de dados nos sistemas PLC.

Geralmente, o ruído do canal varia com a hora do dia e localização. A origem do ruído eletromagnético é muito diversificada e pode passar por fontes típicas de ruído como motores com escovas, lâmpadas fluorescentes e LED, fontes de alimentação comutadas, inversores, equipamentos de uso médico e interruptores de regulação do fluxo luminoso.

É muito importante interpretar a Figura 30, uma vez que esta nos vai acompanhar bastante ao longo deste trabalho. Esta figura é obtida através da utilização de um analisador de espectro, que será abordado mais adiante no Subcapítulo 7.2. O gráfico apresenta no eixo vertical a amplitude do sinal em dB μ V, que vai dos 0 dB μ V aos 120 dB μ V, no eixo horizontal a banda de frequências em kHz, que vai do 0 kHz aos 120 kHz, e ainda o retângulo central que representa apenas a banda de frequências utilizada na comunicação PLC Prime, que vai dos 40 kHz ao 90 kHz. A linha superior do sinal, representa o nível máximo do sinal utilizado na comunicação - esta deve estar entre os 100 dB μ V e os 110 dB μ V e o valor máximo será de 120 dB μ V consoante o DTC. A linha inferior do sinal, representa o nível em tempo real do sinal utilizado na comunicação, onde é possível observar que existe um pico de ruído na banda dos 53 kHz com uma potência de cerca de 93 dB μ V. Pode ainda existir uma terceira linha, abaixo desta, que representa o nível mínimo do sinal.

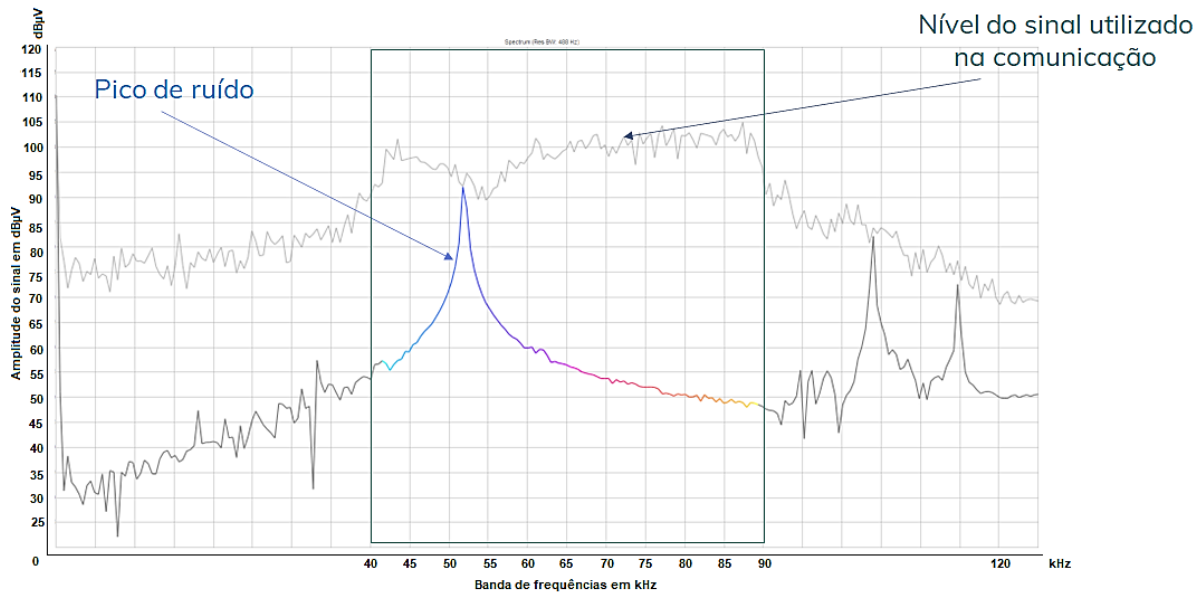


Figura 30 - Exemplo espectro de frequências do sinal PLC Prime afetado por ruído

A solução para minimizar as consequências do ruído passa pela instalação de filtros, que serão abordados mais à frente no Subcapítulo 6.6.

6.2 Atenuação

A atenuação do sinal PLC é a perda de potência do sinal durante a propagação, e caracteriza-se pela dependência da topologia da rede, localização de dispositivos de comunicação e cargas. Existem muitas fontes de atenuação dos sinais PLC nas linhas elétricas, sendo os fatores mais comuns:

- A distância, quanto maior for a distância entre os EMIs maior será a atenuação, podendo resultar em que o sinal não chegue às mais distantes;
- A frequência, quanto maior for a frequência de funcionamento, maior será a atenuação [20].

Na Figura 31, podemos observar que a atenuação existente no meio da rede, pode afetar a comunicação com todos os EMIs a jusante da mesma.

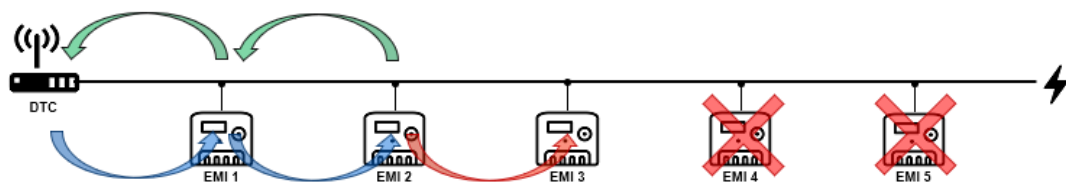


Figura 31 – Ilustração de atenuação a afetar comunicações de smart metering

É possível identificar que um sinal possui atenuação em excesso quando o sinal PLC Prime, aos terminais do QGBT, possui uma potência inferior a 100 dBμV, visto que em condições normais o valor de potência deverá estar entre os 100 dBμV e os 110 dBμV e o valor máximo poderá chegar aos 120 dBμV consoante o DTC.

A atenuação pode fazer com que os equipamentos deixem de comunicar devido ao nível do sinal ser demasiado baixo para ser corretamente recebido, ou por ficar demasiado fraco para se sobrepôr suficientemente ao ruído da rede, o que faz com que redes com maiores níveis de ruído base sejam menos tolerantes a grandes distâncias entre equipamentos.

A solução passa pela densificação da rede e, quando não é possível, pela colocação de repetidores ou *gateways*.

6.3 Cadastro

O cadastro pode indicar que os EMIs estão ligados a um DTC num determinado PTD, mas na realidade estão noutra PTD, eventualmente sem DTC.

Na Figura 32, podemos observar que devido a erro de cadastro alguns EMIs estão a comunicar e outros não pois não se encontram registados no mesmo DTC.

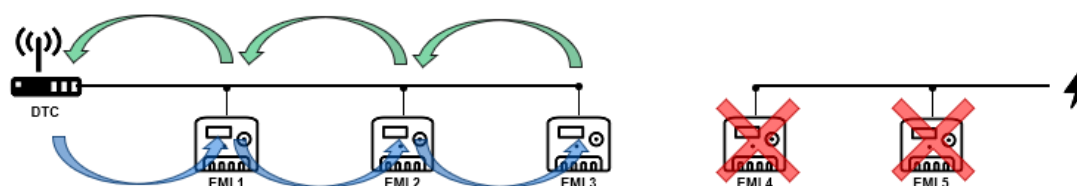


Figura 32 - Ilustração erro de cadastro a afetar comunicações de *smart metering*

Para solucionar este problema deve-se atualizar o cadastro. Quando todas as redes tiverem um DTC, este problema deixa de existir.

6.4 Avaria de equipamento

A avaria de equipamentos pode ser algo recorrente, uma vez que estes equipamentos funcionam continuamente 24 horas por dia, 7 dias por semana, em condições ambientais adversas, de frio ou calor. Logo, é expectável que quer os DTCs quer os EMIs avariem ocasionalmente e deixem de comunicar. Para solucionar este problema é necessário proceder à substituição do equipamento avariado.

6.5 Aperto/Oxidação de ligações

As réguas de bornes, existentes dentro dos PTDs, são compostas por parafusos e encaixes de metal de forma a fazer as ligações elétricas e por plástico para que essas ligações sejam isoladas. O metal ao estar exposto ao longo do tempo a condições ambientais extremas de frio ($< 0^{\circ}\text{C}$) e calor ($> 45^{\circ}\text{C}$) sofre dilatações e contrações que tornam o plástico mais fraco, o que poderá comprometer as ligações elétricas assim como o seu isolamento.

Outro tipo de condição ambiental prejudicial é a humidade que em excesso e ao longo do tempo irá oxidar os cabos e as ligações, o que poderá acabar por interromper a continuidade elétrica entre os metais.

Outro tipo de ação que decorre ao longo do tempo são as vibrações que podem surgir do exterior dos PTDs, como por exemplo, com a passagem de veículos nas estradas ou construções/demolições. Estas vibrações podem fazer com que os parafusos se soltem e que se desapertem lentamente, fazendo com que as ligações mecânicas se desfaçam.

Estes tipos de problemas podem fazer com que a informação não consiga ser transmitida na camada física através dos cabos da rede elétrica. Esta situação pode fazer com que o sinal PLC Prime vindo do DTC não consiga ser transmitido, o que resulta num sinal PLC fraco (atenuado) já dentro do PTD. Estes problemas podem ser solucionados através do desaperto e respetivo aperto dos parafusos nas réguas de bornes, para eliminar a oxidação e fortalecer as ligações mecânicas e por consequência as ligações elétricas.

6.6 Como solucionar essas anomalias

Neste subcapítulo serão descritos os vários equipamentos existentes, que permitem minimizar os efeitos negativos, tanto do ruído como da atenuação, na comunicação PLC Prime. Assim como os seus métodos de instalação.

6.6.1 Filtros

Os filtros são utilizados para atenuar o ruído que se encontra na banda de comunicação do PLC Prime, de forma que este não impacte as comunicações entre os EMIs e o DTC. Como é possível observar na Figura 33, estes filtros impedem também que o ruído injetado na rede pelos equipamentos instalados nos pontos de consumo seja enviado para a rede, afetando-a a montante. Os filtros são tipicamente do tipo L ou LC com atenuações entre os 40 dB e os 50 dB nas bandas de comunicação e muito baixa atenuação para o sinal de potência [33]. Um exemplo da resposta em frequência de um filtro LC deste tipo, na sua forma teórica básica pode ser observado no Anexo A.

São instalados, principalmente, junto das instalações que produzem ruído, normalmente perto dos EMI. Nos PTD são instalados quando os próprios equipamentos dentro do PTD produzem ruído, normalmente os *modems*, as Unidades Remotas de Rede (URR) ou a IP. Poucas vezes serão instalados nos armários de distribuição.

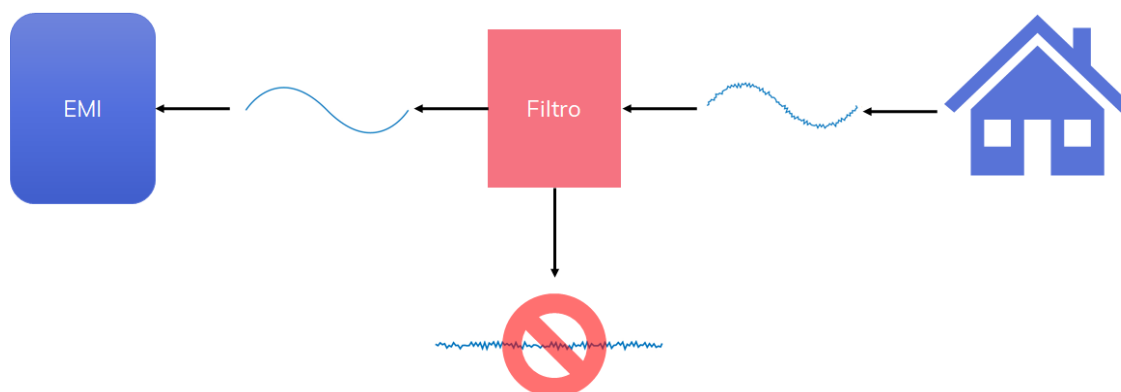


Figura 33 - Ilustração de como o filtro impede o ruído

A instalação dos filtros é feita consoante:

- O sistema da instalação: monofásico ou trifásico.
- A potência aparente da instalação: S_{inst} (kVA)
- A corrente de serviço da instalação: I_{inst} (A)

Monofásica	Trifásica
$I_{inst} = \frac{S_{inst}}{230}$	$I_{inst} = \frac{S_{inst}}{\sqrt{3} \times 400}$

Em termos de corrente nominal, para os filtros temos a opção de 20 A, 40 A, 65 A e 80 A. Logo devemos arredondar para o valor imediatamente acima e no caso de a instalação ser trifásica utilizar três.

Os filtros PLC Prime, existentes atualmente no mercado, dividem-se em várias categorias tal como apresentado na Figura 34:

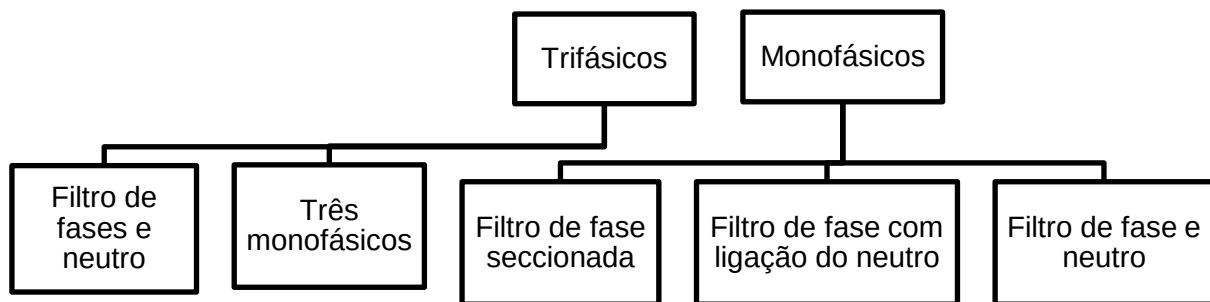


Figura 34 - Tipos de filtros PLC Prime

Atualmente, na E-Redes, decorre o processo de qualificação de fabricantes/modelos de filtros PLC Prime. No entanto, no âmbito de projetos piloto, estão a ser instalados filtros de 40 A, 65 A e 80 A. Um exemplo de um filtro PLC Prime com potencial de aplicação pode ser o ilustrado no Anexo B.

- **Trifásicos**

- **Filtro de fases e neutro (fases e neutro seccionados)**

Filtro trifásico com neutro e todas a fases seccionadas. É pouco utilizado devido às suas dimensões consideráveis e ao seu elevado peso. Um exemplo de um filtro trifásico de fase e neutro, do conjunto dos utilizados na E-Redes, pode ser por exemplo o ilustrado na Figura 35 [34].



Figura 35 - Filtro trifásico [34]

O esquema de ligação do filtro trifásico de fase e neutro encontra-se representado na Figura 36.

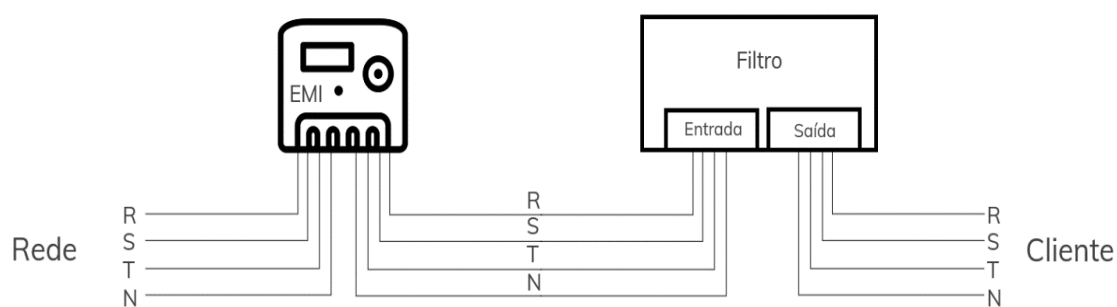


Figura 36 - Esquema de ligação filtro trifásico

• Três monofásicos

Configuração utilizada atualmente pela E-Redes para colocação de filtros em instalações trifásicas utilizando filtros monofásicos de fase com ligação de neutro, por motivos de espaço, peso e dinheiro. Um exemplo de três filtros monofásicos de fase com ligação do neutro, do conjunto dos utilizados na E-Redes, pode ser por exemplo o ilustrado na Figura 37 [37].



Figura 37 - Ligação de três filtros monofásicos numa instalação trifásica

O esquema de ligação dos três filtros monofásicos encontra-se representado na Figura 38.

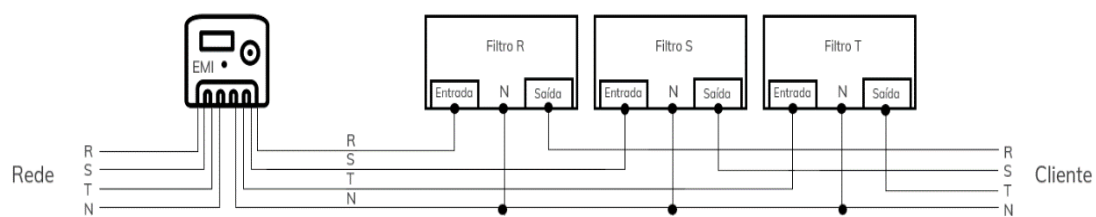


Figura 38 - Esquema ligação de três filtros monofásicos numa instalação trifásica

- **Monofásicos**

- **Filtro de fase (fase seccionada)**

Filtro monofásico apenas com a fase seccionada. É um filtro de baixa atenuação, pois apenas possui indutância, sendo adequado para ruídos de baixa potência que afetam uma pequena parte dos EMIs. É um filtro pratico e rápido de instalar, pois não necessita de seccionar o neutro. Um exemplo de um filtro monofásico de fase, do conjunto dos utilizados na E-Redes, pode ser por exemplo o ilustrado na Figura 39 [35].



Figura 39 - Filtro de fase [39]

O esquema de ligação do filtro de fase encontra-se representado na Figura 40.

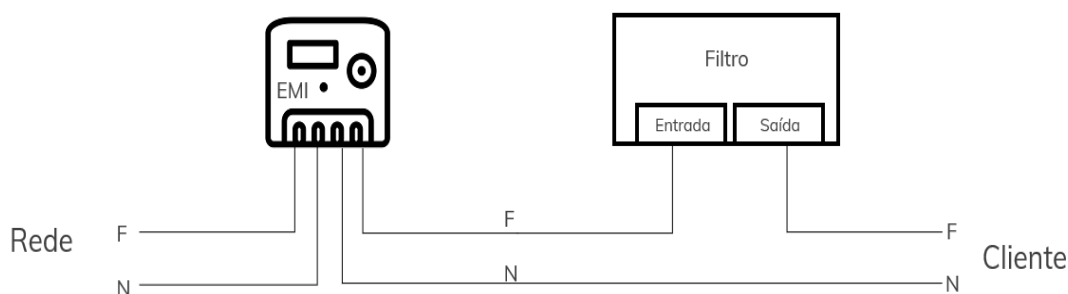


Figura 40 - Esquema de ligação filtro de fase

• **Filtro de fase e neutro (fase e neutro seccionados):**

Filtro monofásico com fase e neutro seccionados. É um filtro de atenuação ligeiramente superior, uma vez que além de indutância também possui capacidade. Logo, pode ser usado para ruídos de potência mais elevada. Um exemplo de um filtro monofásico de fase e neutro, do conjunto dos utilizados na E-Redes, pode ser por exemplo o ilustrado na Figura 41 [36].



Figura 41 - Filtro de fase e neutro [36]

O esquema de ligação do filtro de fase e neutro encontra-se representado na Figura 42.

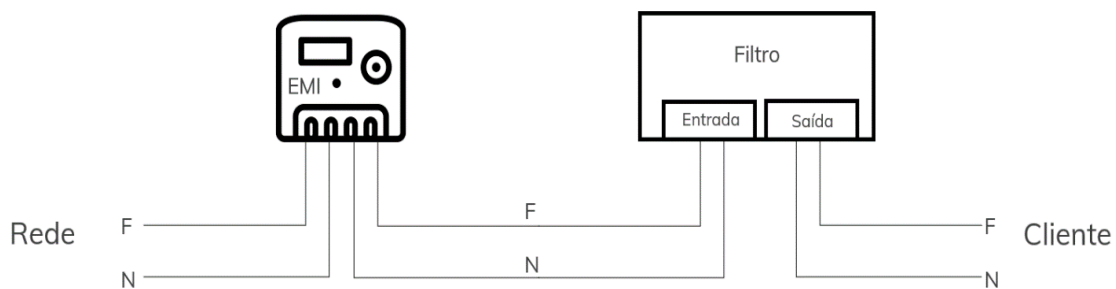


Figura 42 - Esquema de ligação de filtro de fase e neutro

- **Filtro de fase com ligação do neutro (fase seccionada com ligação ao neutro):**

Filtro monofásico com fase seccionada e com ligação a neutro não seccionado. Configuração atualmente mais utilizada pela E-Redes para colocação de filtros em instalações monofásicas. Um exemplo de um filtro monofásico de fase com ligação do neutro, do conjunto dos utilizados na E-Redes, pode ser por exemplo o ilustrado na Figura 43 [37].



Figura 43 - Filtro de fase com ligação de neutro [37]

O esquema de ligação do filtro de fase com ligação do neutro encontra-se representado na Figura 44.

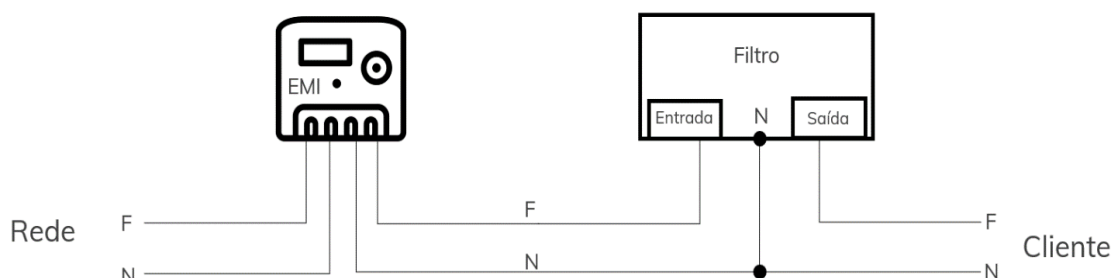


Figura 44 - Esquema de ligação de filtro de fase com ligação de neutro

6.6.2 Repetidor

O Repetidor, como por exemplo o representado na Figura 45, é utilizado para compensar a atenuação. Este equipamento recupera e re-injeta o sinal PLC Prime, onde este está demasiado atenuado e/ou onde exista grande distância entre os EMIs e o DTC. É instalado normalmente junto a algum local intermédio na rede de baixa tensão (armários de distribuição ou apoios BT) e pode ser utilizado como um nó intermédio para expandir a cobertura do sinal [38].



Figura 45 – Exemplo de um Repetidor [38]

O esquema de ligação do repetidor encontra-se representado na Figura 46.

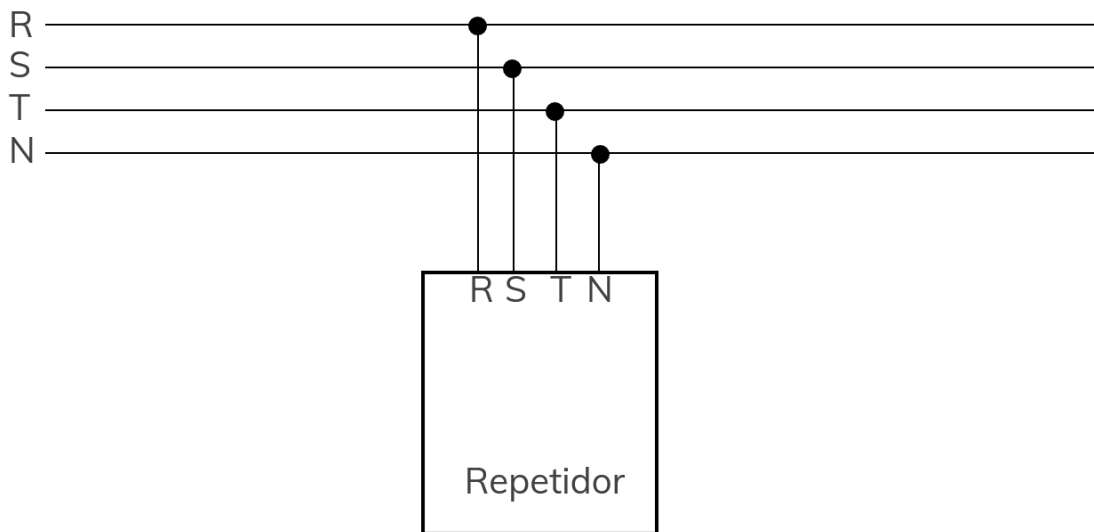


Figura 46 - Esquema de ligação do repetidor

Muitas vezes é possível utilizar um EMI para fazer de repetidor de sinal.

7. METODOLOGIA DE ANÁLISE E DETEÇÃO DE ANOMALIAS DE COMUNICAÇÃO

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada pela E-Redes para a análise e deteção das anomalias de comunicação PLC Prime, referidas anteriormente, de forma a permitir a resolução de problemas encontrados no terreno.

Esta metodologia é especialmente importante uma vez que existem processos que realizados em *BackOffice*, podem solucionar os problemas, sem a necessidade de deslocação das equipas.

7.1 Pré-planeamento

Na preparação da ida ao terreno devemos recorrer a todos os meios disponíveis para identificar as possíveis causas das anomalias e, assim, adiantar algum trabalho. Não sendo uma lista exaustiva, devemos ter atenção aos seguintes equipamentos/instalações com potencial para gerar ruído que possa prejudicar a comunicação PLC Prime (elementos da experiência de campo na E-Redes e de [39]):

- Antenas de comunicação de telemóveis (BTS);
- Armários de telecomunicações;
- Fontes de alimentação comutadas;
- Oficinas de automóveis;
- Lojas ou instalações com sistemas informáticos (principalmente UPS);
- URR, *modems* e *routers* dentro dos PTD;
- Iluminação LED e fluorescente, incluindo iluminação pública (IP);
- Vídeo porteiros;
- Micro inversores;
- Equipamento hospitalar;
- Variadores eletrónicos de velocidade;
- Centrais de segurança e deteção de incêndio.

7.1.1 SITRD - Sistema de Informação Técnica – Rede Distribuição

A ferramenta SITRD é um *software* desenvolvido pela *General Electric Company*, baseado em SIG (Sistema de Informação Geográfica), que permite efetuar a caracterização gráfica da rede de distribuição existente.

Este *software* analisa os dados fornecidos pelo CADGis, recolhendo a informação geográfica e a caracterização técnica contida nesse ficheiro, guardando essa informação na base de dados do ORD, permitindo que este tenha cadastrada na sua própria base de dados uma determinada instalação [40].

Neste sistema encontram-se cadastrados todos os elementos da rede de distribuição da E-Redes e permite visualizar toda a rede BT, MT e AT do país, como as ligações dos PTD (cabos), os armários e caixas de distribuição, proteções, etc.

O SIT-RD é bastante útil, pois permite-nos isolar a rede que queremos analisar, por cima da ortofoto geográfica. Na ida ao terreno com este mapa já possuímos informação relevante para seguirmos as saídas de alimentação do PTD e dos ADs.

7.1.2 Sysgrid

O SYSGRID (deriva do Inglês, *Smart Grid Asset Data Management*) é um sistema utilizado pela E-Redes para gestão dos ativos de Inovgrid para BT [16].

Este sistema é a solução atual de AMI, que permite a monitorização de redes através da coleta de dados ao nível do consumidor (EMIs) e dos postos de transformação (DTC), funções de análise de dados e interface com os sistemas corporativos. Com esta ferramenta é possível analisar o desempenho dos EMIs e dos DTC.

7.1.3 Ordem de trabalho

Uma ordem de trabalho, como por exemplo a da Figura 47, é um documento que fornece bastantes informações acerca da rede a ser analisada.

1	N.Série E.B.	Tipo Contador	Endereço	DISP MED	% leitura	DISP Q1	DISP Q2	DISP Q3	DISP Q4	RCH	RD	Nome PT	Trafo
2	ZIV17487059	SMT	Confidencial	0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	-
3	SAG1650115	SMT		2%	0%	5%	4%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
4	LGZ1821614	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
5	SAG1550534	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
6	ZIV17472817	SMT		59%	10%	50%	54%	68%	65%	RE	RB	1113D1078200	1113D1078200_1
7	ZIV18465175	SMT		38%	7%	64%	46%	28%	13%	RE	RB	1113D1078200	1113D1078200_1
8	SAG1562031	SMT		55%	9%	91%	35%	56%	43%	RE	RB	1113D1078200	1113D1078200_1
9	ZIV16383918	SMT		58%	10%	95%	38%	56%	48%	RE	RB	1113D1078200	1113D1078200_1
10	SAG1650040	SMT		59%	11%	50%	73%	80%	30%	RE	RB	1113D1078200	1113D1078200_1
11	LGZ1922126	SMT		82%	0%	100%	0%	100%	100%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
12	ZIV16460153	SMT		2%	0%	5%	4%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
13	ZIV17487151	SMT		2%	0%	5%	4%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
14	SAG1650087	SMT		2%	0%	5%	4%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
15	SAG1550501	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
16	SAG1650087	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
17	SAG1550501	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
18	LGZ1821472	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	-
19	SAG1650087	SMT		1%	0%	0%	4%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
20	LGZ1721350	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
21	LGZ1721220	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	-
22	LGZ1721139	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	-
23	SAG1650087	SMT		1%	0%	0%	4%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
24	SAG1650087	SMT		23%	0%	18%	23%	32%	17%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
25	SAG1650086	SMT		28%	0%	50%	27%	20%	17%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
26	LGZ1821614	SMT		32%	0%	50%	31%	24%	26%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
27	ZIV17487152	SMT		32%	0%	32%	35%	36%	26%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
28	SAG1650087	SMT		23%	0%	18%	27%	32%	13%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
29	ZIV17487087	SMT		39%	0%	45%	46%	36%	26%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
30	SAG1650064	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
31	ZIV16384052	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1
32	LGZ1821614	SMT		0%	0%	0%	0%	0%	0%	RE	NR	1113D1078200	1113D1078200_1

Figura 47 - Ordem de trabalho

Este documento permite-nos saber qual o número de série do contador, o tipo de contador, as moradas dos mesmos e o CPE.

Diz-nos também alguns indicadores de qualidade da comunicação como a disponibilidade média, a percentagem de leitura e a disponibilidade nos quatro diferentes quadrantes do dia. É bastante útil conhecer esta informação antes de sair para o terreno, pois permite-nos tirar bastantes conclusões como:

- Através da disponibilidade média, caso esta esteja a 0 ou próxima disso, organizada por moradas, podemos saber quais as ruas que não comunicam;
- Mediante a disponibilidade no respetivo quadrante do dia podemos saber se o problema (ruído) acontece de madrugada, no Q1 das 0h às 6h, da manhã no Q2 das 6h às 12h, de tarde no Q3 das 12h às 18h ou de noite no Q4 das 18h às 24h;
- A percentagem de leituras.

7.1.4 Google Maps

O *Google Maps* que todos conhecemos, é uma plataforma de mapeamento *online* disponibilizada pela Google. Oferece funcionalidades como imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas de ruas e vistas panorâmicas interativas em 360° das ruas (*Street View*), que são bastante úteis no pré-planeamento desta análise.

Permite através das imagens de satélite procurar instalações e/ou equipamentos na área da rede a analisar, que podem ser problemáticos para a comunicação PLC Prime, como por exemplo painéis solares (inversores), BTS, iluminação LED na IP, lojas ou instalações com sistemas informáticos (UPS), ou clínicas ou hospitais (eletrocardiógrafo, equipamentos ultrassónicos, equipamento de imagiologia médica), entre outros.

Permite também através das vistas panorâmicas das ruas (*Street View*) encontrar baixadas e equipamentos de distribuição de telecomunicações.

7.2 Análise no terreno

Num primeiro passo, incluindo o pré-planeamento, é necessário ir para o terreno. No terreno devemos tomar todos as precauções necessárias, como:

- Vestir os EPIs – Equipamentos de proteção individual;
- Ter noção do espaço à nossa volta;
- Acima de tudo não ir contra as ordens do técnico que é o responsável máximo no terreno e é este que avalia as condições de segurança do mesmo.

Para fazer a análise no terreno é necessário um equipamento de diagnóstico, sendo um analisador de espectro especializado o equipamento fundamental, como por exemplo o representado na Figura 48 [41].



Figura 48 - Analisador de espectro [41]

Como o nome indica, este equipamento permite observar o espectro de frequências no qual estará representado o sinal PLC Prime e medir os valores de potência desse sinal na gama de frequências de interesse, assim como observar a forma e a potência dos sinais de ruído. Para isso basta ligar as pontas de teste na fase e neutro da instalação e observar o sinal num equipamento com ecrã como um computador, *tablet* ou *smartphone*.

Este equipamento encontra-se especialmente preparado para funcionar tanto com PLC Prime como com o G3-PLC, uma vez que permite fazer a análise espectral dos 20 kHz aos 120 kHz ou dos 20 kHz aos 500 kHz. Permite ainda ajustar as gamas de medição através da configuração dos valores máximo e mínimo dos eixos vertical e horizontal, de acordo com a seleção do utilizador.

As características técnicas principais deste equipamento encontram-se mais detalhadas no Anexo C [42].

7.2.1 Dentro do PTD

O segundo passo da análise passa por verificar se existe sinal PLC no DTC. Caso não exista deve-se fazer o *reset* do mesmo, o que permite eliminar a sua árvore de ativos (EMIs), de forma que os EMIs se reconectem, pois, o DTC pode estar bloqueado. Se após o *reset* se continuar sem sinal PLC, poderá ser necessário a substituição do DTC e estamos perante uma avaria de equipamento.

Também se pode concluir que é necessário a substituição do DTC quando o sinal PLC Prime, dentro do PTD, possui uma potência inferior a 100 dB μ V, visto que em condições normais o valor de potência deverá estar entre os 100 dB μ V e os 110 dB μ V com um valor máximo de 120 dB μ V, consoante o fabricante do DTC.

No terceiro passo deve-se comparar o nível de sinal existente no bloco de fusíveis com o sinal existente aos terminais do DTC.

No quarto passo deve-se verificar a diferença de potência entre o sinal no barramento BT e o sinal no DTC. Caso essa diferença seja superior a 10 dB μ V, deve-se verificar os apertos de todas as ligações.

Se o espectro mostrar um pico de amplitude que se destaque, estamos perante a existência de ruído no sinal PLC, logo deve-se segui-lo até à sua origem, sabendo que o valor desse pico irá aumentar à medida que nos aproximarmos da fonte.

Se for este o caso, deve-se verificar se a proveniência é dentro do PTD, desligando os vários equipamentos um a um, enquanto observamos o espectro. Pode ser este o caso, pois existem equipamentos como URR, modem, router ou outro equipamento eletrónico, que poderá estar danificado no seu módulo de alimentação, gerando ruído.

Caso não seja dentro do PTD o próximo passo é utilizar o analisador de espectro e verificar em qual das diferentes saídas do QGBT (ramais), e em qual das diferentes fases, a amplitude do ruído é superior, sabendo que esta diferença poderá ser muito pequena, pois a medição é efetuada, na prática, no mesmo ponto da rede.

7.2.2 Fora do PTD

Após se descobrir em qual das saídas a potência do ruído é superior, deve-se observar o mapa feito em SITRD, e seguir essa saída que poderá corresponder a vários pontos como por exemplo, a um armário de distribuição, uma portinhola de um prédio, uma vivenda, uma loja, etc.

Nesse ponto deve-se ter a certeza que a potência do ruído aumentou, ou seja, que nos estamos a aproximar progressivamente da origem do ruído, caso contrário poderá ter sido feito uma leitura incorreta.

Caso a saída tenha conduzido a um AD deve-se seguir novamente o ruído através das saídas do mesmo.

Quando se considerar ter descoberto a fonte de ruído deve-se, caso seja possível, confirmar essa conclusão, desligando a instalação enquanto se observa o espectro do sinal PLC, para verificar se já não se encontra corrompido por ruído.

8. PROTÓTIPO DE TESTES

Neste capítulo descreve-se a construção e utilização de uma bancada de testes representando um protótipo simplificado de uma rede PLC, onde se podem inserir equipamentos de rede e uma ou mais fontes de ruído. Este protótipo tem como objetivo principal testar como os diferentes tipos de filtros PLC Prime, utilizados pela E-Redes, podem minimizar o ruído produzido por equipamentos específicos que podem existir na rede BT e que afetam negativamente a comunicação PLC Prime.

É ainda aplicada, em casos reais, a metodologia apresentada no Capítulo 7 para a resolução de problemas que podem existir na rede BT e que afetam a comunicação PLC Prime no terreno.

8.1 Bancada de testes

Nesta bancada de testes foram utilizados dois EMIs com o objetivo principal de observar se os mesmos se conseguem registar com e sem a presença de ruído. É incluído um DTC para permitir a comunicação entre os EMIs e um analisador de espectro para poder observar os sinais. Os testes consistem em integrar na rede simulada diversos equipamentos geradores de ruído representativos das fontes de ruído normalmente encontradas na rede real e analisar os sinais PLC sem e com a introdução de diferentes tipos de filtros monofásicos PLC Prime, do conjunto identificado na Figura 49, permitindo avaliar qual o mais eficaz para cada situação.



Figura 49 - Conjunto de filtros utilizados

Caracterização global dos filtros testados:

- Filtro A: filtro de fase seccionada, de indutância em série, está preparado para funcionar em frequências de 50/60 Hz, suporta uma corrente nominal de 20 A, uma atenuação superior a 50 dB e possui pequenas dimensões e baixo peso;
- Filtro B: filtro de fase seccionada com ligação de neutro, com indutância em série e capacidade em paralelo, está preparado para funcionar em frequências de 50/60 Hz, suporta uma corrente nominal de 40 A e uma corrente máxima de 45 A, uma atenuação superior a 40 dB e possui dimensões relativamente grandes e um peso considerável;
- Filtro C: filtro de fase seccionada com ligação de neutro, com indutância em série e capacidade em paralelo, está preparado para funcionar em frequências de 50/60 Hz, suporta uma corrente nominal de 65 A, atenuação mínima não

especificada e possui dimensão e peso consideravelmente mais pequenos do que o anterior;

- Filtro D: filtro de fase e neutro seccionados, está preparado para funcionar em frequências de 50/60 Hz e suporta uma corrente nominal de 40 A, apresenta uma atenuação superior a 50 dB, possui dimensão e peso menores favorecendo a instalação (comparativamente com os anteriores) e ainda pode ser montado em calhas DIN;
- Filtro E: filtro de fase e neutro seccionados idêntico ao anterior, porém suporta uma corrente nominal de 65 A e apresenta uma atenuação superior a 40 dB.

Para fonte de ruído foram escolhidos vários tipos de equipamentos: uma lâmpada fluorescente compacta, uma lâmpada LED, uma fonte comutada de 12 V e ainda uma fonte comutada de 24 V. O objetivo foi observar quantitativamente e qualitativamente os sinais de ruído gerados por cada fonte, para ser possível comparar os sinais PLC Prime contaminados pelo respetivo ruído, antes e depois da instalação de diferentes tipos de filtros PLC Prime.

O esquema elétrico utilizado para esta experiência encontra-se na Figura 50.

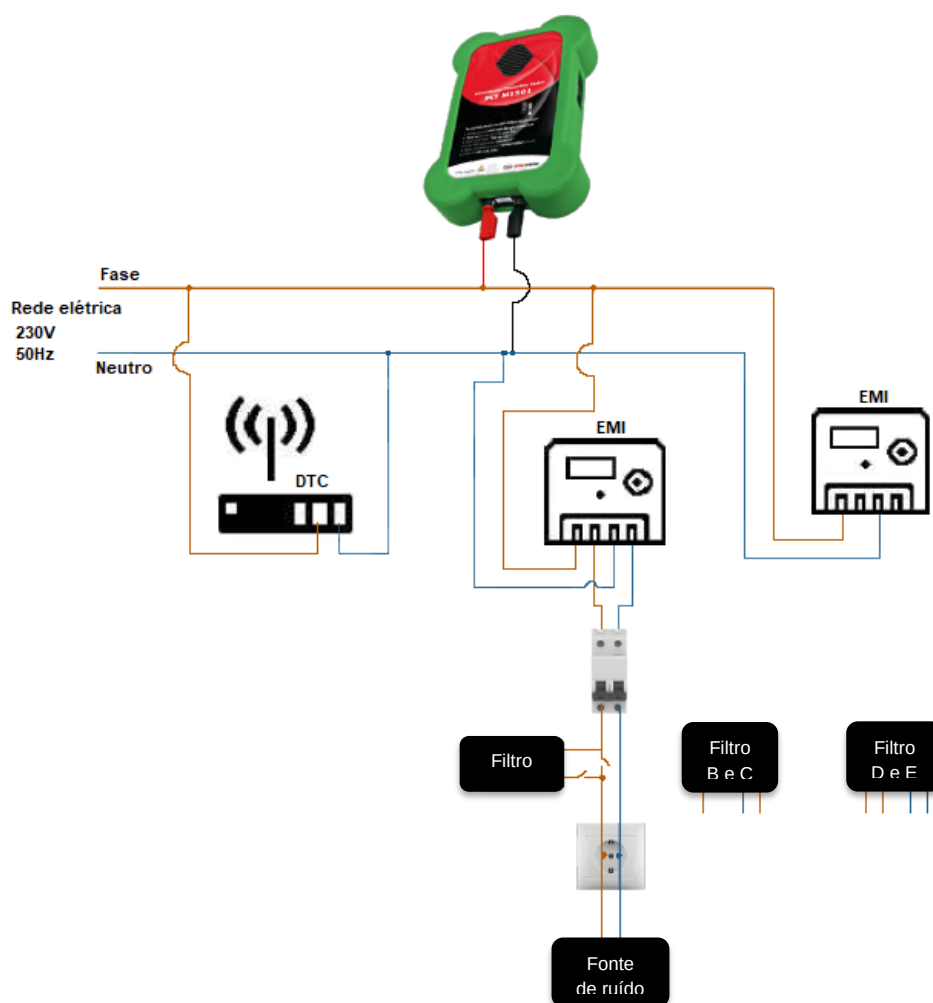


Figura 50 - Esquema elétrico da bancada de testes

Do ponto de vista da implementação prática, a bancada de testes foi construída como mostra a Figura 51.

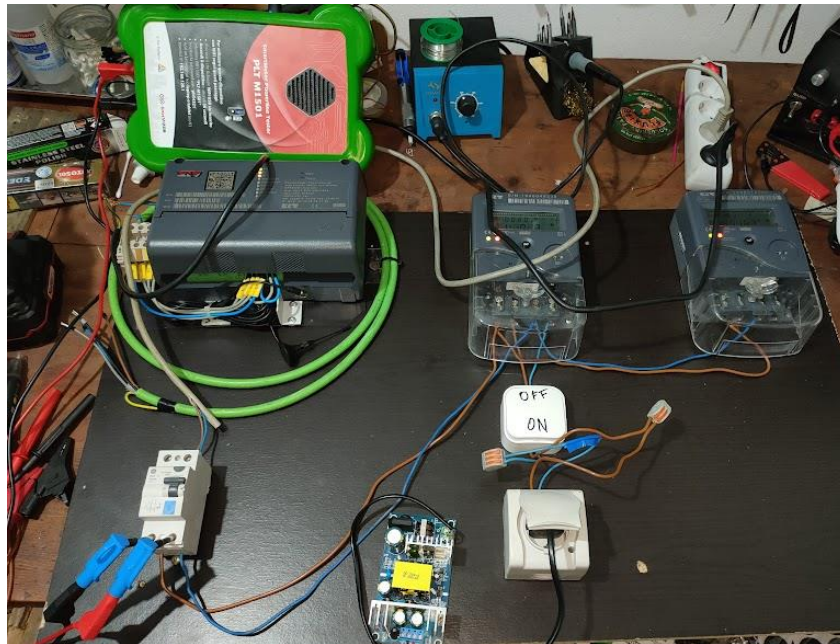


Figura 51 - Bancada de testes

Inicialmente foi retirado o gráfico representando o espectro de frequências da rede BT no estado inicial e sem qualquer fonte de ruído ligada, denominado de sinal e ruído base, onde é possível observar a existência de um sinal PLC Prime de boa qualidade a chegar aos 105 dB μ V, como mostra a Figura 52.

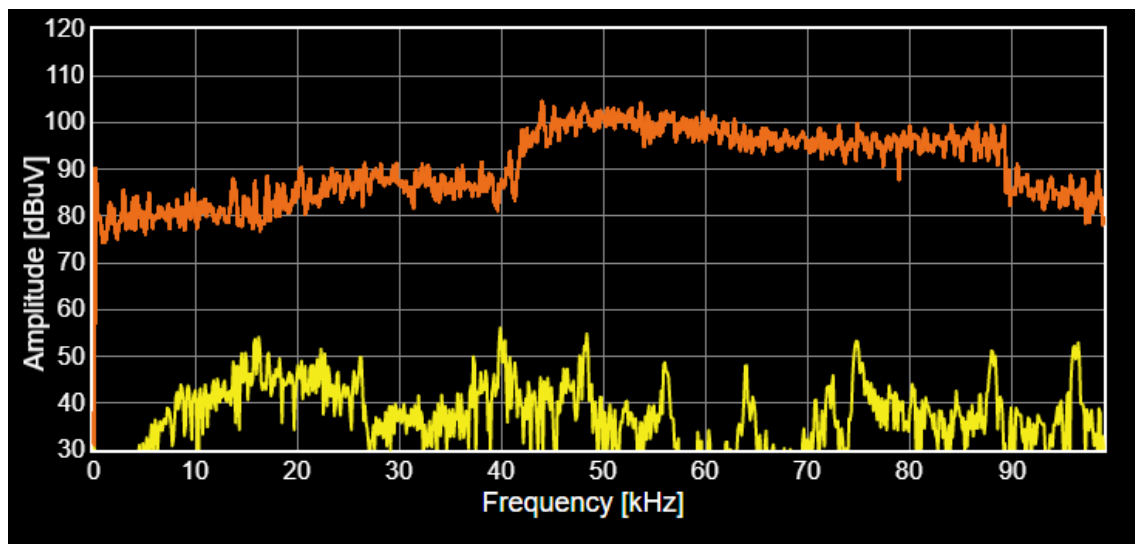


Figura 52 - Gráfico do espectro de frequências da rede BT – sinal base

8.1.1 Lâmpada fluorescente compacta

A primeira fonte de ruído utilizada foi uma lâmpada fluorescente compacta, que deu origem a um pico de ruído de 94 dB μ V na banda dos 51 kHz, como é possível observar na Figura 53, o qual impediu os EMIs de comunicarem.

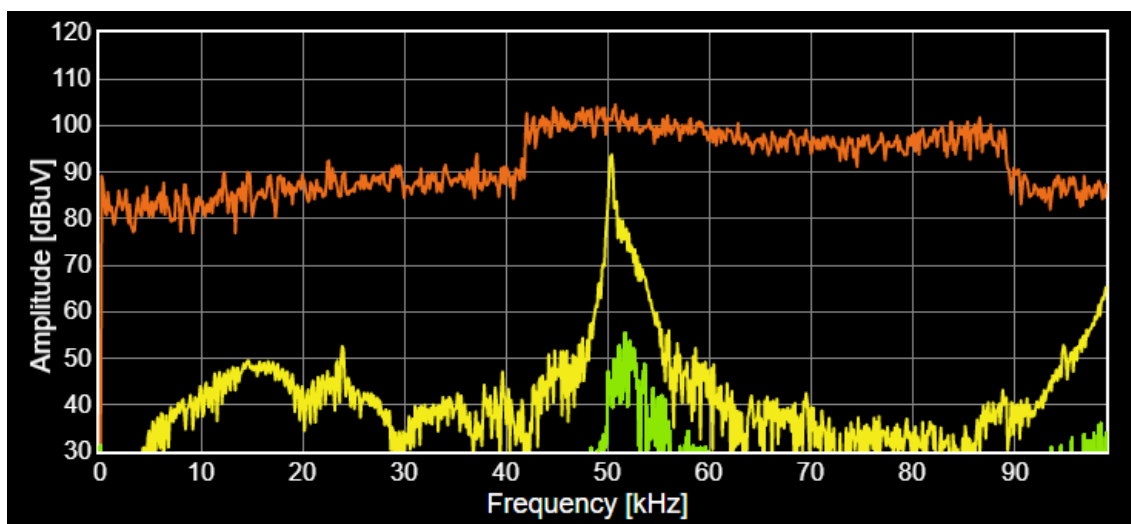


Figura 53 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT

Começou-se por filtrar o ruído com o filtro A, o qual atenuou o ruído de 36 dB mantendo-se apenas um pequeno pico de 58 dB μ V próximo do ruído base existente inicialmente e mantendo o sinal PLC Prime com as características próximas do estado inicial, permitindo assim a comunicação entre os EMIs (Figura 54).

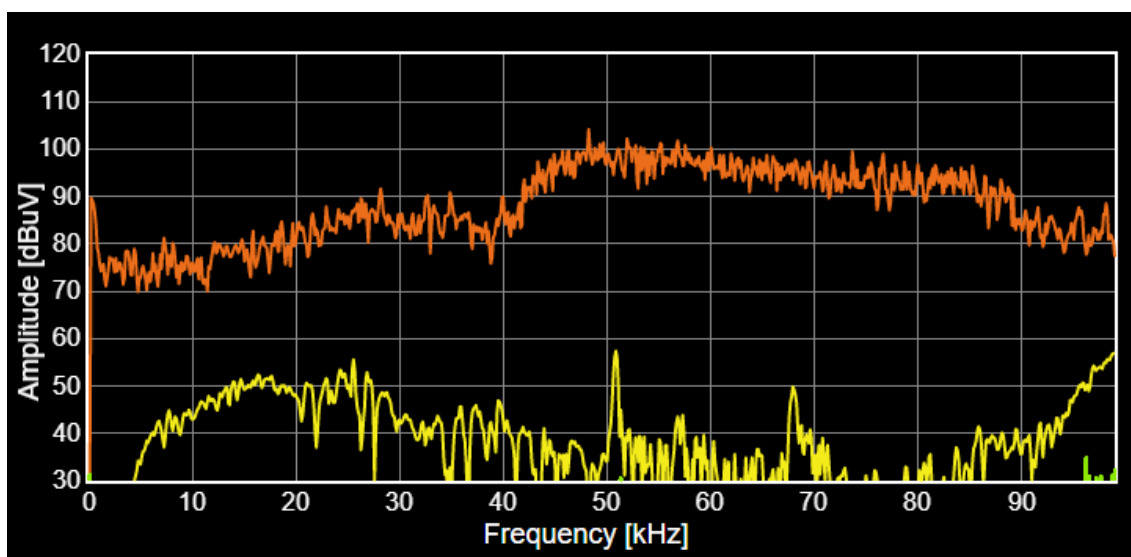


Figura 54 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A

Como é possível observar na Figura 55, o resultado da instalação do filtro B foi a eliminação prática do pico de ruído. No entanto, originou uma atenuação do sinal PLC Prime no fim do espectro observado, dos 70 kHz aos 90 kHz, de cerca de 5 dB. Porém, esta atenuação extra não afetou a comunicação entre os EMIs.

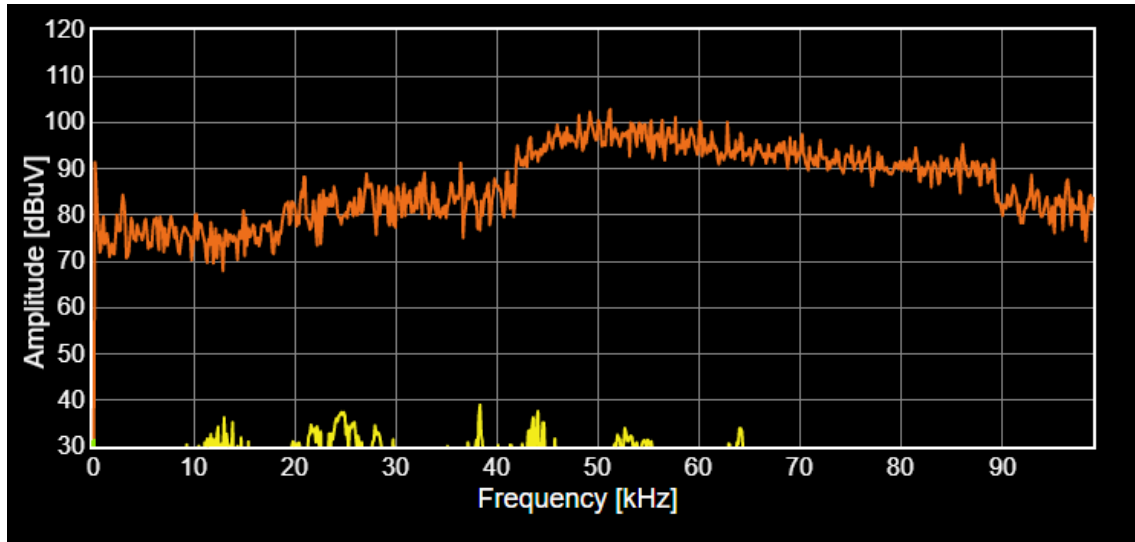


Figura 55 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro B

Com a instalação do filtro C, existiu uma grande atenuação de todo o sinal PLC Prime de cerca de 25 dB na banda dos 40 kHz aos 70 kHz e de cerca de 15 dB na banda dos 70 kHz aos 90 kHz. Existiu ainda uma redução do pico de ruído de apenas 19 dB, como mostra a Figura 55. Esta situação impediu a comunicação entre os EMIs.

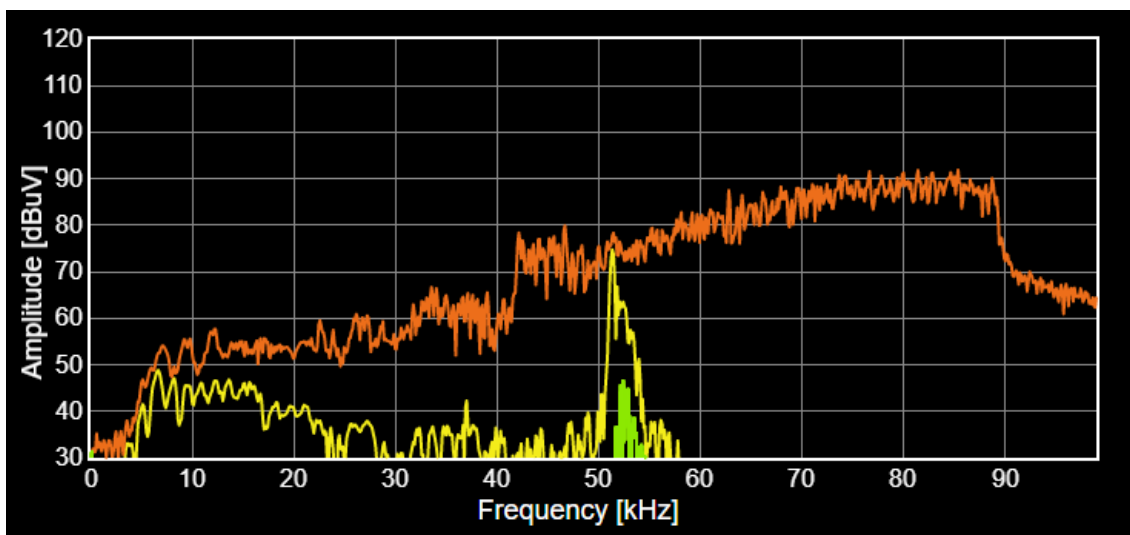


Figura 56 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C

A Figura 57 mostra o resultado da instalação do filtro D, que foi a eliminação prática do pico de ruído, e também na manutenção da qualidade do sinal PLC Prime, o que permitiu a comunicação entre os EMIs.

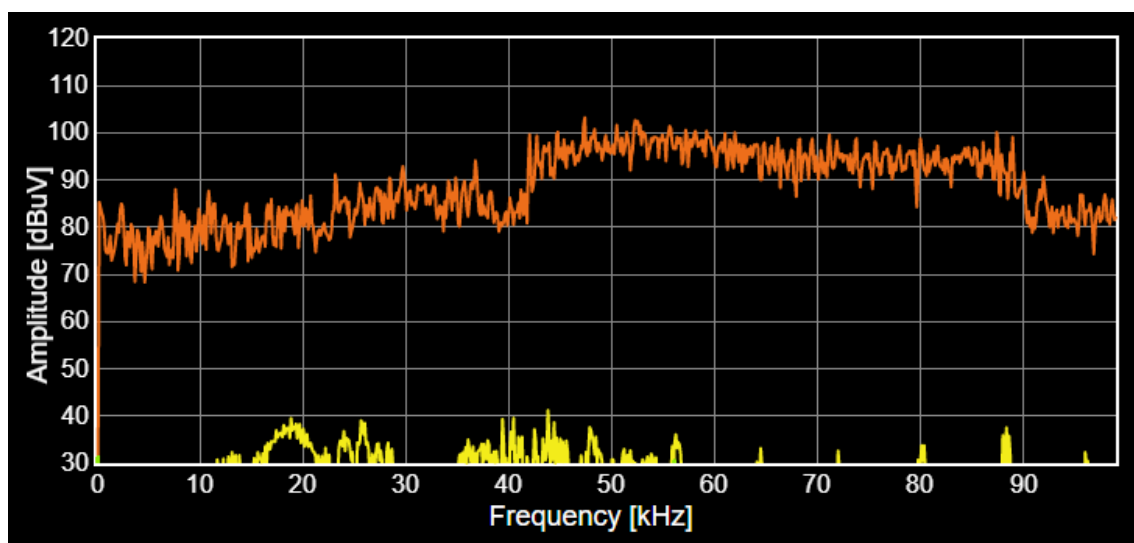


Figura 57 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D

Por fim, na Figura 58, é possível observar que a instalação do filtro E também eliminou na prática o pico de ruído e manteve a qualidade do sinal PLC Prime, permitindo assim a comunicação entre os EMIs.

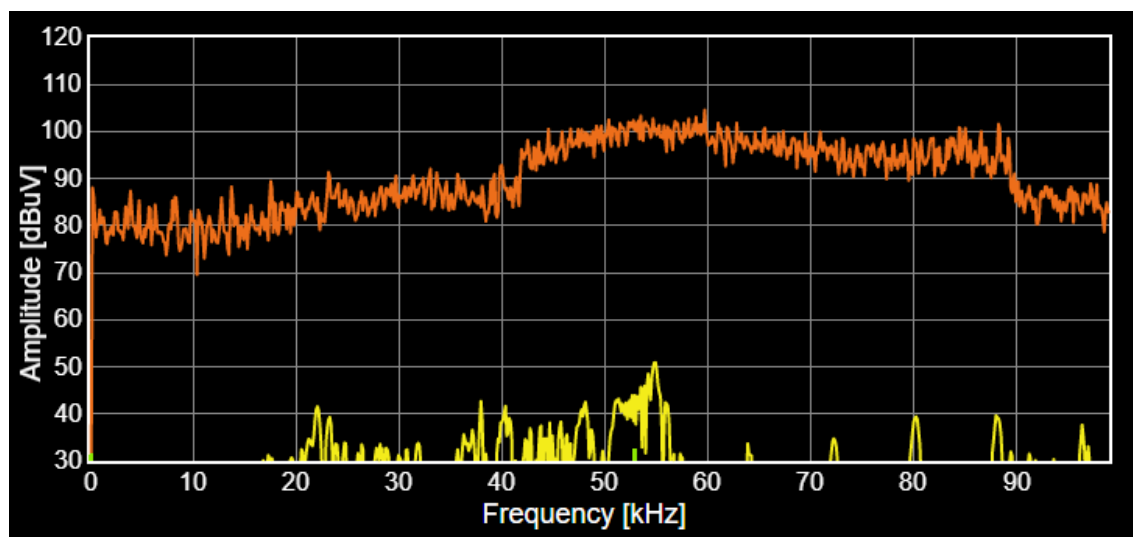


Figura 58 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada fluorescente compacta a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E

Para o ruído produzido pela lâmpada fluorescente compacta, podemos concluir que os filtros B, D e E foram os que se mostraram mais eficazes, uma vez que eliminaram o ruído do ponto de vista prático, sem afetar de forma visível a qualidade do sinal PLC Prime.

8.1.2 Lâmpada LED

A segunda fonte de ruído utilizada foi uma lâmpada LED, que deu origem a um pico de ruído de 62 dB μ V na banda dos 55 kHz, como é possível observar na Figura 59. Porém, a comunicação entre os EMIs manteve-se sempre, uma vez que a relação sinal-ruído era suficiente.

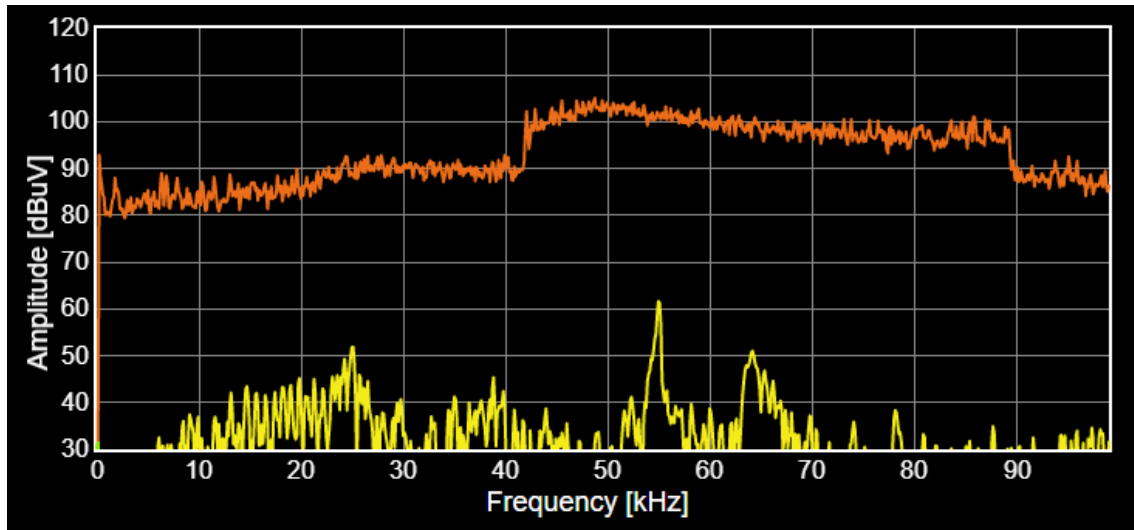


Figura 59 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT

Como mostra a Figura 60, a instalação do filtro A eliminou em termos práticos o pico de ruído e manteve a qualidade do sinal PLC Prime.

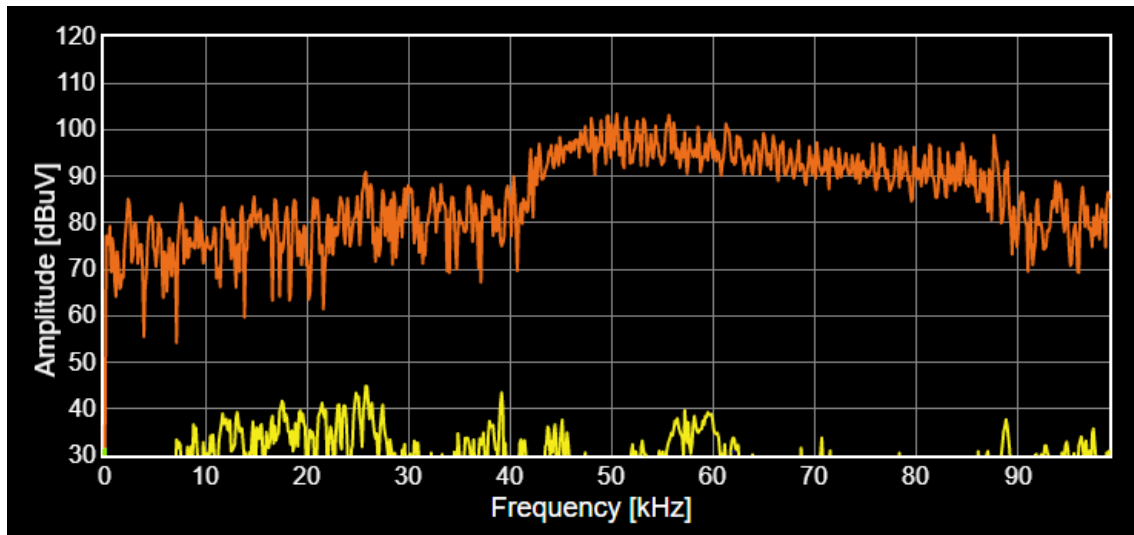


Figura 60 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A

Como é possível observar na Figura 61, o resultado da instalação do filtro B resultou na eliminação prática do pico de ruído, porém originou uma pequena atenuação na parte final do espectro do sinal PLC Prime, dos 70 kHz aos 90 kHz, de aproximadamente 5 dB.

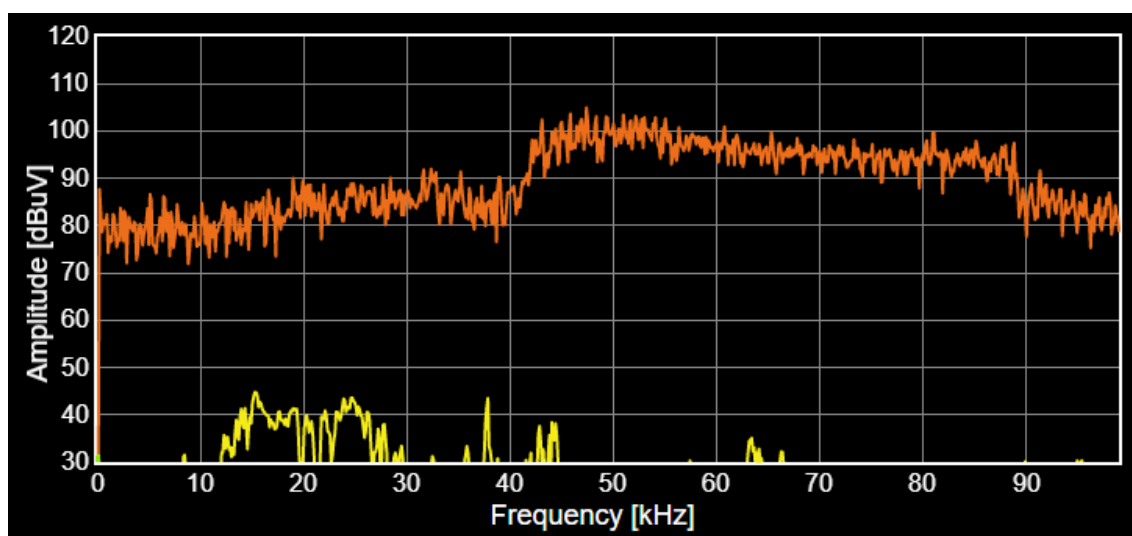


Figura 61 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo B

A Figura 62 mostra o resultado da instalação do filtro C que vai de encontro ao resultado obtido no caso anterior (lâmpada fluorescente compacta) com a instalação do filtro C. Ou seja, existiu uma atenuação elevada do sinal PLC Prime em toda a banda de frequências, de cerca de 45 dB na banda dos 40 kHz aos 70 kHz e de cerca de 10 dB na banda dos 70 kHz aos 90 kHz. Existiu ainda uma redução do pico de ruído de cerca de 20 dB.

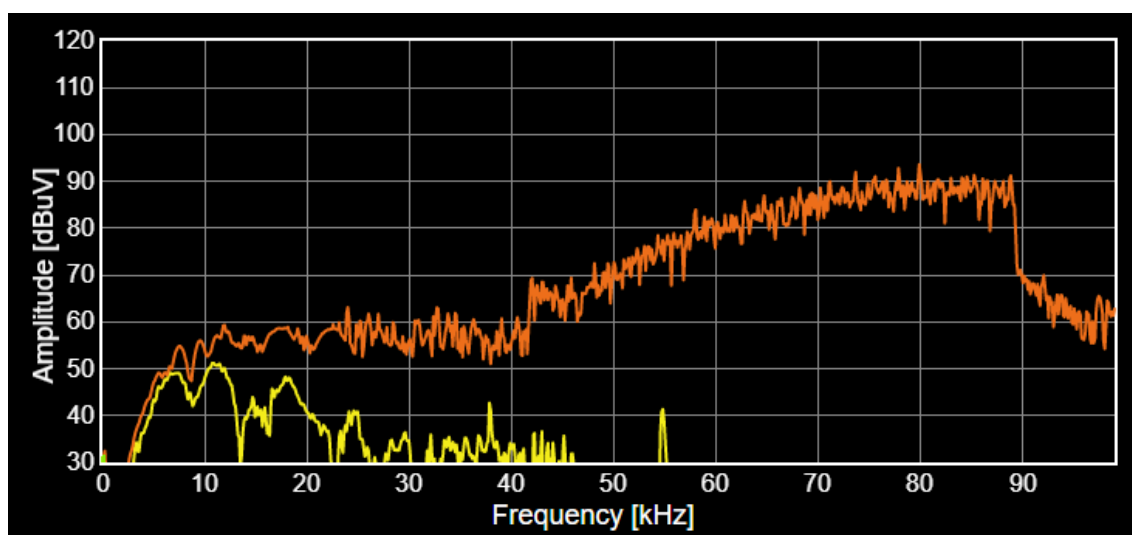


Figura 62 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C

Na Figura 63, o resultado da instalação do filtro D resultou na eliminação prática do pico de ruído, mantendo a boa qualidade do sinal PLC Prime.

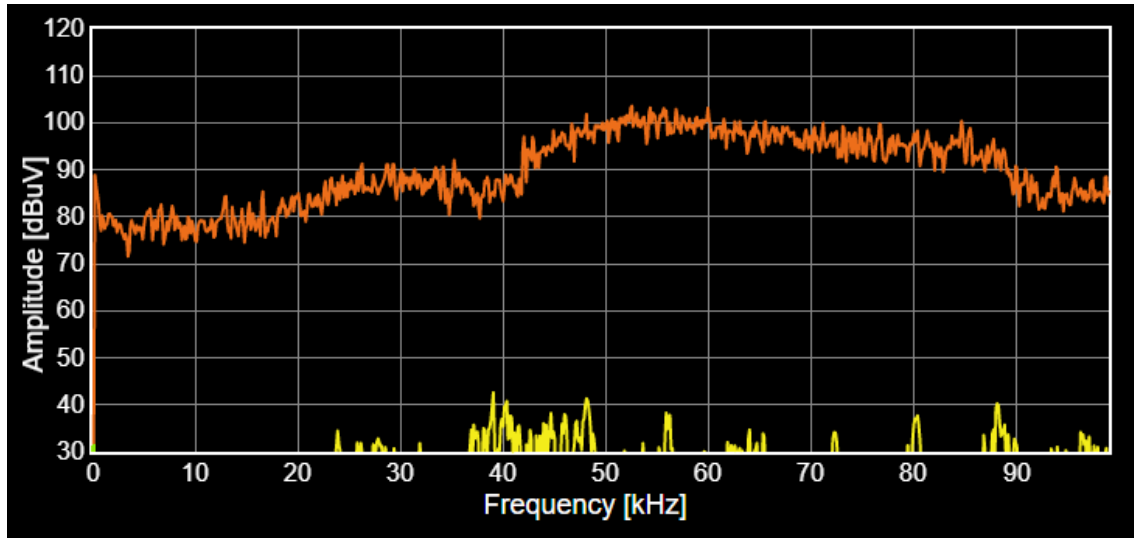


Figura 63 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D

Como mostra a Figura 64, o filtro E também eliminou na prática o pico de ruído mantendo a qualidade do sinal PLC Prime. Porém, o sinal PLC Prime sofreu uma pequena atenuação de cerca de 2 dB.

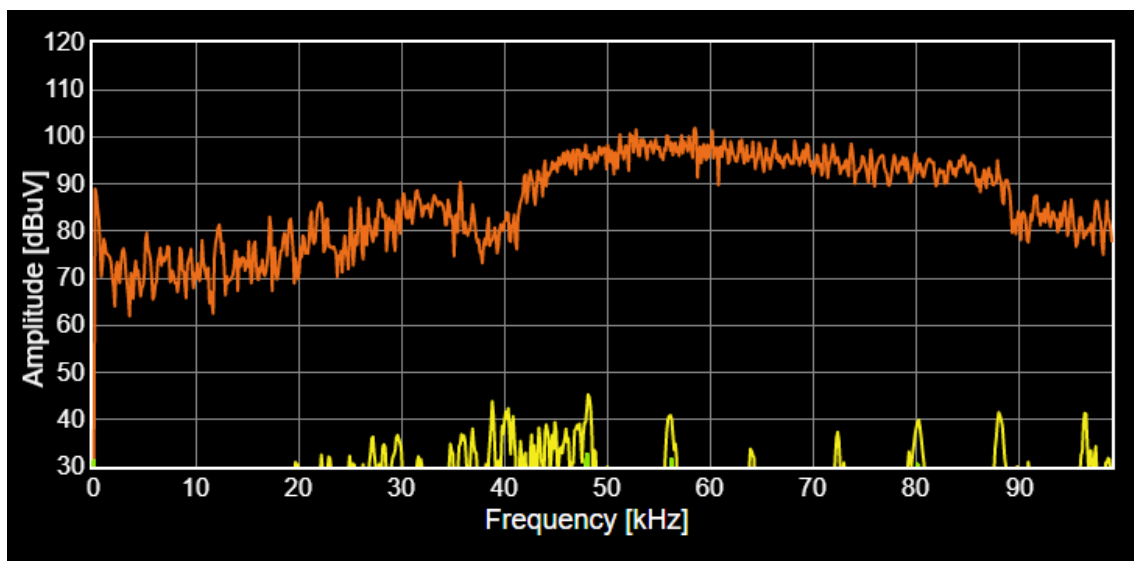


Figura 64 - Gráfico do espectro de frequências de uma lâmpada LED a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E

Para o ruído produzido pela lâmpada LED, podemos concluir, tal como para o caso da lâmpada fluorescente compacta, que o filtro B, D e E produziram resultados bastantes semelhantes, uma vez que reduziram fortemente o ruído, sem afetar significativamente a qualidade do sinal PLC Prime.

8.1.3 Fonte comutada de 12 V

A terceira fonte de ruído utilizada foi uma fonte comutada de 12 V, que deu origem a um pico de ruído de 86 dB μ V na banda dos 69 kHz, como é possível observar na Figura 65, e que impediu os EMIs de comunicarem.

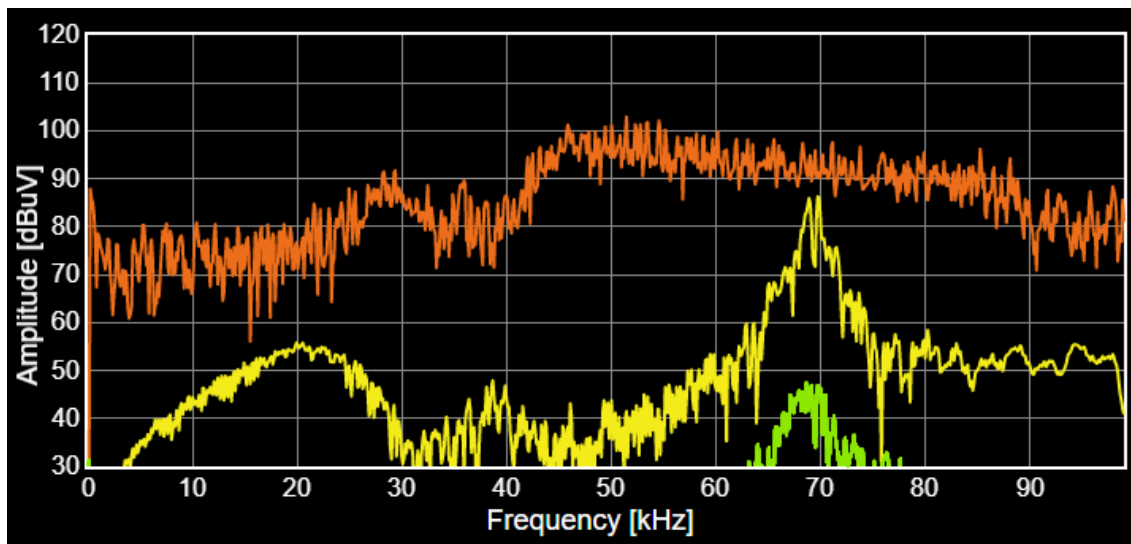


Figura 65 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT

A Figura 66 mostra a ineficácia do filtro A, uma vez que atenuou o ruído de apenas 17 dB e criou um novo pico de ruído na banda dos 96 kHz de cerca de 78 dB μ V, que apesar de não afetar a comunicação PLC Prime, não faz parte do sinal base. Já o sinal PLC Prime manteve a qualidade apenas com uma atenuação de 2 dB. Com este filtro os EMIs permaneceram sem comunicar.

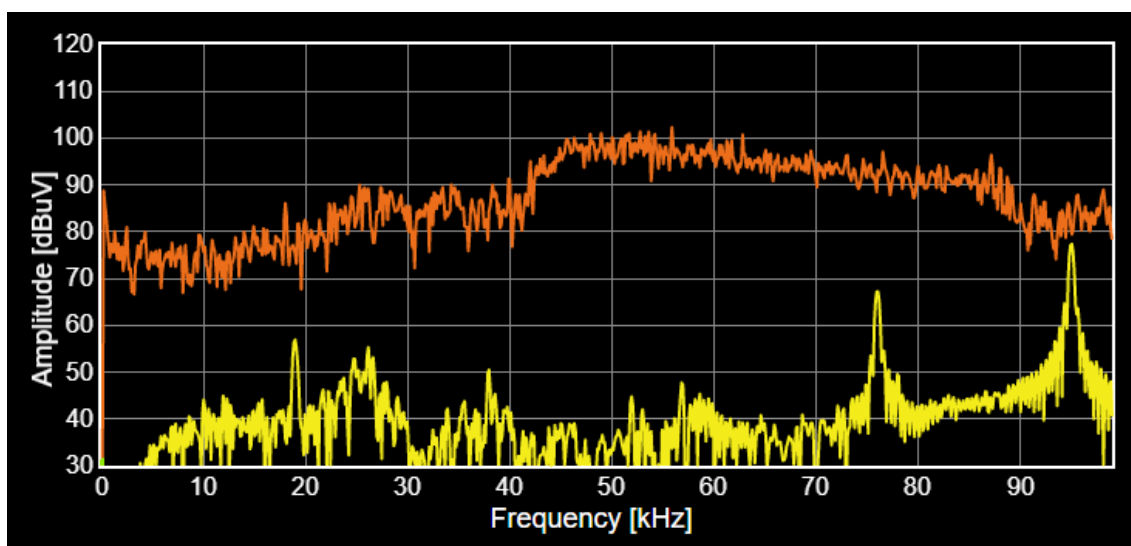


Figura 66 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A

Como é possível observar na Figura 67, o resultado da instalação do filtro B resultou na eliminação prática do pico de ruído, e na atenuação do sinal PLC Prime, o que permitiu aos EMIs iniciarem a comunicação.

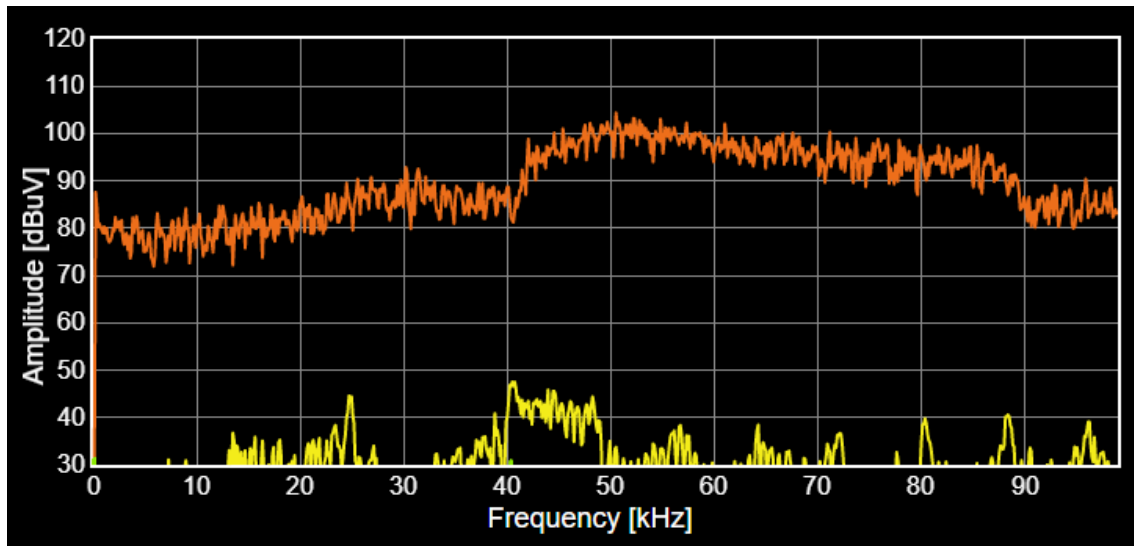


Figura 67 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro B

Novamente em linha com os resultados anteriores, existiu uma grande atenuação de todo o sinal PLC Prime de cerca de 25 dB na banda dos 40 kHz aos 70 kHz e de cerca de 10 dB na banda dos 70 kHz aos 90 kHz. Existiu ainda uma eliminação prática do pico de ruído, como mostra a Figura 68, o que permitiu aos EMIs comunicarem entre si.

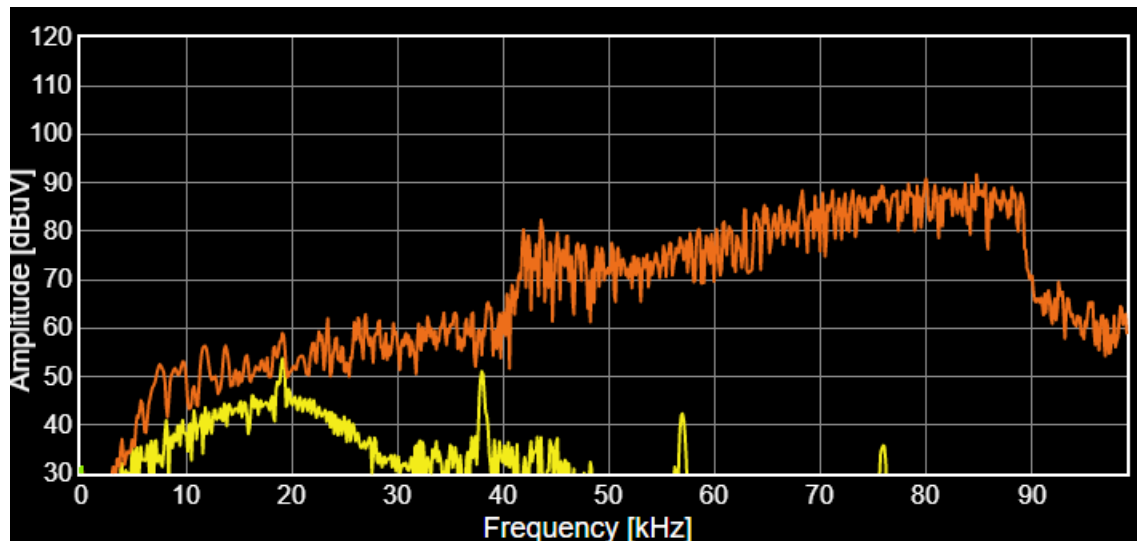


Figura 68 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C

Na Figura 69, o resultado da instalação do filtro D resultou na eliminação prática do pico de ruído, no entanto, o sinal PLC Prime perdeu alguma qualidade. Contudo, esta situação não impediu a comunicação entre os EMIs.

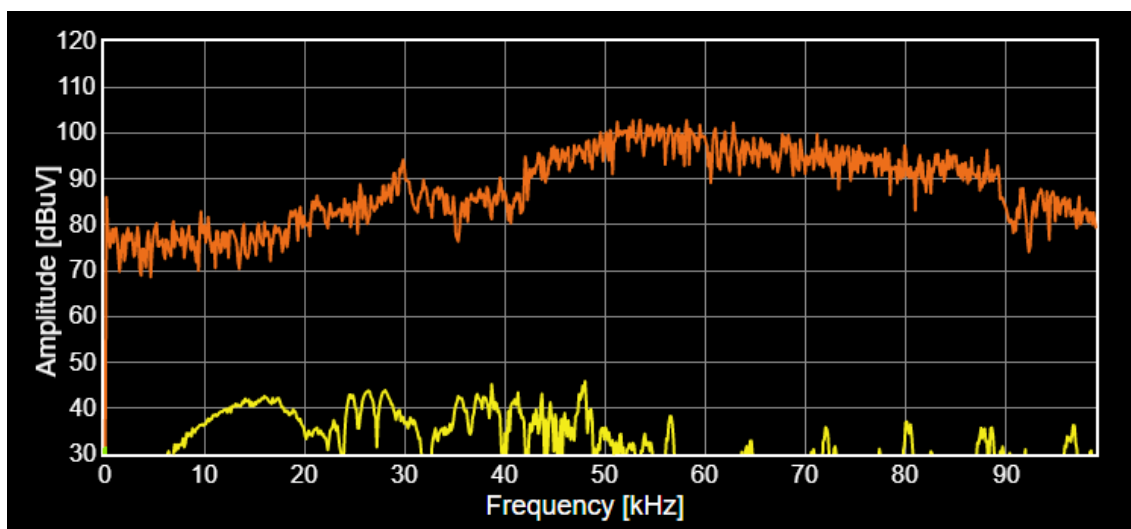


Figura 69 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D

Na Figura 70, o resultado da instalação do filtro E resultou também na eliminação prática do pico de ruído e na perda de qualidade do sinal PLC Prime. O que também neste caso não impediu a comunicação entre os EMIs.

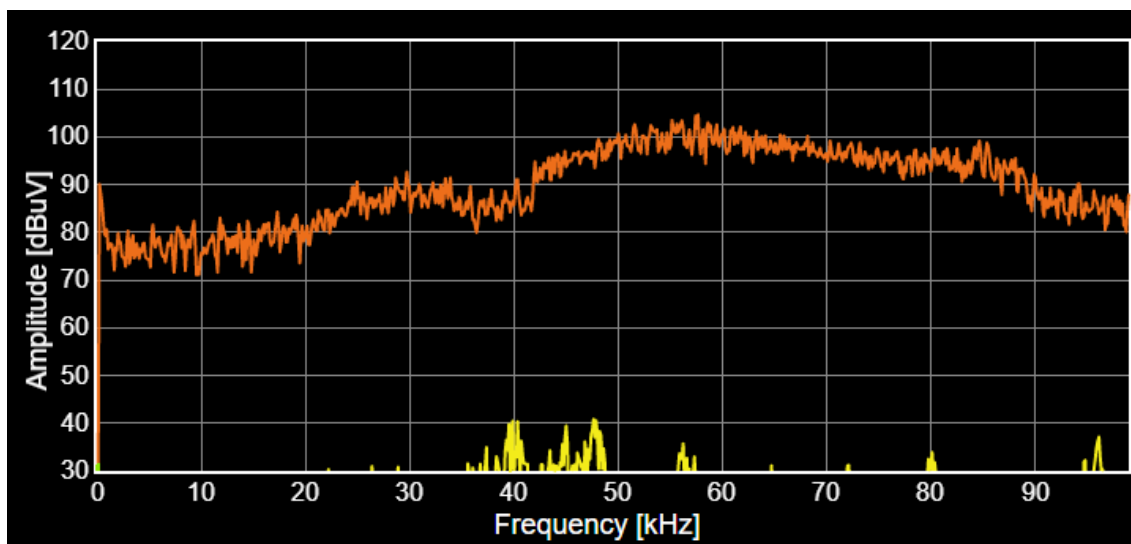


Figura 70 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 12 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E

Para o ruído produzido pela fonte comutada de 12 V, podemos concluir que o filtro B foi o que se mostrou mais competente, uma vez que eliminou o ruído do ponto de vista prático, sem afetar a qualidade do sinal PLC Prime.

8.1.4 Fonte comutada de 24 V

A quarta fonte de ruído utilizada foi uma fonte comutada de 24 V, que deu origem a três picos de ruído dentro da banda PLC Prime, um com uma potência de 68 dB μ V, outro com 71 dB μ V e ainda outro com 74 dB μ V. Esta fonte provocou também alguma atenuação do sinal PLC Prime, como é possível observar na Figura 71, a qual impediu os EMIs de comunicarem.

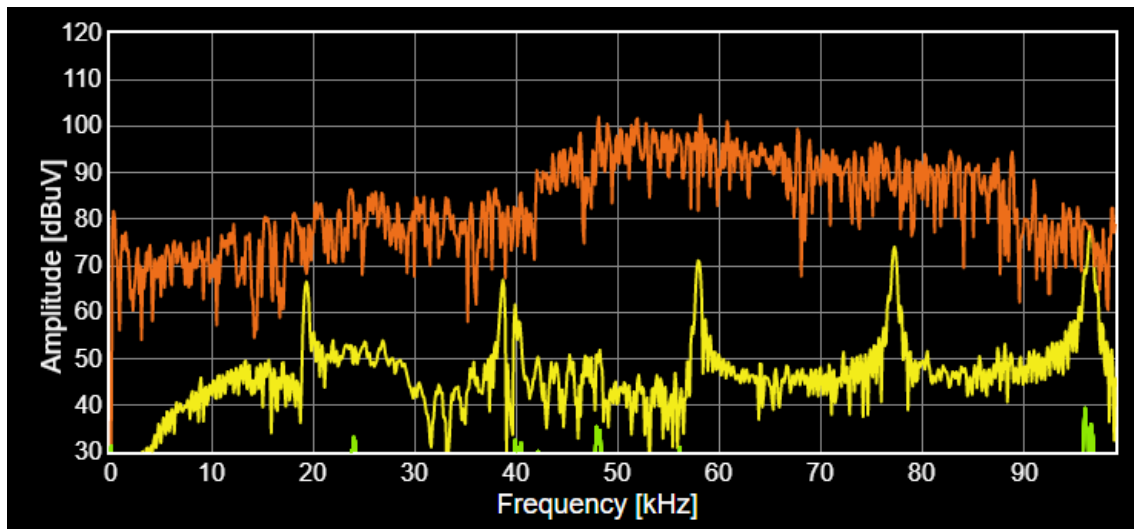


Figura 71 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT

A Figura 72 mostra que a instalação do filtro A foi ineficaz, uma vez que reduziu apenas dois dos três picos de ruído. Melhorou a qualidade do sinal PLC Prime, no entanto, não foi suficiente para os EMIs comunicarem.

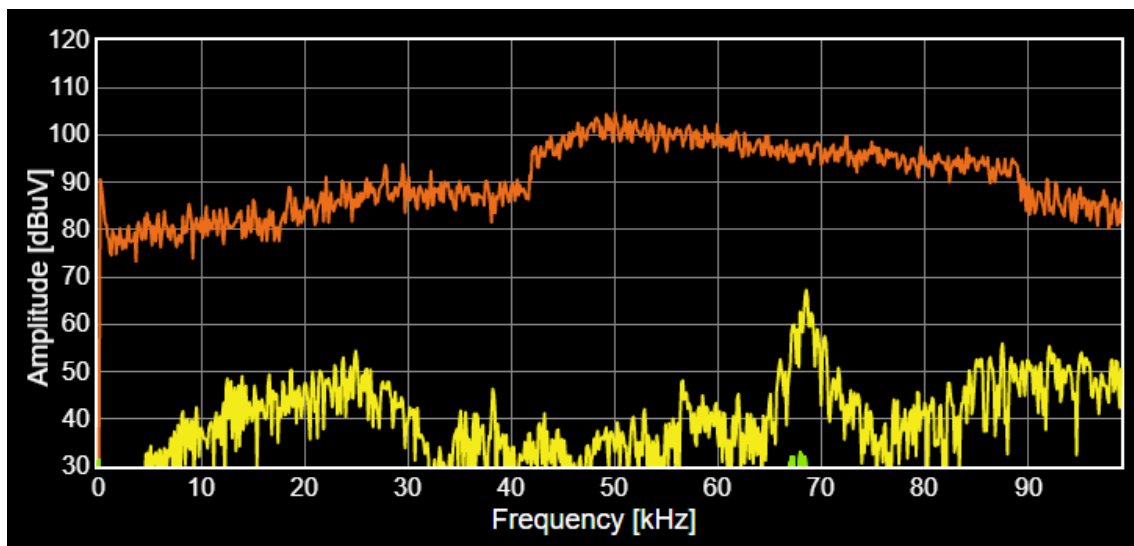


Figura 72 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro A

Como é possível observar na Figura 73, o resultado da instalação do filtro B resultou na completa eliminação prática dos três picos de ruído e na melhoria da qualidade de todo o sinal PLC Prime. O que resultou no restauro da comunicação entre os EMIs.

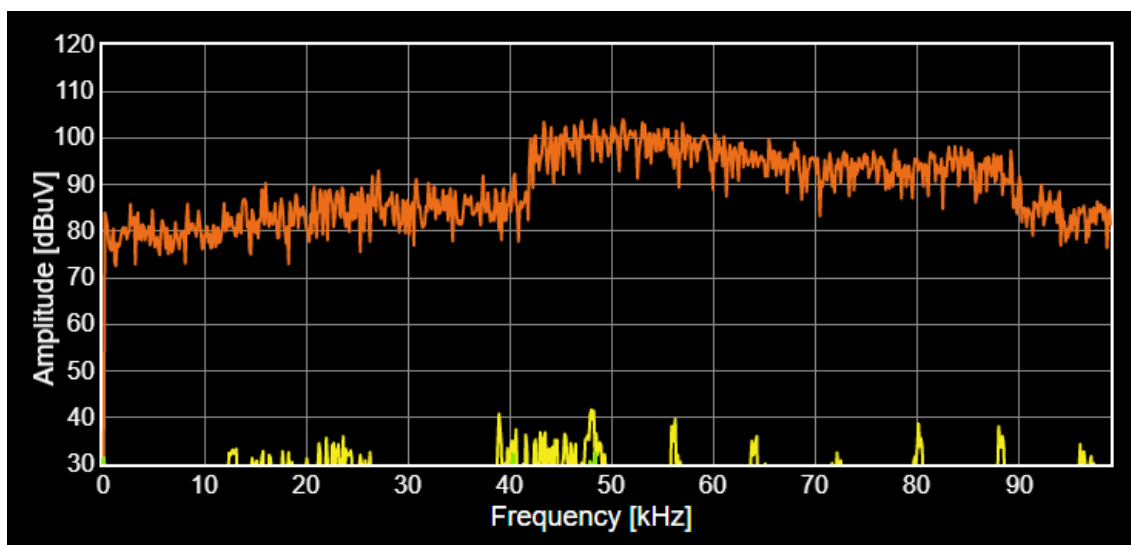


Figura 73 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro B

A Figura 74 confirma o comportamento anterior do filtro C, pois existiu uma grande atenuação de todo o sinal PLC Prime de cerca de 30 dB na banda dos 50 kHz e de cerca de 10 dB na banda dos 70 kHz aos 90 kHz. Existiu ainda uma eliminação prática total dos picos de ruído, permitindo assim a comunicação entre os EMIs.

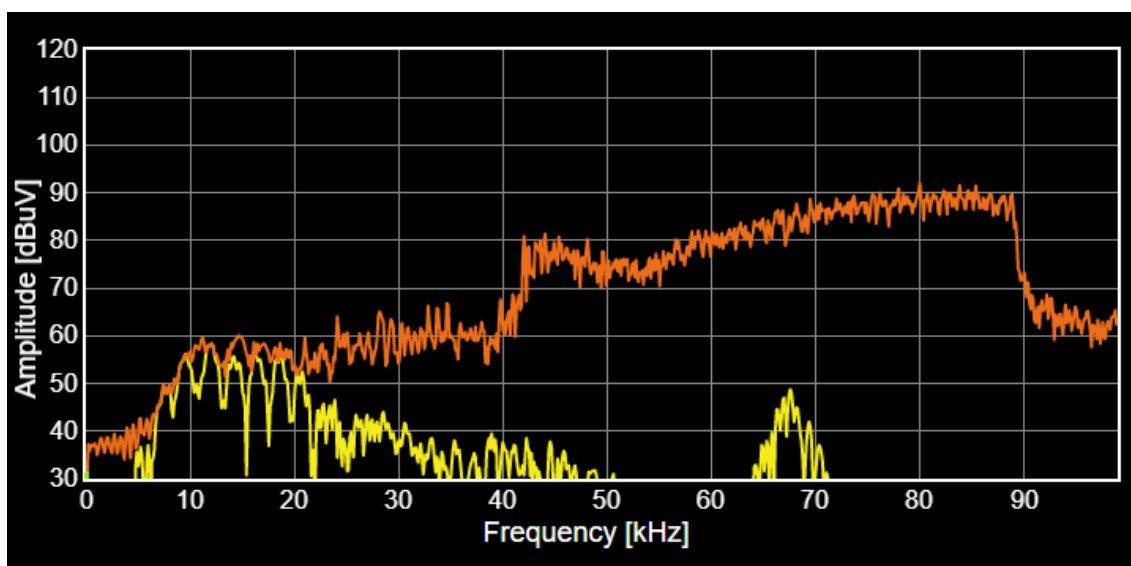


Figura 74 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro C

Na Figura 75, pode-se observar o resultado da instalação do filtro D que foi também na eliminação prática dos picos de ruído, melhorando um pouco a qualidade do sinal PLC Prime, permitindo a comunicação entre os EMIs.

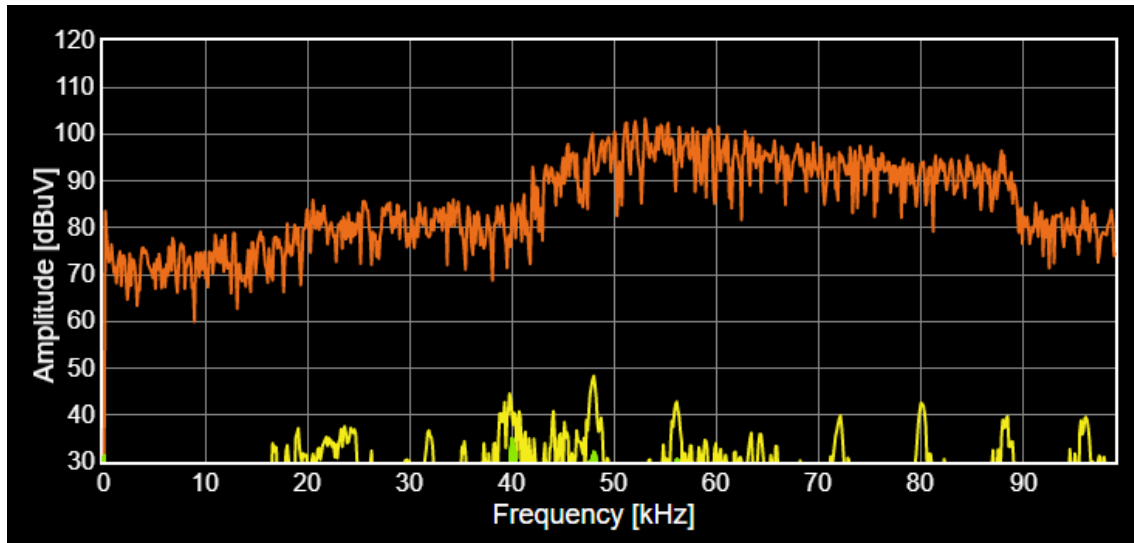


Figura 75 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro D

Na Figura 76, o resultado da instalação do filtro E resultou também na eliminação prática dos picos de ruído e também melhorando substancialmente a qualidade do sinal PLC Prime, permitindo a comunicação entre os EMIs.

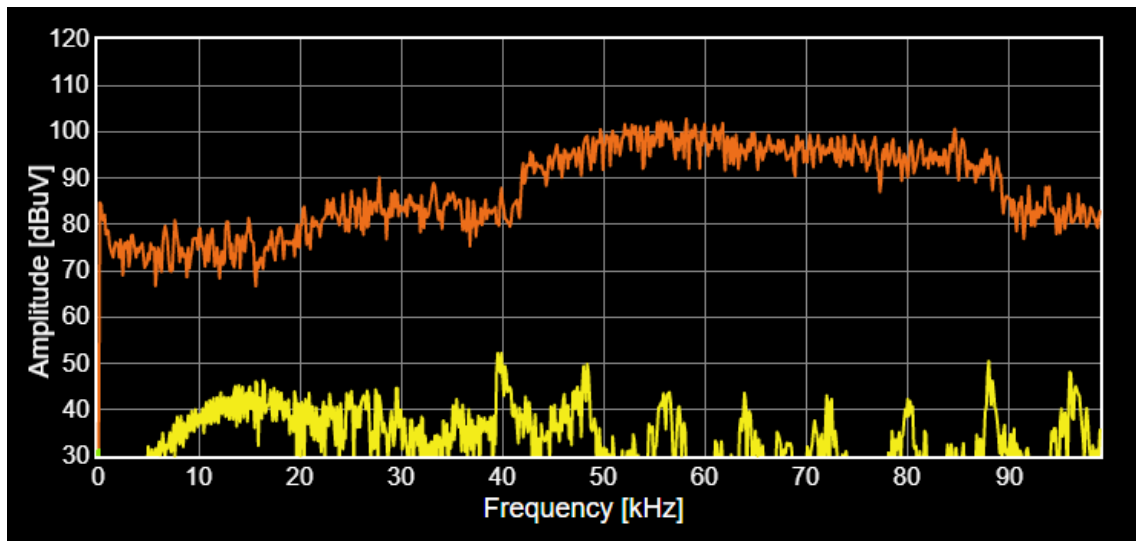


Figura 76 - Gráfico do espectro de frequências de uma fonte comutada de 24 V a produzir ruído na rede BT corrigido pelo filtro E

Para o ruído produzido pela fonte comutada de 24 V, podemos concluir que o filtro B foi o que mostrou melhor desempenho, uma vez que eliminou em termos práticos os três picos de ruído, atenuando muito pouco o sinal PLC Prime.

A Tabela 2 resume as conclusões da bancada de testes. O ruído gerado pela lâmpada fluorescente compacta impediu inicialmente a comunicação entre os EMIs, porém a mesma foi restabelecida com a introdução de todos os filtros à exceção do C que não conseguiu eliminar o pico de ruído, destacando o comportamento dos filtros B, D e E.

A lâmpada LED não produziu ruído suficiente para afetar negativamente a comunicação entre os EMIs, uma vez que a relação sinal-ruído era suficiente. Porém novamente se destaca o comportamento dos filtros B, D e E que permitiram ter uma forma de onda do sinal PLC Prime semelhante à inicial não o atenuando em demasia.

A comunicação entre os EMIs interrompida devido ao ruído produzido pela fonte comutada de 12 V foi restabelecida com a instalação de todos os filtros à exceção do filtro A. Destaca-se o comportamento do filtro B uma vez que eliminou o ruído, sem afetar a qualidade do sinal PLC Prime.

A fonte comutada de 24 V foi o equipamento que produziu o ruído mais relevante do conjunto. Este ruído foi reduzido com a introdução de todos os filtros à exceção do filtro A, destacando novamente o comportamento do filtro B que se mostrou mais competente, uma vez que eliminou os três picos de ruído, não atenuando praticamente nada o sinal PLC Prime.

É possível concluir que o filtro B foi o que se mostrou mais competente no geral, uma vez que foi o filtro que se destacou com todos os equipamentos produtores de ruído.

Tabela 2 - Conclusões sobre a utilização de filtros dos testes de bancada

Fonte de ruído	Filtro	Comunicação entre EMIs
Lâmpada fluorescente compacta	A	OK
	B	OK
	C	NOK
	D	OK
	E	OK
Lâmpada LED	A	OK
	B	OK
	C	OK
	D	OK
	E	OK
Fonte comutada de 12 V	A	NOK
	B	OK
	C	OK
	D	OK
	E	OK
Fonte comutada de 24 V	A	NOK
	B	OK
	C	OK
	D	OK
	E	OK

8.2 Exemplos no terreno

Neste subcapítulo será aplicada, em dois casos reais, a metodologia apresentada no Capítulo 7 para a resolução de problemas de ruído que existiam na rede BT e que estavam a afetar negativamente a comunicação nestas áreas.

8.2.1 Exemplo 1

Esta tratava-se de uma rede rural com várias habitações e algum comércio local como cafés e mercearias. Existia uma habitação com coletor solar térmico e ainda outra com uma *wallbox*.

Pré-planeamento

Através do SITRD isolamos o mapa da rede que vamos analisar assim como todos os elementos adjacentes à mesma, que constam na Figura 77. Figuras completas podem ser observadas nos Anexos D e E (algumas referências foram anonimizadas).

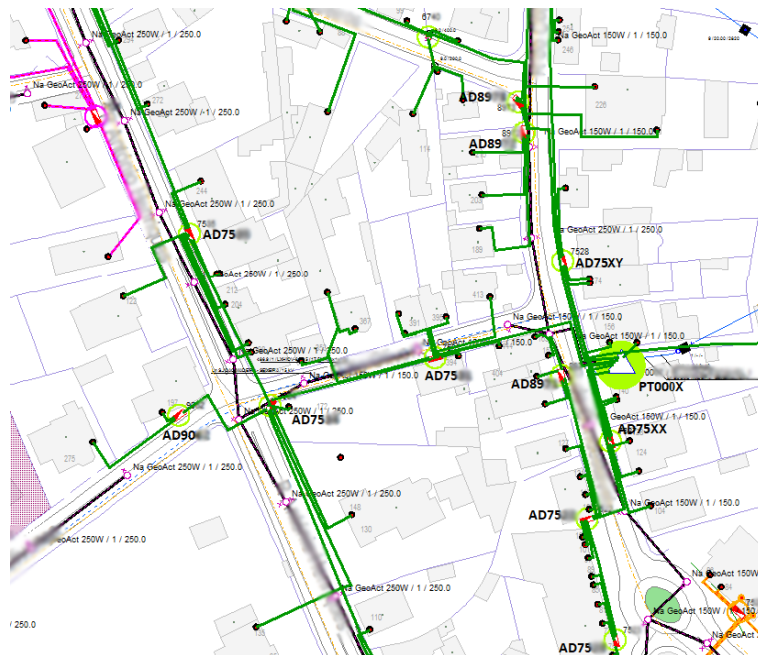


Figura 77 - Mapa da rede 1

Observando a OT, que se encontra no Anexo F, é possível concluir que a disponibilidade média desta rede é de apenas 9.87% e a percentagem de leitura é de 0%. A melhor disponibilidade encontra-se no Q3 e a pior no Q2, de resto não é possível concluir nada mais.

No *Google Maps*, como podemos verificar no Anexo G, existem algumas instalações que podem chamar a atenção: a que possui o coletor solar térmico, porém, esta já se encontra para o fim da rede; a que possui a *wallbox*, ou seja, um sistema inteligente de carregamento doméstico de Veículos Elétricos (VE) que se encontra imediatamente a jusante do PTD 000X e que poderá ser a causadora de ruído nesta rede.

Análise no terreno

A análise no terreno começou dentro do PTD 000X, onde se ligou o analisador de espectro aos terminais do DTC e se verificou desde logo da existência de um sinal PLC de qualidade, com cerca de 110 dB μ V (linha amarela), e também a existência de ruído moderado com um pico de 85 dB μ V na faixa dos 56 kHz e um pico de 103 dB μ V na faixa dos 66 kHz (linha azul), como é possível observar na Figura 78. A linha vermelha representa o nível mínimo registrado.

Foi ainda comparado o nível de sinal existente no bloco de fusíveis e no barramento BT com o sinal existente no DTC. Porém, a como a diferença era desprezável, cerca de 2 dB e 4 dB respetivamente, descartaram-se assim problemas de atenuação extra e de erro de cadastro.

Ainda com o analisador de espectro ligado dentro do PT, foram desligados um a um os diversos equipamentos como *modem*, *router*, URR e DTC de forma a verificar se o ruído era proveniente do PT, porém não era, pois o ruído manteve-se, excluindo assim problemas de avaria de equipamento.

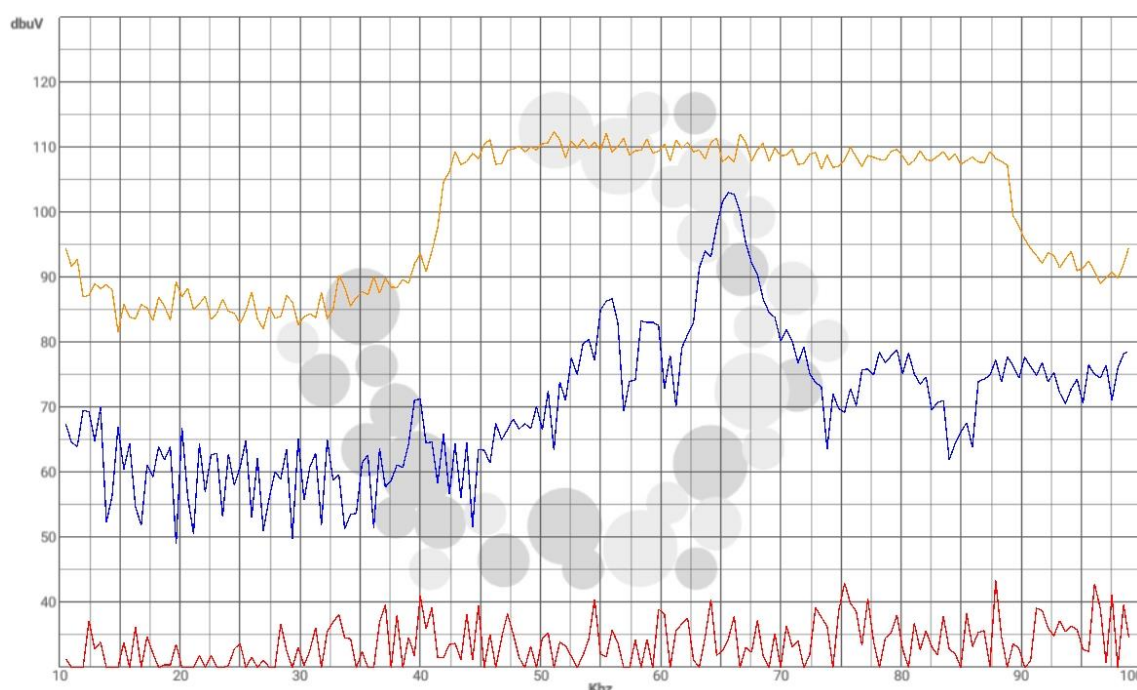


Figura 78 - Espectro de frequências aos terminais do DTC do PTD 000X

Ainda dentro do PTD, e com a ajuda do analisador de espectro, verificou-se em qual das diferentes saídas do QGBT (ramais) e em qual das diferentes fases, a amplitude do ruído era superior, de forma a identificar qual das saídas se deve analisar primeiro.

Começou-se pelo AD 75XX que era o armário de distribuição mais próximo, porém tanto a potência do sinal PLC como a amplitude do ruído eram inferiores, concluindo-se assim que nos estávamos a afastar da fonte de ruído.

Então investigou-se a vivenda 156, a que possuía *wallbox*, que ficava do lado do PTD 000X e onde a potência do sinal PLC estava mais baixa. Porém, a amplitude do ruído estava maior e desligando a vivenda, o ruído manteve-se. Logo pôde-se concluir que o problema não estava na vivenda, nem era proveniente da *wallbox*, porém estava-se mais próximo da fonte de ruído.

Seguiu-se então para o armário de distribuição mais próximo, o AD 75XY, onde foi detetado que a potência do sinal PLC era mais baixa. Porém, para as mesmas frequências, os picos de ruído eram mais elevados do que nos terminais do DTC. Nos 66 kHz a amplitude estava nos 111 dB μ V, ou seja, um aumento de 8 dB, e nos 56 kHz estava nos 103 dB μ V, ou seja, um aumento de 18 dB, como é possível observar na Figura 79.

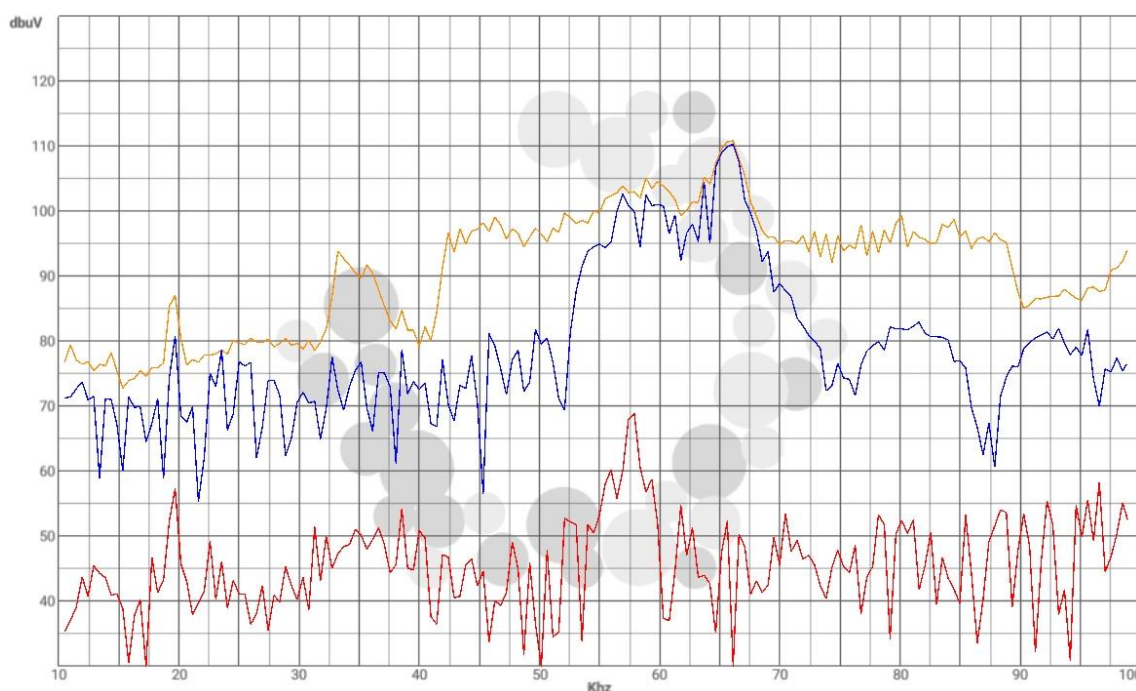


Figura 79 - Espectro de frequências da instalação ligada a produzir ruído

Para nos certificarmos que esta era a instalação que produzia o ruído, foi pedido para se fazer a desligação da mesma durante alguns segundos. Após a desligar o ruído desapareceu, como é possível observar na Figura 80.

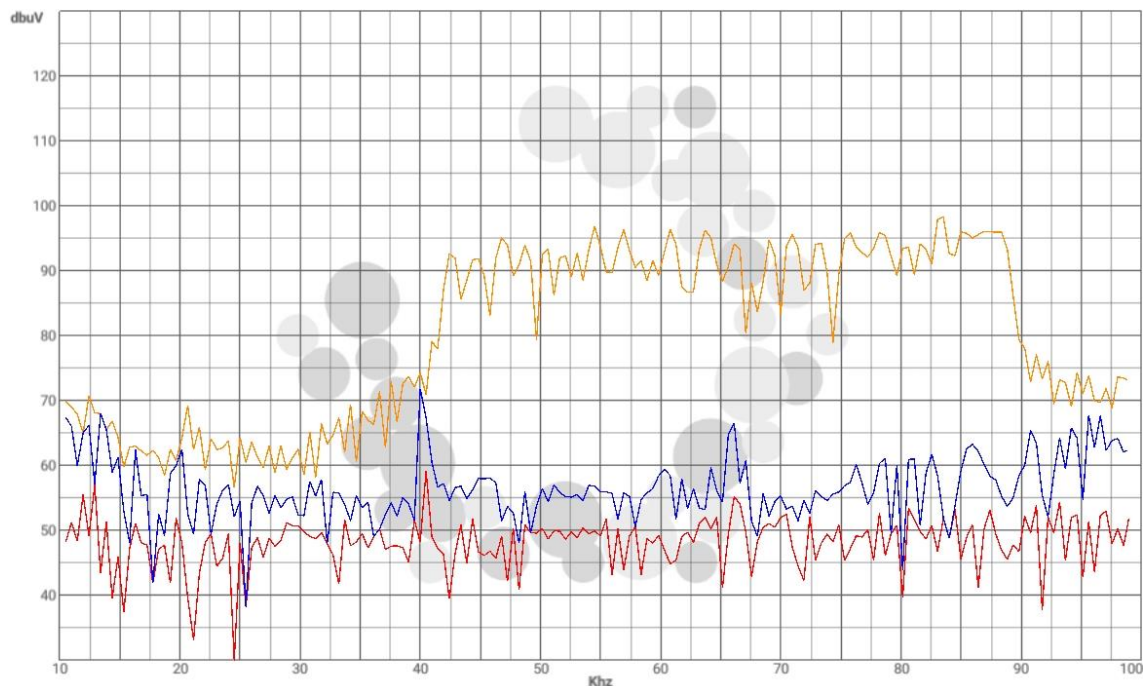


Figura 80 - Espectro de frequências da instalação após desligação

Assim é possível afirmar com certeza que esta instalação trifásica, alimentada pelo AD 75XY, que era uma mercearia com uma potência contratada de 20,7 kVA, a responsável pela produção de ruído presente nesta rede. Não sendo assim necessário ir à instalação que possui o coletor solar térmico.

Ao calcular a corrente desta instalação:

$$I_{Sinst} = \frac{S_{inst}}{\sqrt{3} \times 400} \Leftrightarrow I_{Sinst} = \frac{20.7 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \Leftrightarrow I_{Sinst} \cong 30 \text{ A}$$

Arredondando para o valor imediatamente acima de filtro existente, podemos concluir que para solucionar este problema precisamos de três filtros de 40 A.

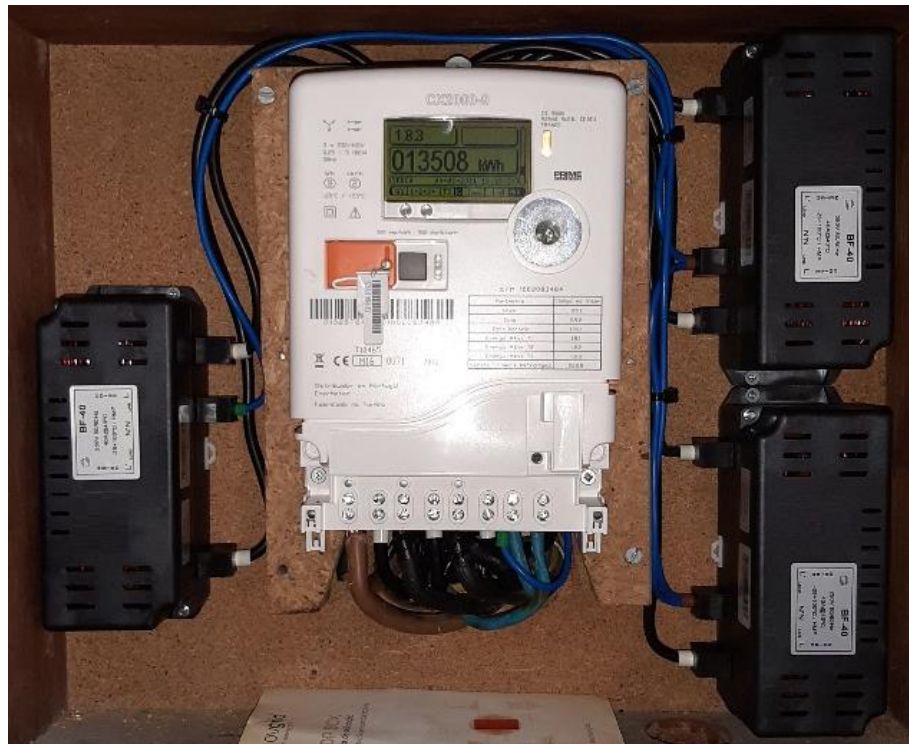


Figura 81 - Instalação dos três filtros de 40 A na mercearia

Após instalados os três filtros de 40 A, como mostra a Figura 81, foi medido novamente com o analisador de espectro o sinal na rede, o qual mostrou um sinal com boa qualidade e sem ruído significativo, como mostra a Figura 82.

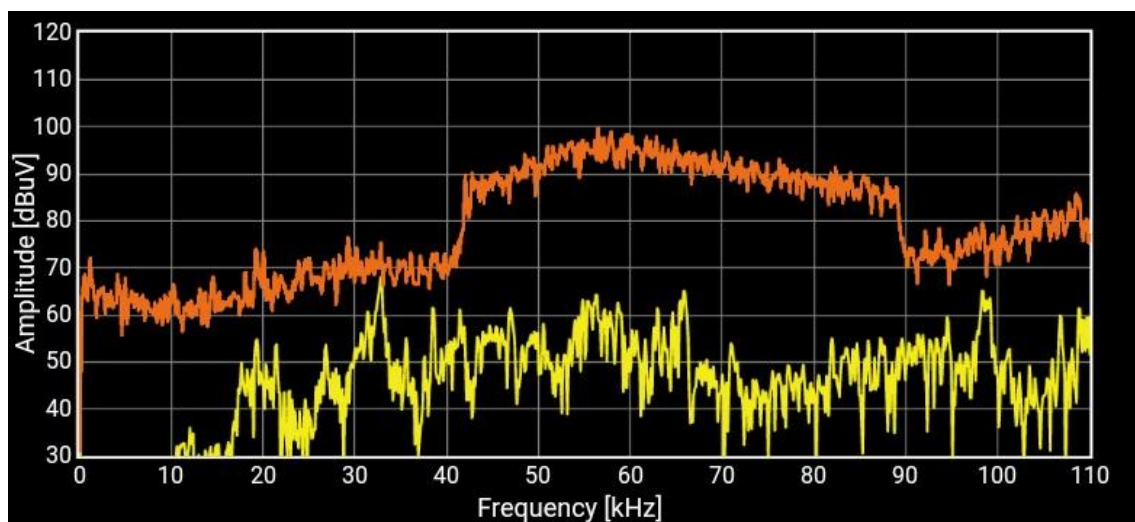


Figura 82 - Espectro de frequências da instalação com ruído após montagem dos filtros na mercearia

Foi também retirado novamente a OT que possui os novos indicadores de qualidade que constam no Anexo H, onde podemos concluir que as comunicações desta rede melhoraram significativamente, passando a ter uma disponibilidade média de 89.19%, uma percentagem de leitura de 94.37% e ainda a disponibilidade em todos os quadrantes do dia passou a ser superior a 88%.

Isto representa uma melhoria da disponibilidade média em cerca de 8%, da disponibilidade Q1 de 5.2%, disponibilidade Q2 de 16.9%, disponibilidade Q3 de 4.46% e disponibilidade Q4 de 9%.

8.2.2 Exemplo 2

Esta tratava-se de uma rede muito densificada, com vários apartamentos e bastante comércio local como cafés, mercearias, ourivesarias, retrosarias e clínicas médicas. Existiam vários apartamentos com um coletor solar térmico e ainda painéis solares.

Pré-planeamento

Através do SITRD isolamos o mapa da rede que vamos analisar assim como todos os elementos adjacentes à mesma, que constam na Figura 83. Figuras completas podem ser observadas nos Anexos I e J (algumas referências foram anonimizadas).

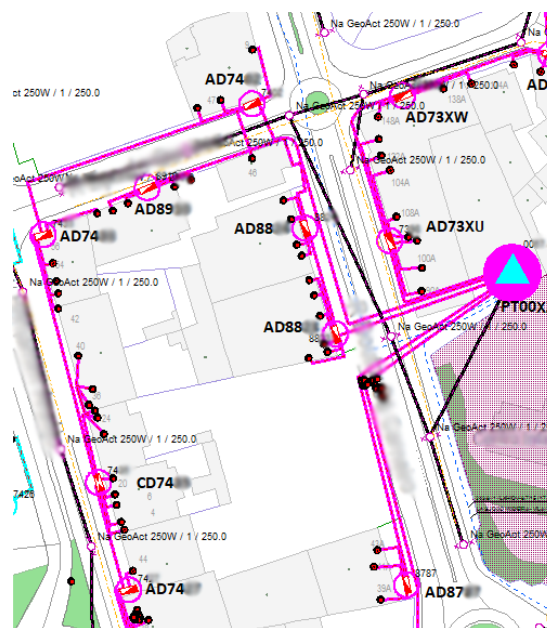


Figura 83 - Mapa da rede 2

Observando a OT, que se encontra no Anexo K, é possível concluir que todos os indicadores estão a zeros, logo não existe qualquer comunicação. A disponibilidade média está a 0%, assim como a percentagem de leituras e a disponibilidade em todos os quadrantes.

No *Google Maps*, como podemos observar no Anexo L, esta é uma zona comercial onde existem bastante mais instalações potencialmente problemáticas. No mesmo edifício onde se encontra o PTD está também instalado um painel fotovoltaico e um coletor solar térmico. Existem ainda várias ourivesarias que possuem UPSs e centrais de segurança e deteção de incêndios. Também alimentado pelo mesmo PTD do outro lado da rua existe uma clínica médica que possui vários tipos de equipamento médico como máquinas de radiografia, assim como UPSs e centrais de segurança e deteção de incêndios.

Análise no terreno

A análise no terreno teve início dentro do PTD 00XZ, onde se começou por ligar o analisador de espectro aos terminais do DTC, e como podemos observar na Figura 84, verificou-se desde logo que não existia sinal PLC Prime, mas que existia ruído moderado na gama dos 55 kHz com um pico de cerca de 75 dB μ V. De relembrar que o ruído existente na gama dos 27.5 kHz em princípio não é prejudicial para a comunicação PLC Prime porque se encontra fora do espectro de comunicação da mesma (40 kHz aos 90 kHz).

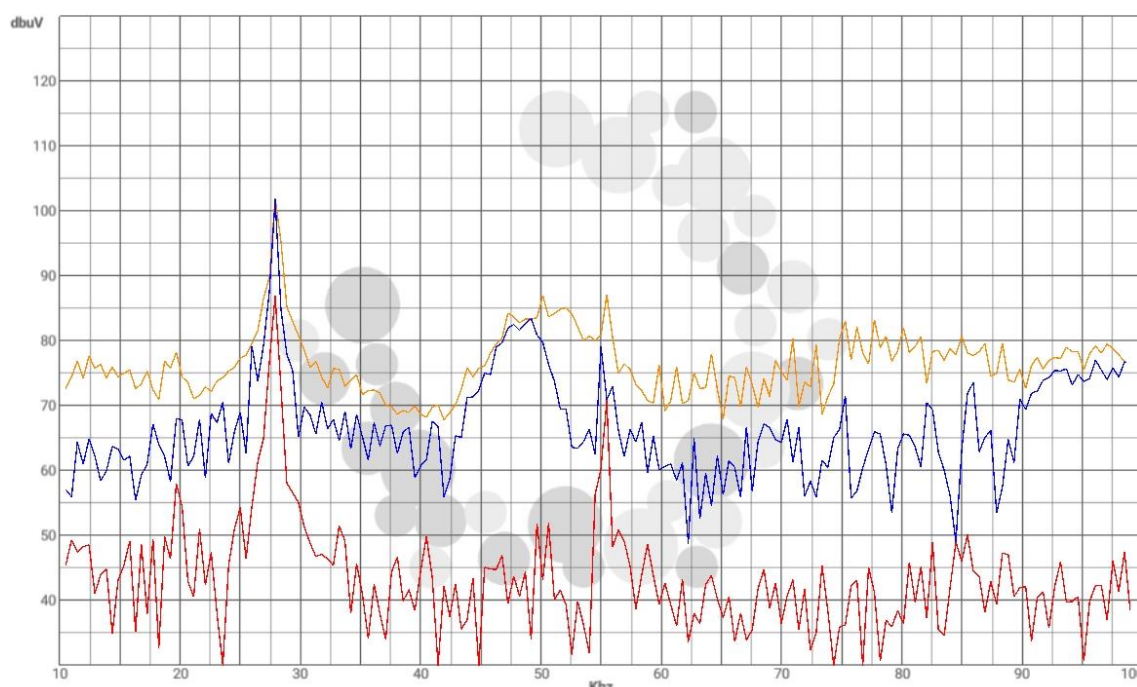


Figura 84 - Espectro de frequências aos terminais do DTC do PTD 00XZ

Em primeiro lugar procedeu-se ao reaperto das ligações tanto nos terminais do DTC como na régua de bornes, porém o nível de sinal não melhorou. Então realizou-se um *reset* ao DTC - porém também não resultou numa melhoria de sinal. Logo concluiu-se que o problema da falta de sinal PLC Prime se devia a uma avaria de equipamento da parte do DTC, o qual foi prontamente substituído.

No que toca ao ruído começou-se por ver se este era proveniente do interior do PTD. Foram então desligados todos os equipamentos um a um como modem, router, URR e DTC, mas o ruído manteve-se.

Ainda dentro do PTD e com a ajuda do analisador de espectro, verificou-se em qual das diferentes saídas do QGBT (ramais) e em qual das diferentes fases, a amplitude do ruído era superior, de forma a identificar qual das saídas se deveria analisar primeiro – observou-se que o AD 73XU registava valores de ruído ligeiramente superiores.

Começou-se então no AD 73XU que registava na fase 2 os valores mais elevados de ruído na banda dos 55 kHz, um valor de 98 dBμV, onde anteriormente dentro do PTD estava nos 75 dBμV, ou seja, um aumento de 23 dB, como é possível observar na Figura 85.

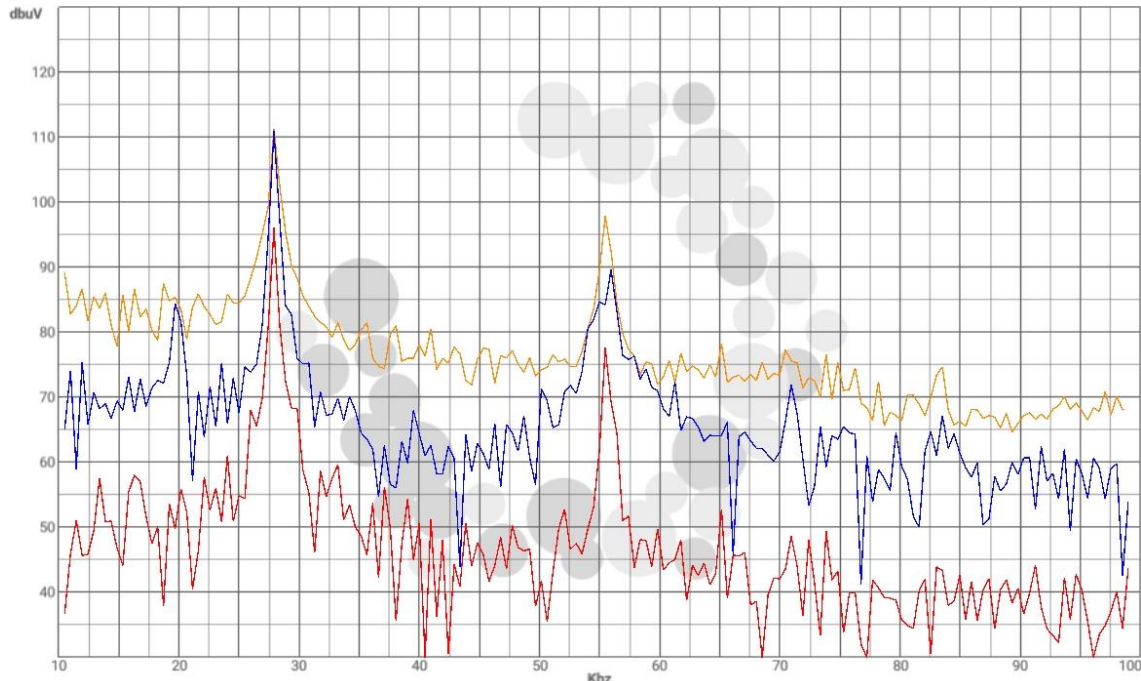


Figura 85 - Espectro de frequências do AD 73XU

Porém, o AD 72XU alimentava todo o edifício e ainda o AD 73XW, onde se foi verificar de seguida para saber se o ruído estava mais a jusante. Ao fazer a medição no AD 73XW o pico de ruído era inferior, o que significava afastar-se da fonte de ruído, indicando que a fonte de ruído estaria a montante.

Novamente no AD 72XU analisou-se em qual das saídas o valor do ruído era superior e verificou-se que a saída da loja de tecidos possuía ruído um pouco mais elevado em relação às outras saídas. Para confirmar que esta era a instalação que produzia o ruído, foi solicitado que se fizesse a desligação da mesma durante alguns segundos. Após esta ação o ruído desapareceu, o que nos afirmou que a instalação trifásica, alimentada pelo AD 72XU, que era uma loja de tecidos com uma potência contratada de 20.7 kVA, era a responsável pela produção de ruído presente nesta rede.

Ao calcular a corrente desta instalação:

$$I_{Sinst} = \frac{S_{inst}}{\sqrt{3} \times 400} \Leftrightarrow I_{Sinst} = \frac{20.7 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \Leftrightarrow I_{Sinst} \cong 30 \text{ A}$$

Arredondando para o valor imediatamente acima de filtro existente, pode-se concluir que para solucionar este problema seriam necessários três filtros de 40 A.



Figura 86 - Instalação dos três filtros de 40 A na loja de tecidos

Após instalados os três filtros de 40 A, como mostra a Figura 86, foi novamente medido o sinal com o analisador de espectro, o qual mostrou um sinal PLC Prime com melhor qualidade e com uma potência a chegar aos 100 dBuV e livre de ruído, como se mostra na Figura 87.

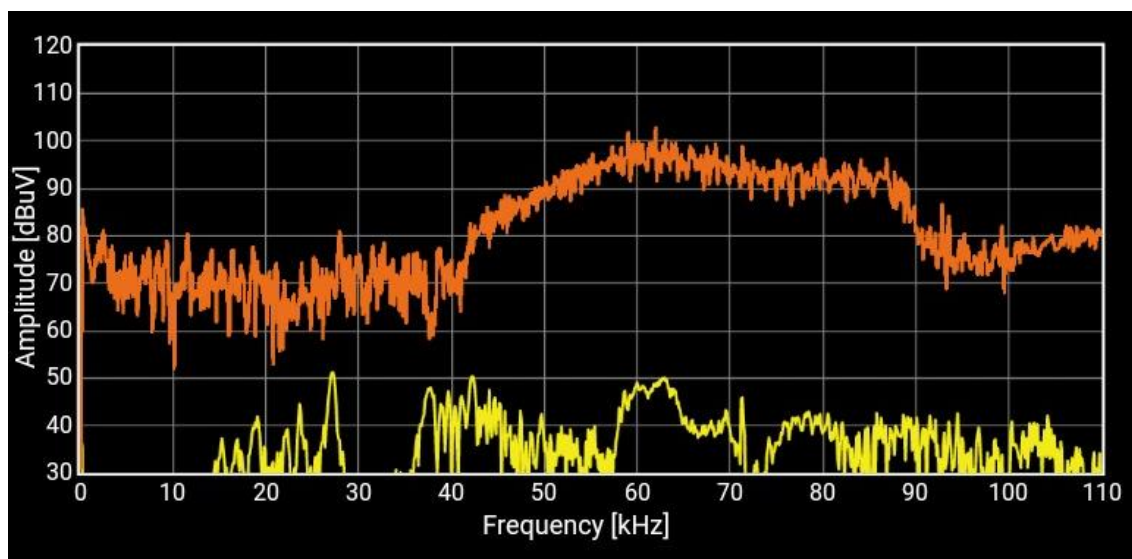


Figura 87 - Espectro de frequências da instalação com ruído após montagem dos filtros na loja de tecidos

Foi também retirada novamente a OT que possui os novos indicadores de qualidade que constam no Anexo M, podendo-se concluir que as comunicações desta rede melhoraram significativamente, passando a ter uma disponibilidade média de 68.23%, uma percentagem de leitura de 73.48% e ainda a disponibilidade em todos os quadrantes do dia passou a ser superior a 67%.

9. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste projeto do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica em colaboração com a E-redes permitiu um contacto próximo com a rede de distribuição de energia elétrica e o desenvolvimento de conhecimento nesta área.

A motivação para este projeto surgiu da necessidade de apoiar a integração EMI em rede inteligente através do estudo, deteção e correção dos problemas de ruído existentes na rede e que limitam fortemente as comunicações.

A primeira parte do projeto consistiu em estudar a infraestrutura da rede necessária para desenvolver o projeto. Neste relatório, foi feita inicialmente uma breve exposição da estrutura da rede elétrica de baixa-tensão, bem como de vários conceitos associados. Foram ainda apresentados vários conceitos relativos às redes elétricas inteligentes e *smart metering*.

Após o seu estudo, foi feito um breve resumo das várias opções de tecnologias de comunicação existentes assim como os motivos que levaram à escolha do PLC Prime por parte da E-Redes e ainda foi apresentado com algum detalhe o funcionamento da tecnologia de comunicação principal na E-Redes, PLC Prime.

Através do contacto com as equipas de projeto e de campo da E-Redes, foi apreendido e exposto o tema das várias anomalias que impedem a comunicação PLC Prime, assim como os equipamentos utilizados para solucionar esses problemas, com especial foco nos filtros de ruído.

Por fim, e de forma a dar resposta ao objetivo principal deste trabalho, foi apresentada a metodologia utilizada pela E-Redes para a análise e resolução de problemas que possam existir na comunicação PLC Prime. Esta metodologia foi bem-sucedida, tendo sido aplicada em dois exemplos reais na rede de distribuição, os quais ficaram solucionados.

Para apoiar as ações de campo, foi desenvolvido um protótipo de rede numa bancada de testes. Usando esta bancada foram simulados alguns tipos de ruído produzido por equipamentos de consumo, para analisar qual seria o comportamento de cada sinal PLC Prime corrompido quando corrigido por vários tipos de filtros. Através destes testes verificou-se que os filtros de fase seccionada com ligação de neutro, com indutância em série e capacidade em paralelo, são os mais adequados quer para ruídos de baixa intensidade, quer para ruídos de alta intensidade.

Em termos de trabalho futuro pode-se propor uma caracterização mais detalhada e a simulação de várias outras fontes de ruído, assim como o estudo de outros problemas como a atenuação, assim como o teste com novos filtros PLC Prime.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E-Redes, “Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público”, 2021. [Online]. Disponível em: https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2021-09/Manual%20de%20ligac%C3%A7%C3%A3o%20Rede%202021_10%20edi%C3%A7%C3%A3o.pdf. [Acedido em março 2022].
- [2] EEM, “Postos de transformação”, [Online]. Disponível em: <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-eletrico/distribuicao/postos-de-transformacao>. [Acedido em março 2022].
- [3] E-Redes, “DNT-C62-802/N Materiais para derivações e entradas BT - Armários para Ligações Eventuais”, setembro 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2021-09/DNT-C62-802.pdf>. [Acedido em março 2022].
- [4] E-Redes, “DIT-C14-100/N Derivações e baixadas - Ligação de clientes de Baixa Tensão – Soluções técnicas normalizadas”, abril 2021. [Online]. Disponível em: https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2021-04/DIT-C14-100_1.pdf. [Acedido em março 2022].
- [5] E-Redes, “DMA-C62-807/N Material para derivações e entradas BT - Portinholas de baixa tensão”, agosto 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2021-08/DMA-C62-807.pdf>. [Acedido em março 2022].
- [6] E-Redes, “DIT-C14-140/N Centralização de contagens em edifícios – Regras para a conceção dos quadros ou painéis de contagem”, dezembro 2004. [Online]. Disponível em: <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-10/DIT-C14-140.pdf>. [Acedido em março 2022].
- [7] Landys+Gyr. Disponível em: <https://www.landisgyr.com>. [Acedido em março 2022].
- [8] de Oliveira Gomes, L. F. (2020). Perceção do consumidor final de energia sobre redes inteligentes e a sua participação ativa. [Acedido em março 2022].
- [9] Mota, A. C. (2013). Redes Energéticas Inteligentes–Gestão eficiente da procura (Doctoral dissertation). [Acedido em março 2022].
- [10] Moreno, N. D. A. (2013). Smart grids: primeiros desafios regulatórios (Doctoral dissertation, Universidade de Coimbra). [Acedido em março 2022].
- [11] Esquema de uma Smart Grid. Disponível em: <http://blog.minhacasasolar.com.br/wp-content/uploads/2019/05/Esquema-de-uma-Smart-Grid.jpg>. [Acedido em março 2022].
- [12] da Silva, M. (2011). Smart Grids em Portugal-Plano de Negócio para Serviço de Planeamento e Gestão Remota de Consumos Eléctricos. M. Eng. thesis, discussed on July. [Acedido em março 2022].

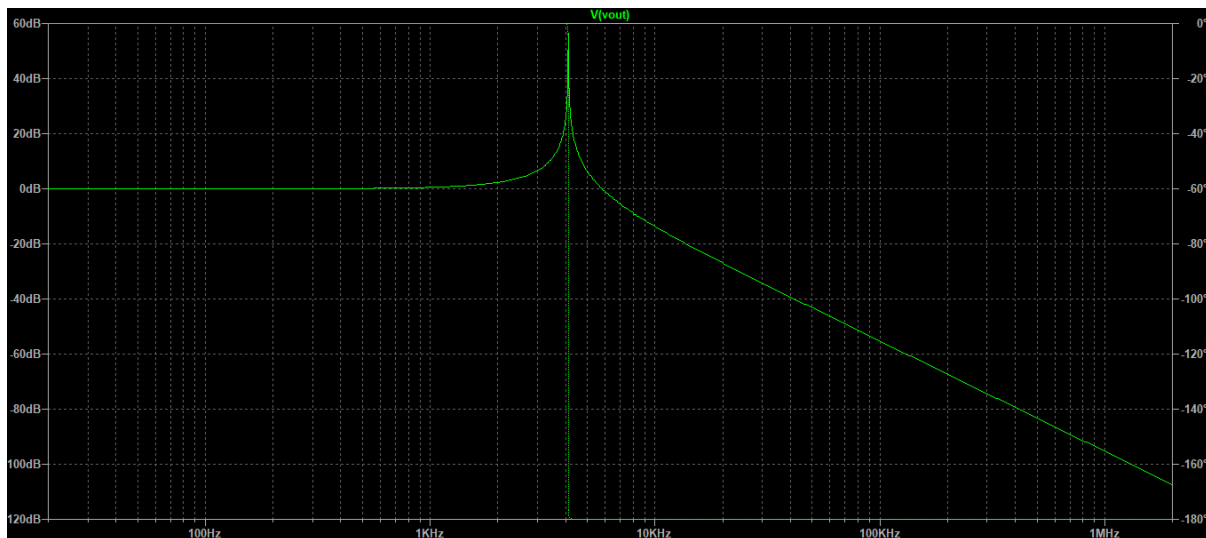
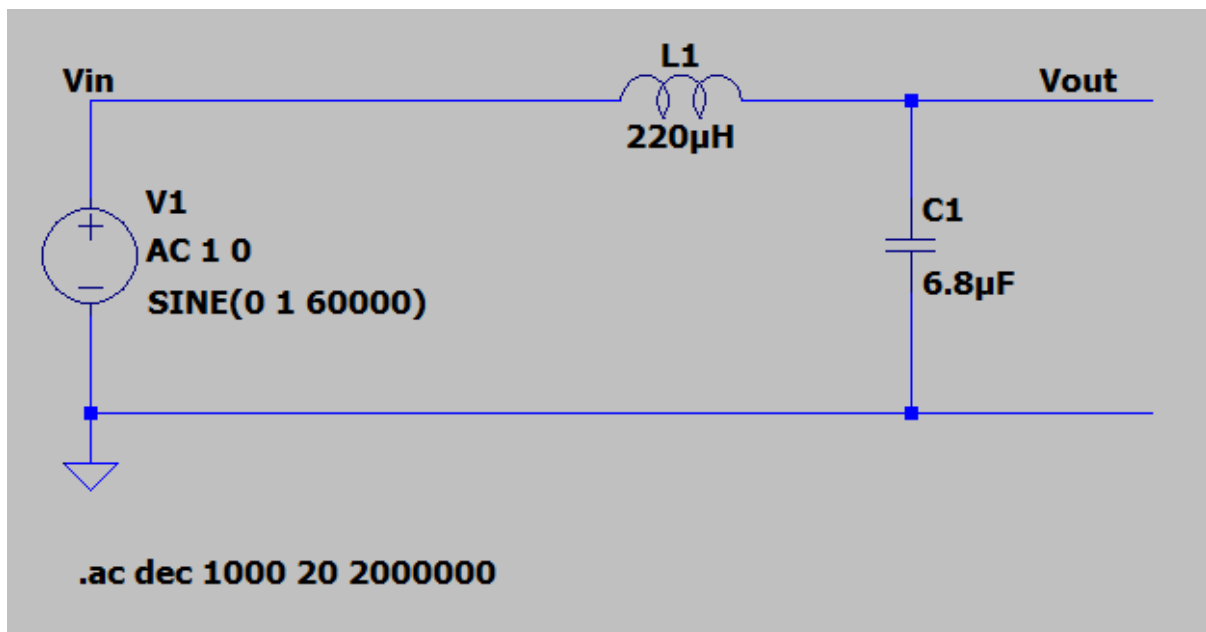
- [13] E-Redes, “Automação, proteção, comando, controlo e comunicações - Controlador de Transformador de Distribuição (Distribution Transformer Controller – DTC) para instalação em Postos de Transformação MT/BT”, julho 2020. [Online]. Disponível em: <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2020-07/DEF-C98-405.pdf>. [Acedido em março 2022].
- [14] ZIV. Disponível em: <https://www.zivautomation.com/products/metering-ami/prime-plc-smart-meter/>. [Acedido em março 2022].
- [15] Itron. Disponível em: <https://www.itron.com/pt/solutions/product-catalog/ace6000>. [Acedido em março 2022].
- [16] VirtualAccess. Disponível em: <https://virtualaccess.com/industrial-routers/>. [Acedido em março 2022].
- [17] Kema, “Estudo sobre contadores inteligentes”, fevereiro 2012. [Online]. Disponível em: https://www.erse.pt/media/0eqaj3uk/relat%C3%B3rio-2e_g_experi%C3%A2ncia-de-outros-pa%C3%ADses_kema.pdf. [Acedido em maio 2022].
- [18] Dynasys. Disponível em: <http://www.dynasys.pt/folhetos/114300005C-ModemGSMGPRS-PT.pdf>. [Acedido em maio 2022].
- [19] Martin Jaatun, Inger Tøndel, Geir Køien. GPRS Security for Smart Meters. 1st Cross-Domain Conference and Workshop on Availability, Reliability, and Security in Information Systems (CDARES), Sep 2013, Regensburg, Germany.
- [20] Gómez Miguel, D. (2018). Métodos para la lectura de contadores de energía eléctrica en la red de BT. Análisis particular del empleo de PLC. [Acedido em maio 2022].
- [21] Machado, A. R. C. (2018). Serviços e operações das redes inteligentes: Inovgrid-qualidade e desempenho: estágio na EDP Distribuição (Master dissertation). [Acedido em maio 2022].
- [22] Banda de rádio ISM. Stringfixer. Disponível em: https://stringfixer.com/pt/ISM_bands. [Acedido em maio 2022].
- [23] Lichtensteiger, B., Bjelajac, B., Müller, C., & Wietfeld, C. (2010, October). RF mesh systems for smart metering: System architecture and performance. In 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (pp. 379-384). IEEE.
- [24] Jones, K., & Aslanidis, C. (2009). DCSK technology vs. OFDM concepts for PLC smart metering. Renesas, March, 14. [Acedido em maio 2022].
- [25] Yitran Technologies. Disponível em: <https://yitran.com/technology/dcsk-modulation/>. [Acedido em maio 2022].

- [26] Prime Alliance, “PRIME v1.4 White Paper”, 2008. [Online]. Disponível em: https://www.prime-alliance.org/wp-content/uploads/2020/04/whitePaperPrimeV1p4_final.pdf. [Acedido em março 2022].
- [27] Augusto, R. S. (2013). Simulação de comunicações baseadas em Power Line Communication (PLC) para Smart Grids (Master dissertation). [Acedido em maio 2022].
- [28] CENELEC EN 50065-1. Signalling on low-voltage installations in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz – Part 1: general requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances; 2011.
- [29] G3-PLC Alliance, “G3-PLC User Guidelines”, 2020. [Online]. Disponível em: https://g3-plc.com/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd_category_id=111&wpfd_file_id=2499&token=&preview=1
- [30] Prime Alliance, “Specification for PowerLine Intelligent Metering Evolution”, 2008. [Online]. Disponível em: https://www.prime-alliance.org/wp-content/uploads/2021/12/PRIME-Spec_v1.420210914.pdf. [Acedido em março 2022].
- [31] Moreira A. J. C., “Alguns aspectos que condicionam o desempenho dos sistemas de transmissão”, 1999. [Online]. Disponível em: <http://www3.dsi.uminho.pt/adriano/Teaching/Comum/FactDegrad.html#:~:text=Ru%C3%ADdo,pelo%20pr%C3%B3prio%20sistemas%20de%20transmiss%C3%A3o>. [Acedido em março 2022].
- [32] Yousuf, M. S., & El-Shafei, M. (2007). Power line communications: an overview-part I. 2007 Innovations in Information Technologies ingIIIT), 218-222.
- [33] Bernacki, K., Wybrańczyk, D., Zygmanski, M., Latko, A., Michalak, J., & Rymarski, Z. (2019). Disturbance and signal filter for power line communication. *Electronics*, 8(4), 378.
- [34] Filtro PLC Prime trifásico Edigal. Disponível em: <https://www.edisongalicia.es/servicios/smart-grid/equipamiento-distribuidoras-electricas-smart-grid/ruidos-plc-samrt-grid/filtros-plc-2/trifasico-80a/>. [Acedido em março 2022].
- [35] Filtro PLC Prime monofásico Premo. Disponível em: <https://www.grupopremo.com/en/bf-series-plc-blocking-filters-single-phase-/1951-bf-40-bf-40-mm.html>. [Acedido em março 2022].
- [36] Filtro PLC Prime monofásico Edigal. Disponível em: <https://www.edisongalicia.es/servicios/smart-grid/equipamiento-distribuidoras-electricas-smart-grid/ruidos-plc-samrt-grid/filtros-plc-2/monofasicos-40a/>. [Acedido em março 2022].

- [37] Filtro PLC Prime monofásico Premo. Disponível em: <https://www.grupopremo.com/en/bf-series-plc-blocking-filters-single-phase-/1949-bf-40-bf-40-mm.html>. [Acedido em março 2022].
- [38] Repetidor sinal PLC Prime Circutor. Disponível em: <https://circutor.com/pt-pt/produtos/medicao/gestao-remota-prime/repetidor-para-a-amplificacao-do-sinal-plc-para-o-sistema-prime/product/QM4011/>. [Acedido em março 2022].
- [39] Fernandez, I., Uribe-Pérez, N., Eizmendi, I., Angulo, I., de la Vega, D., Arrinda, A., & Arzuaga, T. (2019). Characterization of non-intentional emissions from distributed energy resources up to 500 kHz: A case study in Spain. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 549-563.
- [40] Rego, J. P. D. (2017). Cadastro de redes de distribuição em baixa tensão e projeto de substituição de condutores nus por cabos de torçada (Master dissertation).
- [41] Analisador de espectro EnerVIZOR PLT-M1501. Disponível em: <https://www.enervizor.com/powerline-tester-plt-m1501>. [Acedido em outubro 2022].
- [42] Analisador de espectro EnerVIZOR PLT-M1501. Disponível em: https://www.enervizor.com/_files/ugd/903712_bc17d5a34d6a4b46abc5f4d6d0e3eecd.pdf?index=true. [Acedido em outubro 2022].

ANEXOS

Anexo A – Exemplo da resposta em frequência de um filtro LC feito em LTSpice



Anexo B – Exemplo de um filtro PLC Prime com potencial de aplicação (retirado de [37])

2- Electrical parameters

2.1- Technical specifications

RATED VOLTAGE MAXIMUM (Phase to Phase)	275 Vac
CLIMATIC CATEGORY	HMF, -25 to +100 °C (DIN 40040)
RATED FREQUENCY	50/60 Hz
RATED CURRENT	40 A @ 40°C
INSERTION LOSSES (Differential Mode, 50-50 Ohm connection)	> 40 dB @ 40-90 kHz > 60 dB @ 90-500 kHz
POWER LOSSES	6 W @40 A, 25 °C

2.2- Parameters tested

DIELECTRIC STRENGTH	
L to N *	250 Vdc, 30 mA, 10 seconds
L1/L2/L3 to N (Without surge protection)	1000 Vdc, 30 mA, 2 seconds
L to Housing *	2100 Vac, 30 mA, 10 seconds
LOAD TEST ⁽¹⁾	48 A (40 x 1.2), 220-250 Vac, 5 minutes
INDUCTANCE (L'-L)	22 µH -20%/+30%
CAPACITANCE (L-N/L'-N)	20 µF ±20%

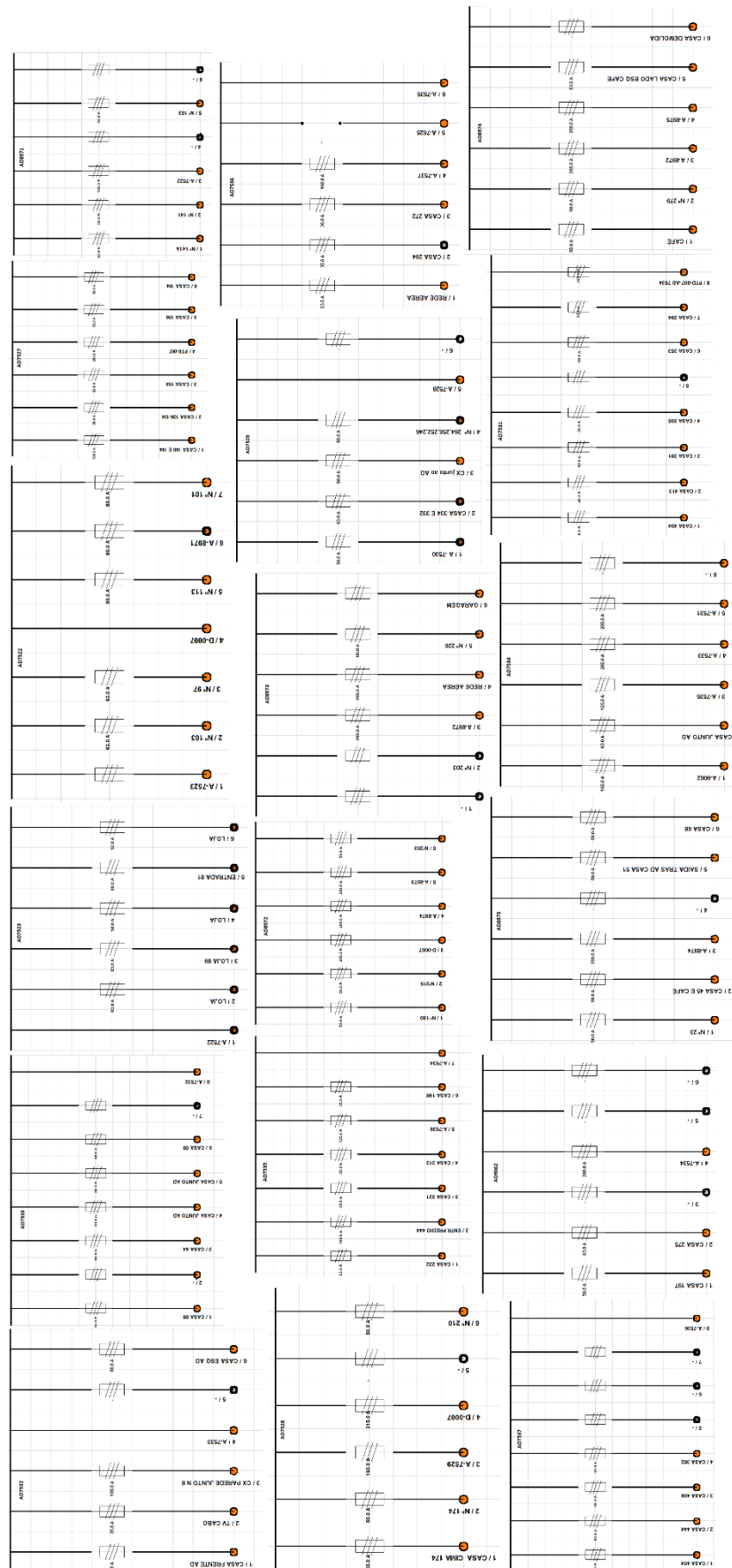
Anexo C – Características técnicas do analisador de espectro EnerVIZOR PLT M1501 (retirado de [42])

Characteristics

- One phase measurement and testing of physical level of PLC communication
- designed for G3-PLC or PRIME communication technology (within Cenelec A-band) and FCC band performing spectral analysis in either 20kHz-120kHz or 20kHz-500kHz (option) frequency bands
- a web browser is used for data monitoring and data logging operations which runs on a PC or any mobile device
- time based roll-oscilloscope analysis (option) available for much easier immediate transmit/receive PLC signal recognition
- data logging made inside the device through a triggering mechanism either on-demand or based on a timer
- data logs done in csv or animated gif format at configurable time intervals either on-board as data logger (no supervision required) or as in-browser downloading for further off-line data analysis
- Data recording is done on an 8GB or (optionally) 32GB flash memory which is enough for over 400 thousand (8GB) or 1.5 million (32GB) stored spectrum frames
- PC-based “Offline PLT Viewer” SW for analyzing recorded data is included with the device enabling 3D heatmap analysis and animated gif creation of multiple records at the same time
- remote operation via LTE modem enabling operation from the office
- used for specific outdoor and high voltage environment
- solid construction and design with ABS plastic enclosure in robust rubber
- dimensions: 29cm x 20cm x 6cm
- power related issues:
 - 230V AC LINE input voltage, power supply included
 - Embedded rechargeable Li-Ion battery
 - over 6h standalone battery operation
- communication capabilities:
 - WiFi operating in access point mode
 - LTE USB modem option enabling remote device access from the office - via a self established VPN connection (modem can be provided)
- FPGA signal processor based processing unit with the following accessible interfaces:
 - 1 USB port (USB OTG) which is used for either WiFi dongle or LTE modem
 - Ethernet 1Gb/s – RJ-45 connector
- Galvanic decoupling and 20kHz-110kHz/500kHz bandpass filter unit (inside the device)
- Li-Po battery pack with 10Ah capacity
- Measurement connection cables at front of device
- Four 2m Measurement cables
- Four 4mm connectors of type PJP CAT IV-300V compatible for any kind of probe attachment
- ON/OFF switch with LED indicator
- 4 LED battery charge indicator with button



Anexo E – Elementos da rede 1



Anexo F – Ordem de trabalho pré-análise da rede 1

N.Série E.B.	Endereço	DISP MED	% leitura	DISP Q1	DISP Q2	DISP Q3	DISP Q4	RCH	RD	Nome PT	Trafo
JCE1415980***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE0013391***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		72.37%	0.00%	90.48%	90.00%	83.33%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1362004***		9.21%	0.00%	14.29%	5.00%	5.56%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921750***		5.26%	0.00%	14.29%	0.00%	0.00%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		39.47%	46.20%	42.86%	25.00%	72.22%	17.65%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		47.37%	46.20%	57.14%	30.00%	72.22%	29.41%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		43.42%	0.00%	52.38%	25.00%	72.22%	23.53%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		46.05%	0.00%	57.14%	25.00%	66.67%	35.29%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921749***		53.95%	92.30%	61.90%	40.00%	72.22%	41.18%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1821550***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		48.68%	61.50%	57.14%	50.00%	38.89%	47.06%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		23.68%	0.00%	14.29%	5.00%	61.11%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1550028***		23.68%	0.00%	23.81%	5.00%	50.00%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		69.74%	0.00%	61.90%	75.00%	72.22%	70.59%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450115***		43.42%	0.00%	61.90%	20.00%	50.00%	41.18%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		50.00%	61.50%	61.90%	30.00%	72.22%	35.29%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
ZIV1647196***		36.84%	0.00%	33.33%	5.00%	72.22%	41.18%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		57.89%	46.20%	71.43%	35.00%	72.22%	52.94%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		76.32%	0.00%	80.95%	55.00%	94.44%	76.47%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		27.63%	0.00%	52.38%	25.00%	16.67%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1516963***		9.21%	0.00%	4.76%	5.00%	16.67%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1720302***		34.21%	53.80%	28.57%	35.00%	44.44%	29.41%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		17.11%	0.00%	14.29%	20.00%	33.33%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1720336***		9.21%	46.20%	9.52%	10.00%	11.11%	5.88%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		13.16%	0.00%	9.52%	10.00%	16.67%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		6.58%	0.00%	9.52%	0.00%	16.67%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		17.11%	0.00%	14.29%	15.00%	22.22%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415978***		38.16%	0.00%	42.86%	25.00%	44.44%	41.18%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		5.26%	0.00%	9.52%	5.00%	5.56%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		9.21%	0.00%	9.52%	5.00%	11.11%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		19.74%	0.00%	23.81%	10.00%	38.89%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1750179***		9.21%	0.00%	9.52%	5.00%	5.56%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		5.26%	0.00%	0.00%	15.00%	5.56%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		19.74%	0.00%	23.81%	20.00%	22.22%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		21.05%	0.00%	23.81%	10.00%	33.33%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1516973***		7.89%	0.00%	0.00%	15.00%	16.67%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1762011***		1.32%	0.00%	0.00%	5.00%	0.00%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		1.32%	0.00%	0.00%	5.00%	0.00%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
ZIV1747259***		68.42%	53.80%	90.48%	75.00%	77.78%	23.53%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ0050571***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		65.79%	53.80%	90.48%	65.00%	77.78%	23.53%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
ZIV1747259***		69.74%	46.20%	100.00%	70.00%	72.22%	29.41%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		19.74%	0.00%	28.57%	10.00%	16.67%	23.53%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		10.53%	0.00%	19.05%	5.00%	16.67%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		11.84%	0.00%	14.29%	10.00%	11.11%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		9.21%	0.00%	14.29%	5.00%	16.67%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		14.47%	0.00%	19.05%	10.00%	16.67%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		17.11%	23.10%	23.81%	5.00%	22.22%	17.65%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1662085***		47.37%	0.00%	61.90%	40.00%	61.11%	23.53%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		27.63%	0.00%	28.57%	20.00%	38.89%	23.53%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1750186***		11.84%	0.00%	19.05%	10.00%	11.11%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		17.11%	0.00%	23.81%	10.00%	16.67%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
KFM1901051***		9.21%	0.00%	19.05%	5.00%	0.00%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		7.89%	0.00%	9.52%	10.00%	0.00%	11.76%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		10.53%	0.00%	14.29%	10.00%	16.67%	0.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350100***		5.26%	0.00%	9.52%	5.00%	0.00%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921749***		9.21%	0.00%	14.29%	10.00%	5.56%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1821722***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		9.21%	0.00%	23.81%	0.00%	5.56%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		17.11%	0.00%	23.81%	10.00%	16.67%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		1.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921750***		18.42%	0.00%	28.57%	5.00%	22.22%	17.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		9.21%	0.00%	9.52%	5.00%	16.67%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1516963***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		14.47%	0.00%	9.52%	15.00%	27.78%	5.88%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1

Confidencial

Anexo G – Google Maps da rede 1

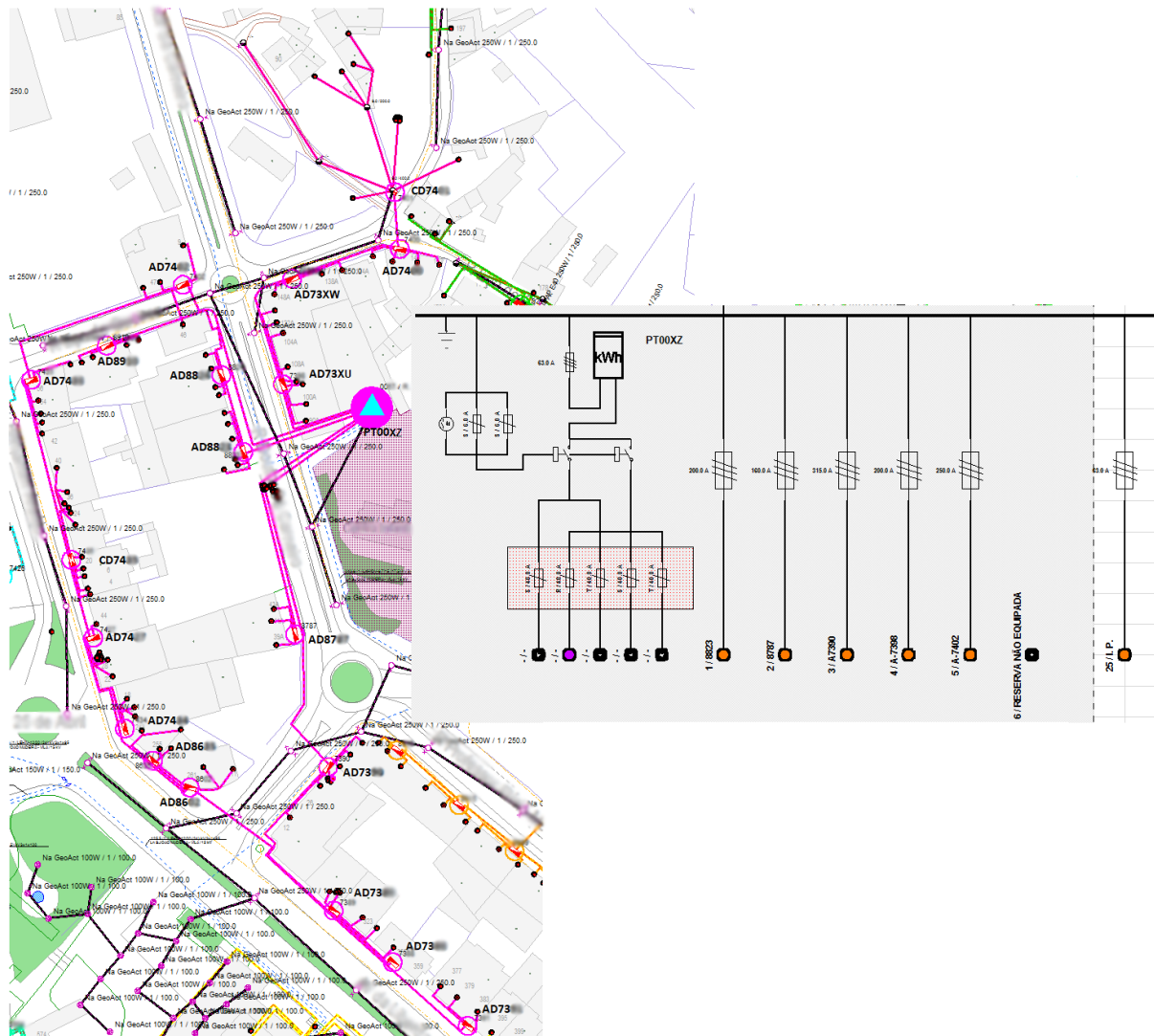


Anexo H - Ordem de trabalho pós-análise da rede 1

N.Série E.B.	Endereço	DISP MED	% leitura	DISP Q1	DISP Q2	DISP Q3	DISP Q4	RCH	RD	Nome PT	Trafo
JCE1415980***		84.40%	85.47%	85.47%	95.45%	73.59%	83.09%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		87.00%	73.99%	78.44%	85.96%	98.84%	84.75%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		91.01%	100.00%	98.20%	97.75%	84.65%	83.43%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE0013391***		89.60%	75.48%	99.08%	85.46%	98.31%	75.57%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		92.20%	85.47%	88.94%	94.61%	100.00%	85.24%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		93.07%	89.30%	100.00%	96.27%	100.00%	76.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1362004***		86.36%	100.00%	81.59%	79.35%	100.00%	84.51%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921750***		76.95%	100.00%	71.22%	64.87%	96.45%	75.24%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		94.97%	66.67%	87.54%	94.78%	100.00%	97.55%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		79.54%	85.74%	85.27%	87.54%	58.92%	86.45%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		83.48%	100.00%	85.64%	84.61%	83.28%	80.39%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		90.77%	93.66%	85.45%	84.65%	98.76%	94.23%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		91.31%	100.00%	100.00%	89.46%	91.44%	84.33%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		80.30%	100.00%	94.11%	57.66%	90.87%	78.54%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921749***		86.71%	89.61%	84.65%	80.18%	87.41%	94.61%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1821550***		89.57%	100.00%	76.50%	98.61%	88.51%	94.66%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		85.91%	100.00%	88.88%	94.16%	75.38%	85.23%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		88.91%	100.00%	89.51%	71.69%	97.98%	96.46%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1550028***		78.20%	87.66%	100.00%	25.39%	87.41%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		81.05%	100.00%	87.45%	59.12%	82.82%	94.83%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450115***		88.78%	100.00%	84.94%	97.32%	94.34%	78.53%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		78.70%	87.86%	75.28%	75.68%	66.79%	97.06%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
ZIV1647196***		95.06%	81.56%	95.62%	84.61%	100.00%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		90.85%	75.48%	84.89%	91.50%	100.00%	87.01%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		96.13%	99.23%	100.00%	100.00%	84.51%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		82.63%	100.00%	89.45%	94.64%	96.54%	49.89%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		73.37%	100.00%	52.58%	82.30%	100.00%	58.60%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1516963***		96.33%	100.00%	100.00%	98.76%	94.63%	91.94%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1720302***		90.19%	87.68%	84.59%	100.00%	76.15%	100.00%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		83.18%	78.25%	86.54%	82.22%	85.43%	78.53%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1720336***		88.29%	100.00%	82.59%	90.13%	91.00%	89.43%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		93.19%	82.22%	100.00%	97.44%	83.98%	91.32%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		92.04%	65.18%	94.84%	100.00%	97.89%	75.42%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		86.63%	100.00%	94.66%	57.21%	94.64%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		92.45%	87.67%	90.94%	99.15%	98.46%	81.24%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		95.07%	74.12%	100.00%	89.76%	95.66%	94.84%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415978***		92.14%	74.85%	84.62%	87.54%	96.39%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		90.16%	53.19%	99.84%	94.87%	72.86%	93.08%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		75.53%	100.00%	85.43%	84.56%	61.85%	70.28%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350105***		94.58%	72.97%	89.75%	98.76%	94.35%	95.44%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		91.39%	100.00%	85.55%	87.68%	97.66%	94.65%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1750179***		97.24%	100.00%	91.11%	100.00%	97.86%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		92.15%	100.00%	94.88%	92.25%	100.00%	81.47%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		92.22%	75.48%	94.61%	97.96%	78.93%	97.39%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		92.36%	100.00%	94.64%	95.64%	94.61%	84.53%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		90.03%	75.91%	87.41%	82.58%	98.49%	91.63%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1516973***		83.09%	81.54%	84.47%	95.95%	66.67%	85.27%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		98.12%	100.00%	98.49%	98.54%	100.00%	95.45%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1762011***		88.72%	100.00%	96.65%	73.57%	84.68%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		92.32%	72.34%	89.51%	86.11%	95.80%	97.86%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
ZIV1747259***		84.03%	100.00%	84.98%	79.86%	94.41%	76.85%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ0050571***		81.56%	75.48%	88.66%	79.51%	71.26%	86.80%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350108***		84.56%	100.00%	83.30%	87.67%	97.84%	100.00%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
ZIV1747259***		92.32%	100.00%	89.51%	98.75%	95.61%	85.41%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		87.18%	87.45%	98.44%	78.45%	87.57%	84.25%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		85.43%	100.00%	85.47%	85.28%	87.98%	82.99%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		96.05%	58.67%	98.49%	95.66%	90.05%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		89.96%	100.00%	84.92%	88.29%	100.00%	86.64%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		93.82%	98.79%	98.41%	100.00%	86.59%	90.27%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		89.63%	80.24%	85.46%	84.64%	93.86%	94.56%	RE	RB	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1662085***		81.88%	96.40%	92.31%	83.73%	64.59%	86.90%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450103***		88.39%	100.00%	91.56%	86.77%	85.87%	89.37%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1750186***		89.43%	66.49%	97.29%	93.12%	79.68%	87.64%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		82.98%	95.07%	85.46%	75.84%	84.66%	85.94%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
KFM1901051***		87.64%	98.74%	86.84%	84.57%	84.51%	94.65%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		88.84%	71.53%	84.94%	71.59%	100.00%	98.84%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
JCE1415980***		90.08%	78.58%	81.23%	94.66%	100.00%	84.44%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350100***		90.85%	100.00%	94.51%	97.67%	85.24%	85.98%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921749***		89.42%	78.45%	87.54%	85.47%	84.95%	99.73%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1821722***		89.45%	100.00%	98.44%	98.46%	75.64%	85.27%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		313.04%	79.76%	84.44%	984.64%	84.61%	98.48%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		91.39%	87.54%	98.76%	94.86%	84.56%	87.37%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		96.22%	100.00%	100.00%	100.00%	85.26%	99.60%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		89.91%	54.54%	89.44%	84.98%	100.00%	85.22%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1921750***		93.24%	100.00%	83.66%	89.32%	100.00%	100.00%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		83.98%	84.65%	75.86%	87.54%	87.95%	84.56%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		88.59%	100.00%	82.97%	100.00%	84.95%	86.42%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
LGZ1516963***		95.67%	71.59%	85.47%	98.48%	100.00%	98.74%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1350109***		91.11%	54.83%	83.68%	98.46%	82.31%	100.00%	ND	NR	0116D2000700	0116D2000700_1
SAG1450120***		93.23%	100.00%	100.00%	94.99%	87.68%	90.23%	RE	NR	0116D2000700	0116D2000700_1

Confidencial

Anexo I – Mapa da rede 2 (algumas referências foram anonimizadas)





Confidential

Anexo L – Google Maps da rede 2



Anexo M - Ordem de trabalho pós-análise da rede 2

N.Série E.B.	Endereço	DISP MED	% leitura	DISP Q1	DISP Q2	DISP Q3	DISP Q4	RCH	RD	Nome PT	Trafo
LGZ005079***		86.20%	99.99%	100.00%	84.55%	78.98%	81.28%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415978***		88.38%	100.00%	84.83%	85.75%	84.16%	98.79%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		79.49%	100.00%	78.88%	75.27%	78.27%	85.55%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		79.19%	100.00%	77.51%	100.00%	82.72%	56.53%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		81.36%	100.00%	70.78%	85.35%	100.00%	69.30%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1550028***		76.35%	100.00%	64.72%	95.62%	57.77%	87.27%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		64.59%	100.00%	87.57%	50.49%	76.11%	44.20%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		78.54%	100.00%	85.70%	68.86%	59.58%	100.00%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450128***		79.06%	78.66%	87.57%	52.07%	83.57%	93.04%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		82.65%	85.28%	81.23%	87.28%	62.10%	100.00%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		80.17%	100.00%	93.20%	85.85%	55.96%	85.65%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1821501***		94.91%	84.01%	95.57%	100.00%	84.07%	100.00%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		65.88%	100.00%	78.56%	75.31%	30.17%	79.48%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		91.32%	86.64%	98.77%	71.93%	97.27%	97.32%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		88.99%	100.00%	95.10%	97.89%	78.75%	84.20%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		69.41%	99.31%	85.75%	71.37%	53.46%	67.06%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		89.75%	100.00%	100.00%	74.56%	84.45%	100.00%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		85.84%	89.67%	87.57%	94.86%	77.84%	83.11%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		86.08%	100.00%	83.38%	75.39%	100.00%	85.55%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		77.62%	100.00%	61.37%	72.98%	78.57%	97.57%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		79.81%	99.38%	87.57%	88.88%	64.22%	78.57%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450119***		78.97%	100.00%	60.23%	92.80%	85.75%	77.09%	RE	RB	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1362002***		77.26%	100.00%	81.81%	61.57%	78.57%	87.09%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		85.85%	100.00%	85.69%	81.47%	93.67%	82.57%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG2150030***		84.94%	83.80%	75.75%	88.63%	100.00%	75.39%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1821399***		77.32%	95.75%	56.84%	83.70%	97.28%	71.46%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450119***		72.34%	85.23%	38.54%	63.28%	100.00%	87.55%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1922239***		89.23%	87.55%	86.13%	100.00%	87.57%	83.21%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1550028***		91.57%	81.32%	80.93%	87.77%	98.79%	98.79%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315897***		92.71%	100.00%	87.57%	98.78%	87.97%	96.52%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1362003***		77.14%	100.00%	96.20%	65.07%	59.73%	87.55%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		79.33%	100.00%	80.44%	70.83%	97.15%	68.88%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450115***		80.53%	100.00%	52.42%	82.58%	100.00%	87.12%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450115***		74.01%	100.00%	75.75%	97.77%	36.77%	85.75%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450131***		78.16%	80.23%	73.73%	81.59%	78.57%	78.76%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		76.74%	80.24%	59.57%	87.54%	59.85%	100.00%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		88.74%	95.13%	100.00%	100.00%	76.38%	78.57%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1721118***		83.79%	100.00%	85.55%	99.29%	83.60%	66.74%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		82.69%	82.46%	82.40%	89.79%	60.00%	98.55%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415980***		92.72%	100.00%	100.00%	85.42%	100.00%	85.44%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1721118***		77.06%	85.57%	85.66%	97.53%	36.25%	88.79%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1821483***		85.89%	100.00%	89.12%	85.88%	78.57%	89.99%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		94.04%	99.12%	89.82%	98.77%	100.00%	87.57%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1721118***		78.77%	96.68%	100.00%	97.88%	36.00%	81.21%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315897***		80.89%	100.00%	68.54%	78.57%	87.57%	88.88%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		85.29%	85.75%	81.11%	97.55%	76.77%	85.75%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450119***		70.86%	100.00%	87.57%	74.85%	22.22%	98.79%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		79.98%	99.99%	74.33%	100.00%	60.12%	85.47%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		72.70%	87.45%	85.79%	60.98%	67.67%	76.35%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		77.56%	70.10%	87.44%	71.29%	86.78%	64.75%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		74.04%	84.55%	100.00%	81.98%	19.22%	94.95%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		83.14%	78.59%	87.56%	78.57%	67.68%	98.75%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1550028***		91.20%	78.56%	87.57%	78.98%	99.46%	98.79%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450131***		88.01%	86.43%	78.57%	90.23%	85.67%	97.55%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450120***		77.99%	100.00%	87.57%	68.45%	84.53%	71.42%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1550028***		80.25%	85.75%	56.32%	97.75%	80.27%	86.67%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1550028***		88.40%	85.47%	99.71%	96.02%	76.76%	81.13%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450131***		87.35%	86.66%	100.00%	89.51%	81.31%	78.57%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		87.41%	81.78%	87.57%	83.66%	78.96%	99.47%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415978***		88.20%	100.00%	100.00%	68.28%	85.75%	98.75%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		92.42%	83.46%	87.57%	97.57%	85.74%	98.79%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		86.20%	82.17%	79.28%	87.57%	98.79%	79.15%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		78.89%	100.00%	85.57%	75.89%	78.75%	75.33%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		85.69%	100.00%	85.55%	67.25%	100.00%	89.97%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		79.42%	100.00%	68.37%	97.55%	78.18%	73.57%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315899***		89.87%	100.00%	88.83%	94.86%	97.25%	78.55%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450106***		82.60%	100.00%	89.99%	91.94%	74.34%	74.12%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1721343***		90.71%	87.45%	100.00%	76.47%	98.79%	87.57%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315897***		89.86%	100.00%	78.55%	97.27%	97.88%	85.75%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415980***		80.77%	100.00%	85.57%	83.59%	80.09%	73.84%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315861***		96.03%	85.61%	87.57%	97.77%	100.00%	98.79%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315897***		83.12%	100.00%	81.20%	78.42%	85.75%	87.11%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315897***		81.79%	91.76%	78.25%	95.59%	77.53%	75.77%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315897***		85.61%	75.68%	87.42%	73.73%	97.34%	83.94%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1721117***		88.71%	100.00%	94.24%	87.66%	85.75%	87.17%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315897***		83.06%	100.00%	87.77%	98.75%	58.75%	86.95%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415980***		75.17%	100.00%	80.00%	71.12%	59.59%	89.96%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450115***		84.54%	83.21%	78.65%	85.75%	87.88%	85.88%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415980***		87.05%	84.55%	87.85%	87.55%	87.54%	85.25%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1821553***		86.62%	86.82%	79.20%	94.27%	84.44%	88.57%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315898***		83.99%	100.00%	87.57%	85.77%	76.79%	85.85%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1721292***		97.18%	85.34%	100.00%	90.14%	100.00%	98.57%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1315898***		75.63%	100.00%	78.57%	38.24%	100.00%	85.69%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
LGZ1721292***		94.06%	86.67%	87.57%	92.32%	100.00%	96.37%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1850002***		84.33%	100.00%	80.22%	88.88%	92.84%	75.36%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450119***		89.52%	100.00%	85.75%	82.78%	89.54%	100.00%	ND	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415980***		80.10%	100.00%	75.85%	70.88%	86.09%	87.57%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
JCE1415980***		90.34%	100.00%	73.79%	100.00%	100.00%	87.57%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1
SAG1450119***		87.49%	100.00%	81.20%	85.45%	85.45%	97.87%	RE	NR	0116D2005700	0116D2005700_1

Confidencial