



# NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica | Nº17 | junho de 2016

<http://www.neutroaterra.blogspot.com>

*Voltámos à vossa presença com a décima sétima edição da nossa revista. Nesta edição, destacam-se assuntos de carácter mais científico e daí o maior número de artigos publicados em língua Inglesa, que esperamos que possam também contribuir para satisfazer as expectativas do elevado número de leitores que temos em países estrangeiros, e reforçar o espaço de divulgação da nossa revista por uma maior número de países. Nesta edição merecem particular destaque os assuntos relacionados com as máquinas elétricas, os veículos híbridos e a mobilidade elétrica.*

José Beleza Carvalho, Professor Doutor



**Máquinas e Veículos Elétricos**



**Produção, Transporte e Distribuição Energia**



**Instalações Elétricas**



**Telecomunicações**



**Segurança**



**Gestão de Energia e Eficiência Energética**



**Automação, Gestão Técnica e Domótica**

- 03| Editorial
- 05| **PM Motors for High Efficiency Applications**  
Carlos Eduardo G. Martins, Sebastião Lauro Nau  
WEG Equipamentos Eléctricos S. A.
- 11| **Cable Laying and Pulling**  
Manuel Bolotinha  
Engenheiro Eletrotécnico - Consultor
- 15| **Ground Fault Protection Methods for Distribution Systems**  
Hugo Tavares<sup>1</sup>, Teresa Nogueira<sup>2</sup>  
Institute of Engineering, Polytechnic Institute of Porto (ISEP) (<sup>1</sup>Student)  
Center for Innovation in Engineering and Industrial Technology (CIETI)<sup>2</sup>
- 21| **ITED 3 – TILT. O que é e como se ensaia!**  
Hélder Nelson Moreira Martins  
Televés Electrónica Portuguesa, S.A.
- 27| **Fundamentos da deteção automática de incêndios em edifícios. Parte 1.**  
António Augusto Araújo Gomes  
Instituto Superior de Engenharia do Porto
- 33| **Avaliação de sistemas de terras**  
Fernando Jorge Pita  
Engenheiro eletrotécnico - Formador
- 41| **Mobilidade eléctrica**  
António Carvalho de Andrade  
Instituto Superior de Engenharia do Porto
- 57| **Classificação de veículos híbridos – Evolução crescente do grau de eletrificação.**  
Pedro Melo  
Instituto Superior de Engenharia do Porto
- 65| **Study of Led Lamps Technologies Impact on the Utility**  
Ewelina Szwal<sup>1</sup>; Judite Ferreira, José Teixeira Puga, António Gomes  
Institute of Engineering, Polytechnic Institute of Porto (ISEP) (<sup>1</sup>Student)
- 76| **Autores**

## FICHA TÉCNICA

|                       |   |
|-----------------------|---|
| DIRETOR:              | José António Beleza Carvalho, Doutor  |
| SUBDIRETORES:         | António Augusto Araújo Gomes, Eng.º<br>Roque Filipe Mesquita Brandão, Doutor<br>Sérgio Filipe Carvalho Ramos, Doutor                |
| PROPRIEDADE:          | Área de Máquinas e Instalações Eléctricas<br>Departamento de Engenharia Electrotécnica<br>Instituto Superior de Engenharia do Porto |
| CONTATOS:             | jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt   |
| PUBLICAÇÃO SEMESTRAL: | ISSN: 1647-5496   |

Estimados leitores

Voltámos à vossa presença com a décima sétima edição da nossa revista e continua a verificar-se um interesse crescente pelas nossas publicações. Nesta edição, destacam-se assuntos de carácter mais científico e daí o maior número de artigos publicados em língua Inglesa, que esperamos que possam também contribuir para satisfazer as expectativas do elevado número de leitores que temos em países estrangeiros, e reforçar o espaço de divulgação da nossa revista por um maior número de países. Nesta edição merecem particular destaque os assuntos relacionados com as máquinas elétricas, os veículos híbridos e a mobilidade elétrica. São também publicados importantes artigos sobre sistemas de terras e métodos de proteção de defeitos à terra em redes de distribuição de energia. Outro assunto importante e relacionado com a eficiência energética, tem haver com um artigo sobre tecnologias de iluminação baseados em lâmpadas LED.

Os motores de Magnete Permanente (PM), ou de ímanes permanentes, são motores adequados para quase todas as aplicações, como bombas, elevadores, compressores, ventiladores, extrusores, geradores, veículos elétricos, servoconversores, torres de arrefecimento, eletrodomésticos, etc. O artigo que se apresenta nesta edição da revista Neutro-à-Terra, da autoria de um investigador da WEG, de carácter mais científico, apresenta algumas aplicações em que a utilização de motores PM permitiram melhorias na eficiência energética e na qualidade do processo em que são utilizados.

Outro importante artigo que é apresentado na revista, correspondente a um trabalho de investigação realizado no ISEP, tem a ver com a proteção de defeitos à terra em redes de distribuição. A opção pelo método de terra adotado no sistema tem uma influência direta sobre o desempenho global da totalidade da média tensão da rede, bem como sobre a magnitude da corrente de defeito à terra. Para qualquer tipo de sistemas de terra: sistemas não ligados diretamente à terra, sistemas com ligação à terra de baixa impedância e sistemas de terra ressonantes, pode-se encontrar vantagens e desvantagens. O artigo apresenta um estudo detalhado sobre o assunto.

Nas últimas décadas assistiu-se a um acentuado desenvolvimento dos veículos híbridos elétricos convencionais. A sua proliferação encontra-se hoje bem disseminada, em praticamente todas as gamas, refletindo a confiança dos consumidores. Com vista a atenuar ainda mais o uso dos combustíveis fósseis, a tendência é de aumentar o nível de eletrificação nas versões híbridas mais recentes, bem como da oferta de versões puramente elétricas. No entanto, a evolução dos últimos anos, quer ao nível da aposta por parte dos fabricantes, quer ao nível do volume de vendas, parece indiciar uma nova fase de proliferação destes veículos, a qual se encontra ainda a dar os primeiros passos. Nesta edição da revista apresenta-se dois importantes artigos técnicos que abordam a mobilidade elétrica, ao nível da classificação dos veículos híbridos, em função do nível de eletrificação do sistema de propulsão, assim como uma abordagem aos veículos puramente elétricos, fazendo-se considerações acerca do impacto mundial dos veículos híbridos Plug-in e puramente elétricos, nos últimos 5 anos.

Nesta edição da nossa revista, ainda se apresenta outras publicações também muito interessantes, como um artigo que aborda os vários métodos de instalação de cabos subterrâneos, um artigo sobre o ITED 3, um artigo que aborda os principais fundamentos da deteção automática de incêndios em edifícios e um muito interessante artigo sobre o estudo das várias tecnologias de lâmpadas LED e o seu impacto na utilização.

Fazendo votos que esta edição da revista “Neutro à Terra” vá novamente ao encontro das expectativas dos nossos leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, julho de 2016

José António Beleza Carvalho

## Visualização de páginas por país

---

| Entrada        | Visualizações de páginas |
|----------------|--------------------------|
| Portugal       | 17651                    |
| Estados Unidos | 2471                     |
| Brasil         | 1229                     |
| Alemanha       | 362                      |
| Angola         | 169                      |
| Reino Unido    | 156                      |
| Rússia         | 133                      |
| França         | 100                      |
| Espanha        | 82                       |
| Andorra        | 80                       |



## PM MOTORS FOR HIGH EFFICIENCY APPLICATIONS

### Abstract

PM motors are suitable for nearly all applications, like pumps, elevators, compressors, blowers, extruders, generators, electric vehicles, servodrives, cooling towers, household appliances, etc. This paper will present some applications where the use of PM motors allowed for enhancements in energy efficiency and process quality.

### 1. Introduction

According to recent studies [1], electric motor-driven systems (EMDS) account for between 43% and 46% of all global electricity consumption.

Induction motors have been the most used drives in industry, due to its robustness, reliability and simple operation (direct connection to the mains, without electronic control). However, in many applications variable-speed drives offer significant energy saving potential [2]. In this scenario, permanent magnet motors are competing technologies for the induction motors, because they present higher efficiency and do not need forced ventilation neither over sizing.

### 2. Permanent Magnet Motors

PM motors offer the highest efficiency of all motors, due to the absence of joule losses in the rotor, and high power factor due to the excitation flux of the permanent magnets (resulting in smaller currents). Since PM motors have no Joule losses in the rotor, bearing temperature is lower, and lifetime is increased.

They have a significant higher efficiency at low speeds than the induction motors and do not need forced ventilation, neither over sizing for constant torque operation (rated torque in all speeds).

Figure 1 shows a comparison among an IPM motor (IE4+) and two induction motors (IE2 and IE3), all rated 30 kW at 1800 rpm, operating over a 4:1 speed range with constant rated torque.

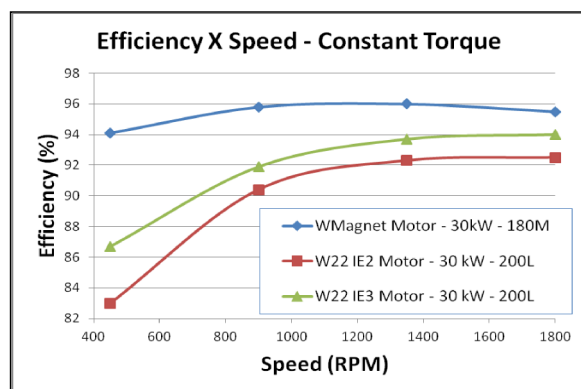


Figure 1. Efficiency over a 4:1 speed range with constant torque for three motors: a PM synchronous motor (Wmagnet), and two induction motors (W22 IE2 and W22 IE3), all rated 30 kW at 1800 rpm

### 3. Construction Characteristics

PM motors can have different construction characteristics.

The permanent magnets can be placed on the surface or inside the rotor (IPM – Interior Permanent Magnet), the rotor can be external or internal, the windings can be distributed (as for conventional induction motors) or tooth-wound (as in universal motors). They can use low-cost, low-energy ferrite magnets (usually for low-power, low-cost applications) or high-cost, high-energy rare-earth magnets (usually for high performance motors in industrial applications), resulting in more compact designs with high torque/volume ratios.

Furthermore, they can be classified as BLAC (Brushless Alternating Current) or BLDC (Brushless Direct Current) motors. The first use a sine wave current drive (their back-EMF is sinusoidal) and the latter use a square wave current

drive (their back-EMF is trapezoidal). Typically, BLDC motors have tooth-wound windings, and BLAC motors have distributed windings. But BLAC motor can have tooth-wound windings as well, mainly for low-power applications.

There are several topologies, and the applicability of each one depends on the application requirements, as shown in the table 1.

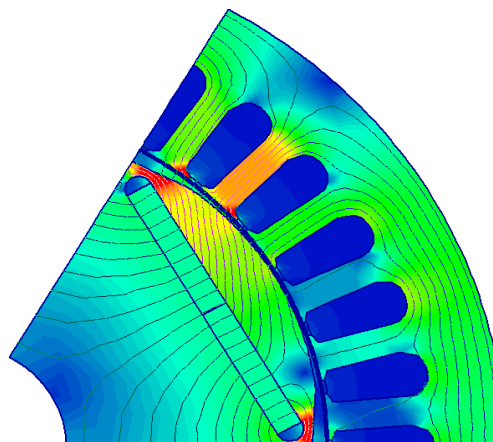
**4. Applications for PM Motors**

**4.1. Industrial PM Motors**

**4.1.1 IPM Motor**

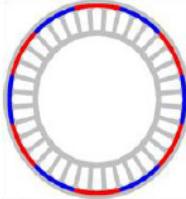
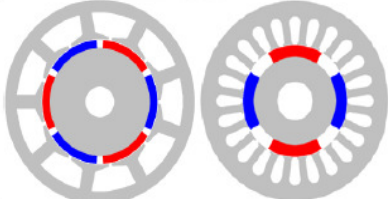
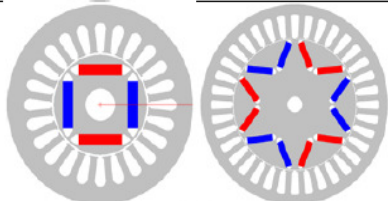
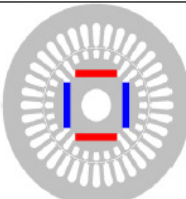
IPM synchronous motors have similar stator windings as induction motors, but have high-energy rare-earth magnets inside the rotor.

Figure 2 shows a detail of a one-pole finite element simulation of a 6-pole IPM motor on load. The rotor has a special designed lamination to minimize flux leakage while keeping the necessary mechanical strength at the higher speed allowed.



**Figure 2. Detail of one pole flux pattern and flux density of a 6-pole IPM motor**

**Table1. Characteristics of different topologies**

| Topology         | Characteristics   | Example  |
|------------------|---|--|
| External rotor   | high-torque, low-speed applications (i.e. washing machine, elevators), ventilation, wheel motors for traction applications. |  |
| Surface magnets  | low-speed applications (i.e. ventilation, exhaust, residential pumps, elevators).   |  |
| Interior magnets | low and high-speed applications (i.e. blowers, compressors, pumps, elevators, electric vehicles).                           |  |
| Line-start       | low-speed, low-inertia applications, direct-on-line connection (i.e. small fans, pumps)                                     |  |

These motors can be one frame size smaller than induction motors (up to 43% reduction in volume and 35% in weight), while offering super premium efficiencies (Figure 3) [3].

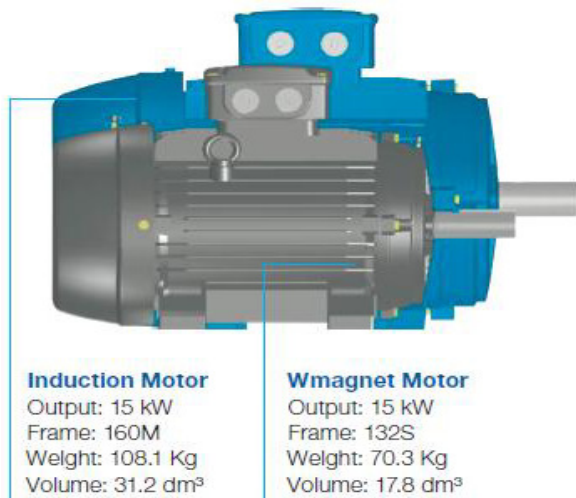


Figure 3. Interior permanent magnet motor with rare-earth magnets and reduced frame size

Efficiency for 400 V - Europe - 3000 rpm

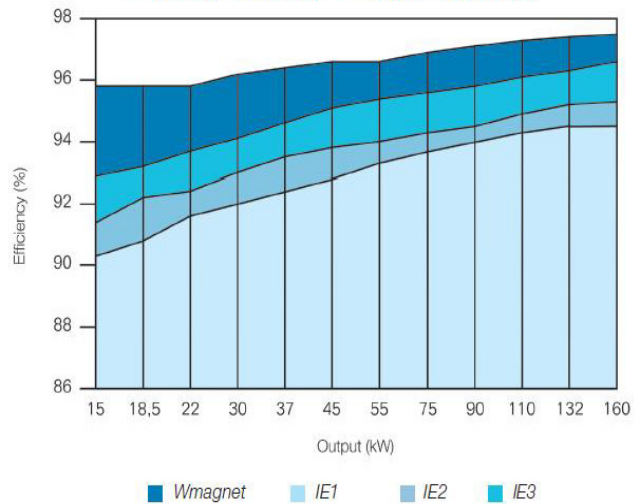


Figure 3a. Efficiency comparison between IPM synchronous motors and IEC efficiency levels

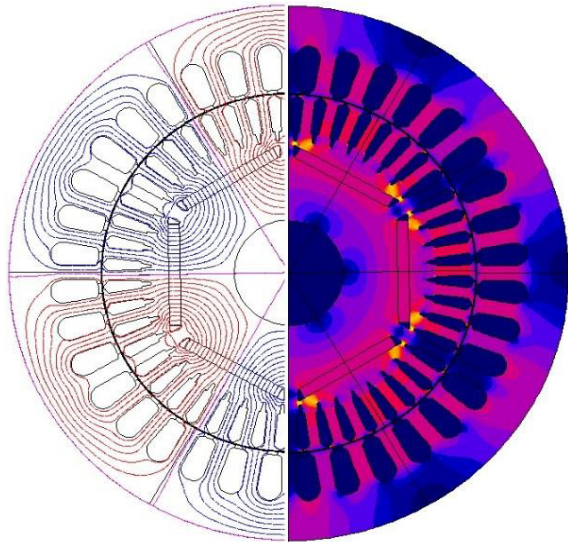
Since they are in a reduced size frame, they have lower noise levels than induction motor of the same output power.

The main applications are pumps, ventilation systems, compressors, wire drawing machines, extruders and conveyor belts.

#### 4.2.2 Line-start PM Motor

These motors are hybrid motors because they have rare-earth magnets below the squirrel-cage [4]. They have similar windings as induction motors and have the ability to start direct on line, without the need for electronic controller. They start and accelerate like an induction motor, until synchronism is achieved, keeping constant speed with varying load, with super premium efficiency.

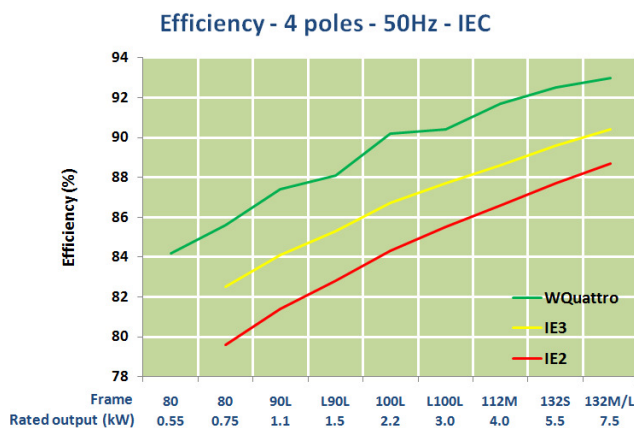
Figure 4 shows an example of a 6-pole line-starting motor lamination. The stator has the same lamination as the induction motor counterpart. The rotor lamination has especially designed aluminum bars and slots for permanent magnets to allow good starting capabilities (starting torque and synchronization) and good synchronous operation (high pull-out torque and high efficiency).



**Figure 4. Example of a 6-pole line-start motor showing flux pattern and flux density**

If variable speed is needed, they can be driven by a conventional frequency inverter, in scalar mode. This allows several motors to be driven by the same inverter, running at the same speed.

Figure 5 shows the efficiency levels compared to IEC levels.



**Figure 5. Efficiency comparison between Line-start PM motors and IEC efficiency levels**

The main applications are low-inertia loads (up to 30 times de rotor inertia), and multi-motor variable-speed with one single inverter. The inertia of the load is an important issue, because if it is greater than the limit value, the motor shall fail to synchronize, and will operate at a speed below synchronous speed, having high currents, noise and vibration, and the motor must not operate in this condition.

Multi-motor variable-speed applications with on inverter can be an economic solution for those applications that need that several motors work in the very same speed.

### 4.3. Application in compressor

A PM motor was used in substitution of an induction motor in a 200 HP screw compressor (Figure 6).

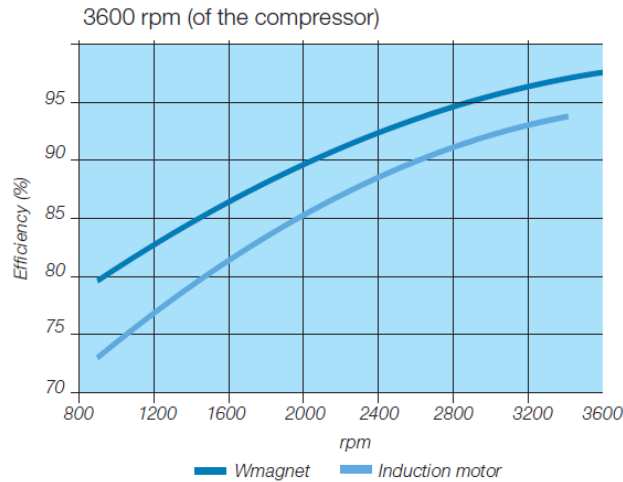


**Figure 6. Compressor with PM motor**

Figure 7 shows the efficiency comparison of the compressor over its speed range when using an induction motor and when using a PM motor.

The induction motor was rated 150kW, 2 poles, IEC frame 280 S/M. The PM motor was rated 150kW, 3600 rpm, IEC frame 250 S/M PM motor. There has been a significant increase in efficiency by the use of the PM motor. Also, the PM motor is one frame size smaller, with 52% of the weight of the induction motor.





**Figure 7. Efficiency of the compressor with IPM motor and induction motor**

#### 4.4. Application in wire drawing machine

A 100HP, 4 poles, IEC frame 250 S/M Induction motor was substituted by a 100HP, 1500 rpm, IEC frame 225 S/M PM motor in a wire drawing machine (Figure 8).



**Figure 8. Wire drawing machine with PM motor**

This change allowed average energy savings of 3.9% in the operation cycle of the machine, corresponding to a monthly saving of 720kWh considering continuous operation; an increase in the wire production range (lower speed with increased load torque), because the PM motor works cooler than the original induction motor; and the temperature of the bearings was greatly reduced, allowing a longer useful life of the bearings, longer lubrication intervals, and less maintenance.

#### 4.5. Application in textile industry

The original motor of the yarn starching machine (Figure 9) was a ring induction motor, which had brushes that needed to be replaced regularly and demanded constant maintenance. When this motor burnt and needed to be repaired, the decision to seek a more efficient alternative led to the choice of a PM motor. The cost to fix the old motor would be 115% of the amount to acquire a new and more efficient motor. So, the new motor chosen was a 15 kW PM motor. The replacement reduced the maintenance costs (practically zero) and shutdown hours of the machine, and enhanced the process with speed variation with constant torque (which means saving energy) and more power in the operation. It also brought more versatility to speed control which is essential for the quality of the starching, a process prior to the production of fabric. The PM motor is 50% smaller than the original motor. This calls for less space and makes eventual maintenance easier.



**Figure 9. Textile machine**

#### 4.6. Application in cooling tower

PM motors for cooling towers use rare-earth magnets and have a high number of poles, producing high torque at low speeds, for direct-drive coupling (Figure 10). This eliminates gear-boxes, leading to less maintenance and less mechanical losses, that together with the lower electrical losses of the PM motor, increases the overall efficiency of the system.



Figure 10. Cooling tower with PM motor

#### 4.7. Application in extrusion machine

The volume of plastic material that is extruded depends on the rotational speed of the helical thread. Extrusion machines demand constant speed of the helical thread to assure the quality of the process. Also, different materials require different speeds. DC and induction motors with magnetic clutch are commonly used in these machines, but the maintenance of these motors is costly and frequent. Also induction motors with frequency inverters are used.

A PM motor was applied in an extrusion machine (Figure 11), which used a DC motor. Annual energy savings of 21% were obtained. Besides the higher efficiency, the PM motor offers other advantages like low maintenance (less shutdown time machine), no necessity for forced ventilation and constant torque at low speeds.



Figure 11. Extrusion machine with PM motor

## 5. Conclusion

PM motors can have different construction characteristics, to meet different application requirements. Due to their higher efficiency compared to induction motors, PM motors present a significant reduction in energy consumption in all the applications shown in this paper.

Moreover, in variable speed applications, PM motors are even more advantageous, because they do not need forced ventilation nor over sizing for constant torque operation, and as the speed decreases, the efficiency decreases less than it does for induction motors.

It should also be emphasized that for industrial applications rare-earth PM motors are usually one frame size smaller than the induction motor counterparts. This leads to a reduced volume and weight, and lower noise and vibration level. Since the motor operates cooler because there are no Joule losses in the rotor, bearing temperature is lower, and life time is increased.

## References

- [1] P. Waide, C. U. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems", International Energy Agency (IEA), 2011.
- [2] A. T. de Almeida, F. J. T. E. Ferreira, D. Both, "Technical and Economical Considerations in the Application of Variable-Speed Drives With Electric Motor Systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 1, Jan/Feb 2005.
- [3] Wmagnet Drive System Catalogue, <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-wmagnet-drive-system-50020762-brochure-english.pdf>
- [4] WQuattro Catalogue, <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-wquattro-european-market-50025713-brochure-english.pdf>

## CABLE LAYING AND PULLING



### 1. General

The common methods of cable laying are:

- Direct in the ground in trenches (underground cables).
- In cable trenches in outdoors switchyards.
- In cable trays or cable ducts
- Fixed with clamps (usually at walls and ceilings).
- In conduits.

### 2. Cable laying arrangement

Multicore cables are laid in “flat formation” arrangement and single core cables may be laid in “trefoil” arrangement or in “flat formation” arrangement.

For single core cables “trefoil” arrangement is the most advised method.

### 3. Segregation of cables

No matter what method is used for laying, cables must be segregate taking into account the voltage level and function,

in order to avoid possible electromagnetic interferences that can disturb the networks and the signals cables are carrying on.

Segregation means that cables with different voltage levels and/or different functions must not be laid at the same physical support and must be separated.

Segregation of cables must be done in accordance with standards and regulations, as well as local authorities’ recommendations and must consider the following situations:

- Power cables (by voltage level);
- Control cables;
- Communication cables.

### 4. Cable marking

Cables must be identified along cable runs, using cable markers or labels, showing the reference of each cable.

This identification shall be according to the following

principles:

- Every 150 m;
- Changes in direction;
- Both ends.

For underground cables splices must be marked and along the cable run wood or concrete markers shall be installed to identify cable run.

## 5. Cable laying

Cables for power transmission and distribution networks and cables for major communications networks within city areas are usually installed in trenches, directly buried in the ground.

In most countries LV and MV distribution networks, mainly in rural areas, are overhead lines. Also HV transmission networks are overhead lines. However overhead lines present some disadvantages:

- However overhead lines present some disadvantages:
- Occupy more area;
- Have more visual impact;
- Emanate electric fields that can affect people;
- Are affected by storms, namely lightning phenomena.

By these reasons electrical distribution companies and some electric transmission companies have made an option for underground cables, although it is a more expensive solution.

Underground cables present a set of advantages in relation to overhead lines:

- It provides the missing cross border link to urban or near to rural areas;
- Underground cables are not susceptible to storm damage;

- Underground cables are "invisible", so no visual intrusion;
- Lower losses;
- No electric field emanates from underground cables
- Magnetic field from underground can be managed, by use of trefoil arrangement and shielding.

Underground cables must be mechanically protected – power cables are required to be armored - and communications cables must be protected by conduits – plastic or metallic.

Also power cables may be protected by plastic conduits, namely when crossing roads and other traffic routes; according to the recommendations of local authorities conduits may be concrete enclosed.

The depth of the trench depends on local regulations and trenches must be provided with a cable tile and a warning tape.

Manholes for inspection shall be provided.

In outdoors switchyards cables are installed in concrete trenches (pre-fabricated or site fabricated) with covers.

These trenches must have drains and a suitable inclination to avoid rain water to accumulate; they also must be provided with metallic supports for cable laying.

Cables may also installed in cable trays.

Cable trays must be chosen according to environmental conditions, like strong chemical corrosion and may be made of:

- Galvanized steel;
- Stainless steel;
- Aluminium;
- Glass-fiber reinforced plastic.

Cable trays may be provided with a cover and cables must be tight with cable ties.

Cables may also be installed with clamps fixed on ceilings and walls, mainly LV cables.

Mainly in residential installations cables may be installed in conduits (plastic or metallic), usually recessed.

Communications cables usually are installed in conduits, for mechanical protection.

However in industry and in substations it may be required to install power cables in metallic conduits for mechanical protection.

When metallic conduits are used for single core cables, those conduits must be of a non-magnetic material, in order to avoid induced current in the conduit and the consequent heating of the conduit.

## 6. Cable pulling

Cable pulling if it is not done properly may cause damages to

the outer sheath of the cables, this leading, sooner or later, to a fault in the cable.

Pulling tension must be in accordance with the type of cable and the instructions of the manufacturer must be followed.

Also maximum bending radii indicated by the manufacturers must not be exceeded.

For long runs, when installing cables in trenches and cable trays special equipment and tools must be used:

- Cable pulling winch (mechanical drive)
- Cable feeders for reels;
- Cable rollers;
- Tiffors.

When installing cables in conduits approved lubricants of type compatible with cable jacket must be used to reduce pulling tension.

If more than one cable is to be installed in the same conduit they must be installed simultaneously. A "fish tape" shall be used.

---

### Notas soltas:

**Sistema de proteção contra descargas atmosféricas com dispositivo de ionização (SPDI):** Sistema completo baseado em um ou mais PDI e todos os elementos necessários para conduzir a corrente da descarga atmosférica à terra com toda a segurança a fim de proteger uma estrutura, um edifício ou uma área aberta contra os impactos diretos das descargas atmosféricas.

**Para-raios com dispositivo de ionização (PDI):** Para-raios que nas mesmas condições, gera um traçador ascendente de inicialização mais rápido que um para-raios de haste simples.

**Terra:** Parte de um SPDI, projetado para conduzir e dissipar a corrente da descarga atmosférica no solo.

**Condutor de baixada:** Parte do sistema de proteção contra descargas atmosféricas que se destina a conduzir a corrente da descarga atmosférica do PDI para a terra.

**Eficácia do PDI ( $\Delta T$ ):** Diferença em microssegundos entre o tempo de emissão do traçador ascendente de um elemento captor PDI e um elemento captor de haste simples (PHS), medido em laboratório sob as condições definidas na presente documento.

**Densidade de descargas atmosféricas ( $N_g$ ):** Número de descargas atmosféricas por km<sup>2</sup> por ano. Este valor pode ser obtido a partir da rede local de detecção de descarga atmosférica que atingem o solo.

## LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA – SISTEMAS ELÉTRICOS DE ENERGIA

A Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia forma profissionais com competências nos tradicionais domínios dos sistemas elétricos de energia, mas também em áreas emergentes como as energias renováveis, mobilidade elétrica, *smart cities*, gestão de energia e eficiência energética, telecomunicações, automação e domótica, sistemas de segurança.

O curso tem uma forte componente de formação prática e laboratorial e possibilita a realização de um estágio curricular em ambiente profissional – fatores decisivos para a integração dos seus diplomados no mercado de trabalho.

**Duração:** 6 semestres curriculares / letivos

**Grau:** Licenciado

**Total de ECTS:** 180 créditos

**Provas de ingresso:** 19 Matemática e 07 Física e Química

**Regime de funcionamento:** Horários: diurno e pós-laboral

**Áreas gerais de empregabilidade:** Produção, transporte e distribuição e comercialização de energia elétrica, eficiência energética e gestão de energia, certificação energética de edifícios, projeto, execução e exploração, orçamentação: instalações elétricas, telecomunicações, sistemas de segurança, automação, domótica e Gestão técnica centralizada, eletromecânica, manutenção de instalações: industriais, comerciais, hospitalares,... atividades técnico-comerciais: fabricantes, distribuidores, ensino e formação.



### Competências profissionais OE/OET:

Técnico responsável pelo Projeto, Execução e Exploração de Instalações elétricas. (Sem formação complementar).

Técnico Responsável pelo Projeto e Execução de Infraestruturas de Telecomunicações – ITED/ITUR. (Mediante formação habilitante complementar (ANACOM)).

Peritos Qualificados em Certificação Energética. (Mediante formação habilitante complementar/exame (ADENE)).

Projetista de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE). (Mediante formação habilitante complementar (ANPC)).

## GROUND FAULT PROTECTION METHODS FOR DISTRIBUTION SYSTEMS

### Abstract

*The system grounding method option has a direct influence on the overall performance of the entire medium voltage network as well as on the ground fault current magnitude.*

*For any kind of grounding systems: ungrounded system, solidly and low impedance grounded and resonant grounded, we can find advantages and disadvantages. A thorough study is necessary to choose the most appropriate grounding protection system. The power distribution utilities justify their choices based on economic and technical criteria, according to the specific characteristics of each distribution network.*

*In this paper we present a medium voltage Portuguese substation case study and a study of neutral system with Petersen coil, isolated neutral and impedance grounded.*

### 1. Introduction

The system grounding in power distribution substations is an important issue for the proper operation of the entire network. Main goals of system grounding are to minimize voltage and thermal stresses on equipment, provide personnel safety, reduce communications system interference and give assistance in rapid detection and elimination of ground faults.

The choice of neutral systems has influence on the distribution network performance and on the choice of installed equipment protection. The main differences among neutral systems are related to the network behaviour in case of a ground fault.

There is a wide range of neutral grounding systems in MV distribution networks. The neutral conductor can be connected to ground through different ways, according to the type (capacitive, resistive or inductive), and with its value (0 to infinite). Isolated neutral eliminates the fault current flow to earth through the neutral conductor but causes high

voltages. The solidly earth neutral (directly connected to earth) minimizes the voltage surge but it results in high current values.

The resonant-grounded has gained popularity in recent years in distribution networks, mainly due to the significant increase in continuity service [1]. A reactance is installed, known as the Petersen coil, which permits the adjustment of the inductance value to preserve the tuning condition of the system for different network topologies. The variable reactance is connected to the secondary neutral power transformer or to the neutral of a grounding bank [2].

This grounded system protection is particularly advantageous in rural areas, to solve the occurrence of lightning, birds and tree branches caused faults. In urban areas, with mostly permanent faults, resonant grounding system can also be used to guarantee electrical service continuity.

Resonant grounding provides self-extinction of the fault arc in overhead lines for about 80% of temporary ground faults [3]. Considering that about 80 % of ground faults are temporary, we conclude that more than 60 % of overhead line ground faults clear without breaker tripping. High-impedance grounded systems are grounded through a high-impedance resistor or reactor with an impedance equal to or slightly less than the total system capacitive reactance to ground. The neutral resistor is of such a high value that ground faults on such systems have very similar characteristics to those of resonant-grounded systems [4-5].

In the next sections we will see different grounded systems and we will analyze their influence on the occurrence of a line-to-ground fault, and the influence of direct and resistive faults at different network points.

## 2. Earthing Ground Systems

### 2.1. Isolated Neutral

A network is called isolated neutral when there is no physical connection between the neutral point of the MV transformer and earth (Fig. 1).

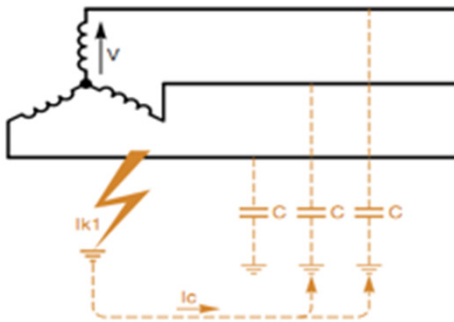


Figure 1. Earth fault in isolated neutral system

The average voltage depends on the impedance between line conductors and the ground. This impedance includes the predominant capacitances between the lines and earth and leakage impedances of other network components [6].

The residual voltage, which is the vector sum of the three line-to-line voltages, is never entirely zero. Monitoring this residual voltage can be a good solution, because it indicates the insulation quality, since any fault between line and earth causes a strong imbalance between the impedance and the increase of residual voltage. This system is mainly used in aerial and short length distribution lines. In the case of long distances, the capacitance to ground is very high, causing dangerous situations due to high current values. Because of the line-to-line voltage, the network must be isolated between phases and earth [7].

The fault current  $I_{k1}$  can be determined as  $3.C.w.V$ , where,  $C$  is the capacitance between line and earth,  $w$  is the angular frequency and  $V$  is line-to-earth voltage.

The main advantage of this system is the service continuity, because fault current is low and not enough to trigger the automatic protections, which occurs only at a second fault. The disadvantage is the inability to eliminate an overvoltage transient across the earth, which can be a big problem if the voltage is too high.

### 2.2. Solidly earthed neutral

In this case, the connection between neutral point and earth is a straight line with zero impedance (Fig. 2). The network impedance, the fault and earth return set the fault values.

Usually, the current intensity of a large number of ground faults can show significant variations depending on the location and on the kind of fault, making it more difficult to reconfigure the network [3]. In this case, line-to-ground voltage is applied to fault, and the neutral potential remains the same as the earth potential. Upon the occurrence of this fault, a large amount of energy is released [4]. The line-to-ground fault current is a short-circuit line-neutral, and this value can be high enough to trigger protections at the first fault.

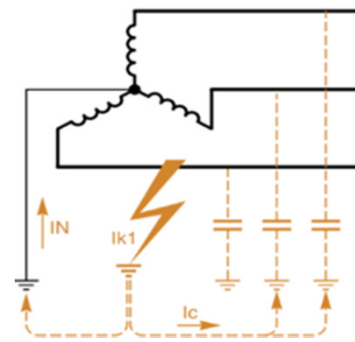


Figure 2. Earth fault in solidly earthed neutral power system

This system is very good to eliminate overvoltage's but brings danger to people and service continuity does not exist in case of a fault.

The single-phase earth fault current in a solidly earthed system may exceed the three-phase fault current. The magnitude of the current depends on the fault location and the fault resistance. One way to reduce the earth fault current is to leave some of the transformer neutrals unearthed. The main advantage of solidly earthed systems is low overvoltage's, which makes the Earthing design common at high voltage levels [8].

### 2.3. Impedance Earthing

This method uses an impedance, which can be a resistor, a coil or a low impedance between the neutral and the earth. This system can be found in Portugal, Spain and France.



With this neutral system we can reduce the magnitude of current fault in a quickly and safely way.

The impedance value is always high when compared to the lines impedance. Therefore the system fault current varies with the fault. This current is approximately in the magnitude of hundreds of Ampere (100 A to 2000 A). This high value of fault current, as well as the preponderance of components circulating in the neutral impedance, makes it easier to detect earth faults.

In Fig. 3 we can see the case of a resistive component between neutral and earth. An alternative can be an inductive component (Fig. 4), to partially compensate the capacitive component of network [6].

The inductive impedance limits the fault current and overvoltage. However the protection must act automatically at the first earth fault. To easily detect the fault, the inductive current must be higher than the capacitive current that circulates in the system. In distribution systems inductive current values are between 300 A and 1000 A, because they are easier to detect, thus preventing overvoltage's [1].

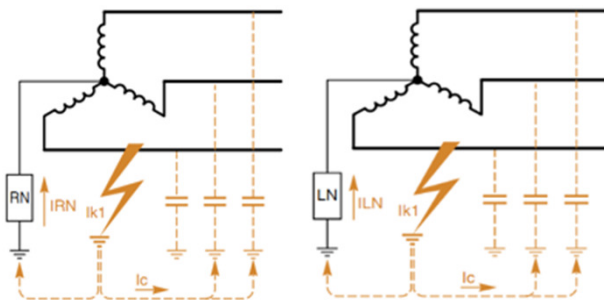


Figure 3 and 4. Resistive and Inductive Earthing, respectively

This system limits the range of fault currents and the protections are easy to implement if the current limit is greater than the system capacitive current. The coil has low resistance, and it does not dissipate a large amount of heat energy. In HV networks this solution is more preferred to the earth resistance one

#### 2.4. Petersen coil / Resonant grounded

This ground system can be used in aerial or mixed lines,

implying the installation of a Peterson coil in HV/MV substations [9].

The Petersen coil is also known as suppressor arcs, faults neutralizer or extinction coil. The systems with this neutral point are also known as neutral resonant or compensated systems [10].

A Petersen coil is usually connected to the neutral of the distribution transformer (Fig. 5), or connected to the zigzag transformer, so that the fault current is practically zero when a fault occurs [4]. The contribution to the fault current from the current capacity of the lines (where a ground fault circulates from a healthy conductor to the earth), is compensated by the current coil [7].

The inductance value of the Petersen coil must be equal to the capacities of the network, which may vary, as it happens when switching operations occur in the network. When this happens the system is fully compensated, or 100% tuned. The modern controllers constantly monitor the zero sequence voltage and detect any changes in the capacities of the network.

The controller will automatically adjust to the new level, ensuring that the Petersen coil is properly tuned to neutralize any ground fault that may occur [11]. This fast limitation of current fault occurs automatically without any intervention from another system [12].

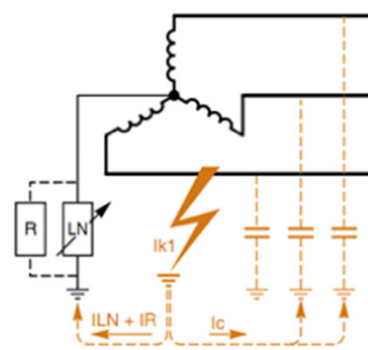


Figure 5. Petersen coil

The inductive and capacitive currents compensate each other provided that one is inductive (circuit ground) and the other is capacitive (healthy capacity lines).

Currents may be added in opposite phases, due to a slight coil resistance with a magnitude of few Ampere.

### 3. Case Study

In this work, we use a 30 kV distribution grid fed by SERPA substation in Portugal. The objective is to study and compare four different neutral systems giving special attention to the results obtained when using the Petersen coil. These systems are: Petersen coil, in two different situations; impedance grounded; and isolated neutral (ungrounded) - for direct faults and resistive faults. This study was supported by software used in Portuguese distribution utility. This software was used to obtain line voltage and current values after the occurrence of faults. Because the voltage triangle is relatively undisturbed, these systems can remain operational during sustained, low-magnitude faults. Self-extinction of ground faults in overhead-ungrounded lines is possible for low values of ground fault current.

#### 3.1. Modelling Petersen Coil

In this case, the fault current is linked to the tuning coil which limits the fault to very low levels, but not exceeding 40A. The Petersen coil neutral system is studied here in two different situations.

In the first situation, the fault current is less than 40 A and in the second one it is below 20 A. Ideally the tuning should be automatic, generating the lowest possible fault current.

In this study, the impedance value of the Petersen coil is a fixed value, determined as to limit the fault current to 40 A, and 20 A for the two situations. The resistance value is ignored, because it has a very low value.

#### 3.2. Analysing Impedance Coil

The values for the impedance are:

$$V_c = 30\,000\text{ V} \quad (1)$$

$$V_s = \frac{V_c}{\sqrt{3}} = \frac{30\,000}{\sqrt{3}} = 17\,321\text{ V} \quad (2)$$

1) Impedance for 40 A

$$Z = \frac{V_s}{I} = \frac{17\,321}{40} = 433,013\ \Omega \quad (3)$$

2) Impedance for 20 A

$$Z = \frac{V_s}{I} = \frac{17\,321}{20} = 866,025\ \Omega \quad (4)$$

The selected network has the following characteristics:

- Large network;
- Overhead lines - 127 854 m (215 m cables);
- Rural network.

In Fig. 6 we can see five selected locations to take measurements, where 1 is location where the earth fault occurs, 3 is the fed substation and 5 is the furthest point away from the earth fault.

The fault current flows through locations 1, 2 and 3, whereas the other points only "see" the fault, and are affected by it.

For the neutral system using Petersen coil an impedance was used to limit the fault current to 20 A and 40 A, respectively. A reactance was used in the isolated system to limit the fault current to 300A.

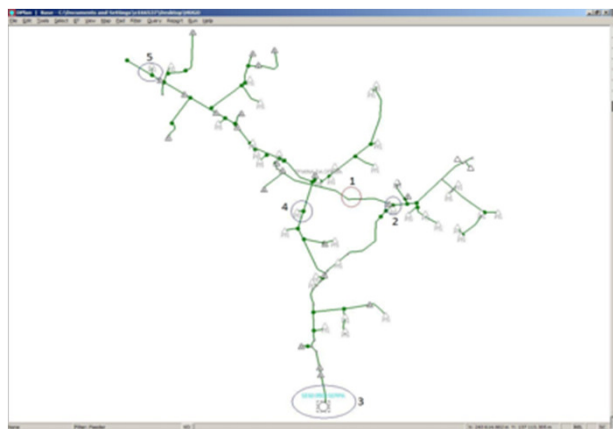


Figure 6. Study network

#### 3.3. Direct Faults

In the following tables we present the voltage values in L1 line in fault (line-earth), and the values in other lines. Tables 1 and 2 refer to the case of using Petersen coil and limiting the fault current respectively to 40 A and 20 A.

Table 3 refers to the use of neutral reactance, and table 4 refers to the neutral isolated system.

**Table 1. Petersen coil – 40 A**

|       |   | Voltage |           |       |           |       |           |
|-------|---|---------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|       |   | L1      |           | L2    |           | L3    |           |
|       |   | pu      | angle (°) | pu    | angle (°) | pu    | angle (°) |
| Point | 1 | 0       | 0         | 1,702 | -148,6    | 1,681 | 149,8     |
|       | 2 | 0,006   | -29,7     | 1,699 | -148,6    | 1,679 | 149,7     |
|       | 3 | 0,042   | -31,6     | 1,687 | -148,2    | 1,665 | 149,5     |
|       | 4 | 0,021   | -30,6     | 1,694 | -148,4    | 1,673 | 149,7     |
|       | 5 | 0,021   | -30,6     | 1,694 | -148,4    | 1,673 | 149,7     |

**Table 2. Petersen coil – 20 A**

|       |   | Voltage |           |       |           |       |           |
|-------|---|---------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|       |   | L1      |           | L2    |           | L3    |           |
|       |   | pu      | angle (°) | pu    | angle (°) | pu    | angle (°) |
| Point | 1 | 0       | -         | 1,717 | -149,3    | 1,706 | 149,9     |
|       | 2 | 0,003   | -30,3     | 1,715 | -149,3    | 1,704 | 149,9     |
|       | 3 | 0,022   | -32,3     | 1,709 | -149,1    | 1,697 | 149,8     |
|       | 4 | 0,011   | -31,3     | 1,713 | -149,2    | 1,702 | 149,8     |
|       | 5 | 0,011   | -31,3     | 1,713 | -149,2    | 1,702 | 149,8     |

**Table 3. Inductive impedance**

|       |   | Voltage |           |       |           |       |           |
|-------|---|---------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|       |   | L1      |           | L2    |           | L3    |           |
|       |   | pu      | angle (°) | pu    | angle (°) | pu    | angle (°) |
| Point | 1 | 0       | -         | 1,717 | -149,3    | 1,706 | 149,9     |
|       | 2 | 0,003   | -30,3     | 1,715 | -149,3    | 1,704 | 149,9     |
|       | 3 | 0,022   | -32,3     | 1,709 | -149,1    | 1,697 | 149,8     |
|       | 4 | 0,011   | -31,3     | 1,713 | -149,2    | 1,702 | 149,8     |
|       | 5 | 0,011   | -31,3     | 1,713 | -149,2    | 1,702 | 149,8     |

**Table 4. Isolated system**

|       |   | Voltage |           |       |           |       |           |
|-------|---|---------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|       |   | L1      |           | L2    |           | L3    |           |
|       |   | pu      | angle (°) | pu    | angle (°) | pu    | angle (°) |
| Point | 1 | 0       | -         | 1,732 | -150      | 1,732 | 150       |
|       | 2 | 0       | -         | 1,732 | -150      | 1,732 | 150       |
|       | 3 | 0       | -         | 1,732 | -150      | 1,732 | 150       |
|       | 4 | 0       | -         | 1,732 | -150      | 1,732 | 150       |
|       | 5 | 0       | -         | 1,732 | -150      | 1,732 | 150       |

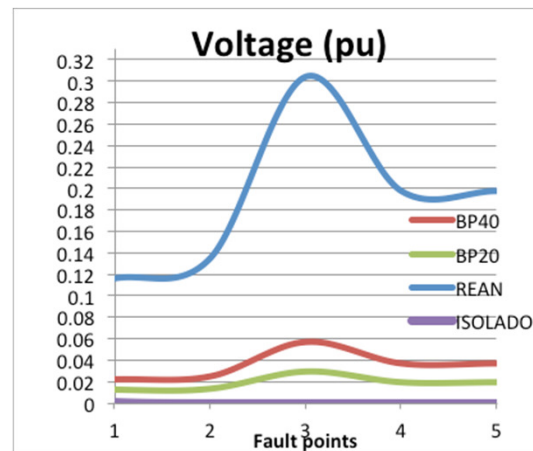
The fault occurs in location 1, and location 2 is the closest point. In both points we can notice a strong interference in the respective voltage values. In fault line L1 the voltage drops to zero in local 1, and practically to zero in local 2, in all

situations. As expected, in L2 and L3 lines voltage values rise in all different situations and network points.

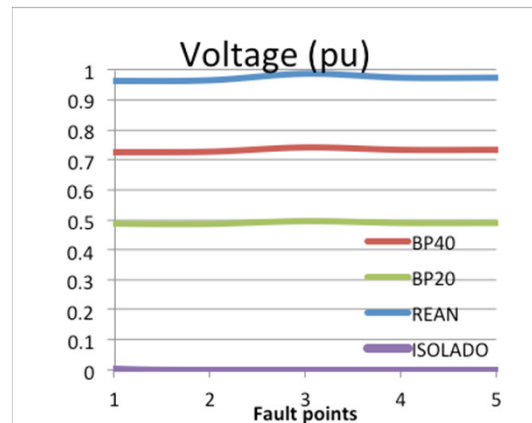
This increased voltage values in healthy phases can damage some equipment isolation or reduce its life. In all situations we can observe a strong shift of the neutral point.

**3.4. Resistive Faults**

We also studied the impact of resistive faults in line-earth L1 under three soil conditions. The fault impedance depends on the soil characteristics and the conditions when the fault occurs. Thus, we simulate the fault for the case of 10, 500 and 1000 ohm. In the following figures we can see the voltage values in lines and let us analyze the drop voltages in each situation of the four neutral systems considered: BP40 – Peterson coil 40A, BP20 - Peterson coil 20A, REAN – Inductive impedance and ISOLADO – isolated system.



**Figure 7. Resistive faults (10 Ω)**



**Figure 8. Resistive faults (500 Ω)**

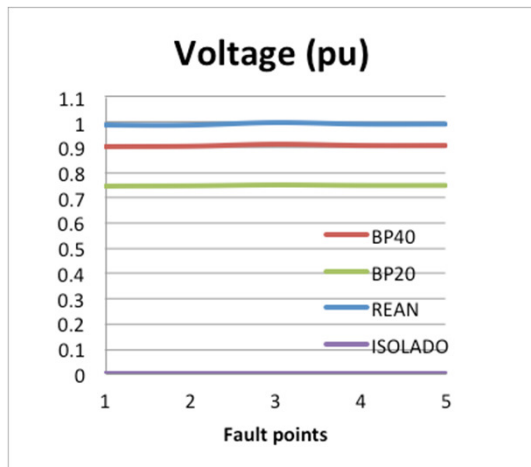


Figure 9. Resistive faults (1000 Ω)

In the three different soil conditions we can notice that as the soil resistivity increases, the voltage drops. In Figs. 7 and 8, drop voltage is very small, remaining very close to 1 pu.

Usually in resistive faults, the voltage increase in healthy lines is not so high as in the direct faults. That results in fewer problems in equipment insulation and lifetime. In both direct and resistive faults the neutral displacement occurs.

#### 4. Conclusions

In direct faults, except in the case of the isolated neutral system in point 3, and for the remaining systems, it is visible a slight increase in voltage values, because point 3 is located in SERPA substation, which feeds the studied network. In all systems we can observe a strong displacement of the neutral point.

The default current is limited by the neutral at stake. In the case of the isolated neutral, default current is zero, because the fault loop does not close, and thus no fault current is generated. Using the Petersen Coil the fault current is limited to 40 A and 20 A, respectively in the two simulated situations, which is one of the advantages this system, because in both we can practically eliminate the fault current when the coil is tuned.

After the fault occurrence, the voltage system becomes unbalanced, as shown in the previous tables.

This is because of the drop voltage in the faulty line and the healthy phases increase.

The neutral point using the reactance neutral is the situation in which voltage drops are not so high; however, the fault current is the highest.

In direct faults, as well as in resistive faults, the current is limited by the type of neutral system. The lower the fault current limit and the higher soil resistivity, the less is the voltage drop across the fault line (L1), and the lower increase in voltage in healthy lines (L2, L3), except for the neutral point isolated. In this case, upon the occurrence of a fault in phase L1, the healthy phases are always subject to line-to-line voltage.

In both cases, for resistive and direct faults, displacement of neutral point does occur.

#### Referências

- [1] Nelson, J. P. and Sen, P. K.: "System Grounding, Ground Fault Protection and Electrical Safety", IEEE Press Series on Power Engineering (Book 37), Wiley-IEEE Press; 1 edition, Jun. 2014.
- [2] Bjerkan, E., Venseth, T.: Locating Earth-Faults in Compensated Distribution Networks by means of Fault Indicators. International Conference on Power Systems Transients, Canada, 2005.
- [3] Pühlinger, M: Resonant Grounding as Approach to System Neutral Grounding. Haefely Trench, Feb. 1998.
- [4] Roberts, J., Altuve, H.J., Hou, D.: Review of Ground Fault Protection Methods for Grounded, Ungrounded, and Compensated Distribution systems, 2001.
- [5] Hou, D.: Comparing Fault Resistance Coverage of Different Distribution System Grounding Methods. 37th Annual Western Protective Relay Conference, October 2010.
- [6] Fulchiron, D., "Basic selection of MV public distribution networks", Cahier technique no. 203, Schneider Electric, Maio 2001.
- [7] Griffel, D., Leitloff, V.; Harmand, Y.; Bergeal, J.; , "A new deal for safety and quality on MV networks", Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.12, no.4, pp. 1428 – 1433, Outubro 1997.
- [8] Guldbrand, A.: System earthing. Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, 2006.
- [9] Escalier, S.; Raymond, J.; Pinget, A.; Clément, M.; Jeanjean, R.: "Impédances de compensation pour la mise à la terre du neutre des réseaux HTA aériens et mixtes", Spécification Technique EDF, Outubro 2001.
- [10] Grid, A., "Network Protection & Automation Guide", Julho 2002, ISBN: 2-9518589-0-6
- [11] HV Power, "Petersen Coils – Basic Principle and Application", Abril 2012.
- [12] Dolnik, B., Kurrimsky, J.: Contribution to earth fault current compensation in middle voltage distribution networks, Przeglad Elektro-techniczny (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 87 NR 2/2011.

## ITED 3 – TILT

## O QUE É E COMO SE ENSAIA!

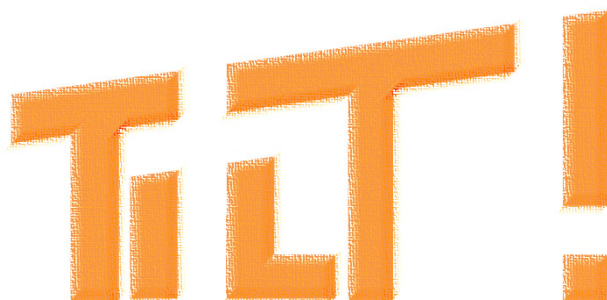
## 1. Introdução

O presente artigo aborda a problemática do TILT, ou seja a diferença de atenuação/potência de sinal num dado ponto da rede de cabo coaxial, decorrente da 3ª Edição do Manual ITED e presentemente em vigor para projetistas, instaladores e fabricantes de equipamento eletrónico deste setor das comunicações eletrónicas.

## 2. TILT – O que é e como se ensaia

O sinal à saída de uma tomada de cabo coaxial deve ter um nível de sinal determinado de forma a reduzir-se ao máximo as hipóteses do televisor “deixar de funcionar” ou apresentar breves interrupções, como seja o conhecido “empastelamento” característico do sinal digital.

Para além da potência de sinal ter-se-á que ter em consideração a planicidade da potência de sinal ao longo de toda a banda de frequências de funcionamento. Isto é, poderemos ter uma potência de sinal adequada à saída da tomada coaxial numa determinada gama de frequências, mas esta poderá ser deficitária ou em excesso noutras zonas de funcionamento, podendo assim comprometer o bom funcionamento de todos os sinais presentes na rede coaxial. Idealmente, dever-se-ia ter idêntica potência de sinal ao longo de toda a banda de funcionamento nas tomadas, mas devido a diversos fatores, poderá não ser possível o cumprimento desta planicidade “ideal”.



Um simples desequilíbrio dos sinais na Cabeça de Rede, redes de distribuição com grandes extensões de cabo coaxial, ou simplesmente a utilização de cabo coaxial de qualidade inferior por exemplo, são fatores que podem originar elevadas diferenças de atenuação entre as baixas e as altas frequências de funcionamento. Este desequilíbrio de potências de sinal entre várias frequências de funcionamento é denominado de **TILT**, e admitem-se diferenças dentro de valores aceitáveis de forma a não comprometer o bom funcionamento dos televisores.

Quais as frequências de sinal, às quais faz sentido a verificação do TILT? Na presença de redes CATV, MATV ou SMATV, estas frequências de ensaio podem ser comuns? Para tal, é necessário identificar as faixas de frequências de funcionamento, e definir duas frequências na extremidade das referidas bandas (ou próximo), e analisar com detalhe o comportamento dos vários sinais nas saídas de uma tomada coaxial.

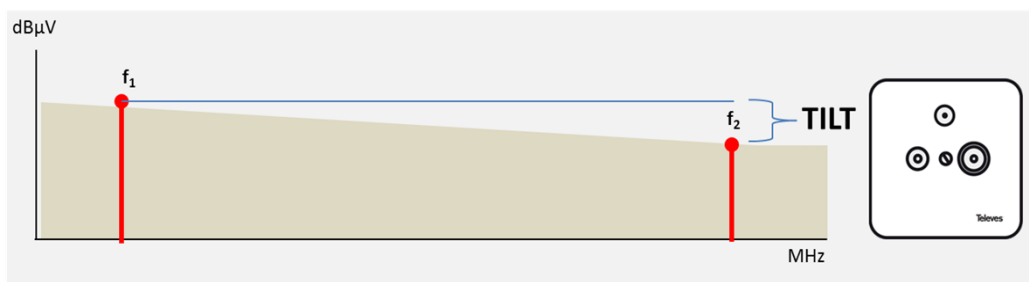


Figura 1. TILT – Diferença de sinais a frequências diferentes num mesmo ponto da rede de cabo coaxial

### 3. Definição das redes de cabo coaxial

A rede de **MATV** (*Master Antenna Television*) está definida para a alocação dos serviços de receção terrestre e está preparada para funcionar desde os canais de Banda I, Banda S-Baixa, BIII, Banda S-Alta, Hiperbanda e UHF. De acordo com o primeiro Dividendo Digital o limite superior da frequência de utilização de MATV passou do canal 69 (862MHz) para o canal 60 (790MHz), prevendo-se encurtar ainda mais esta banda até 2020 de acordo com um segundo Dividendo Digital previsto. Embora em Portugal tenhamos disponível no ar o sinal FM e apenas um multiplex TDT, é possível incrementar a oferta de conteúdos televisivos alocando-os em canais das bandas acima referidas. Assim as frequências de funcionamento são:

- **MATV (Pré-LTE):**

- ✓ Banda TV: 47-68MHz e 118MHz-862MHz;
- ✓ Banda FM: 88-108MHz.

- **MATV (Pós-LTE):**

- ✓ Banda TV: 47-68MHz e 118MHz-790MHz;
- ✓ Banda FM: 88-108MHz.

A rede de **SMATV** (*Satellite Master Antenna Television*) é análoga ao exemplo anterior na banda terrestre, acrescentando a banda destinada à banda do sinal de satélite. As frequências intermédias (FI) provenientes do LNB estão assim compreendidas entre os 950MHz e os 2150MHz, originando as frequências de funcionamento seguintes:

- **SMATV (Pré-LTE):**

- ✓ Banda TV: 47-68MHz e 118MHz-862MHz;
- ✓ Banda FM: 88-108MHz;
- ✓ Banda SAT: 950-2150MHz.

- **SMATV (Pós-LTE):**

- ✓ Banda TV: 47-68MHz e 118MHz-790MHz;
- ✓ Banda FM: 88-108MHz;
- ✓ Banda SAT: 950-2150MHz.

A rede de **CATV** (*Community Antenna Television*) concebida para funcionar com sinais dos operadores de cabo possuem uma particularidade que a diferencia dos sinais de MATV ou SMATV. É a presença de interatividade! E para que esta funcione numa rede de cabo coaxial são necessárias duas bandas de funcionamento totalmente distintas e independentes. Uma das bandas destinada aos serviços de *Upload* (Voz e Dados) e outra destinada aos serviços de *Download* (Voz, Dados e Televisão).

A comunicação de voz e dados é efetuada através de um protocolo DOCSIS e os serviços de televisão estão modulados em digital e presentemente ainda disponíveis também em analógico. No entanto, existem mercados que adotaram bandas de frequências de funcionamento diferentes para utilização do CATV, sendo:

- **CATV (com retorno 5-30MHz):**

- ✓ Banda de Retorno: 5-30MHz;
- ✓ Banda Direta: 47-862MHz.

- **CATV (com retorno 5-65MHz):**

- ✓ Banda de Retorno: 5-65MHz;
- ✓ Banda Direta: 88-862MHz.

Apesar da existência de normalização europeia acerca deste assunto é necessário verificar se esta faz sentido relativamente ao paradigma atual das frequências utilizadas, pois poderá estar obsoleta, e, não menos importante se esta está de acordo com a via de retorno dos 5 aos 30MHz ou se dos 5 aos 65MHz no que diz respeito ao CATV dos operadores.

De acordo com o esquema da Figura 2, pode-se constatar que para MATV já não é utilizada a faixa de frequência dos 790MHz aos 862MHz.

Trata-se de uma faixa destinada agora aos operadores de telefonia móvel, devendo-se inclusive filtrar estas frequências de forma a não interferirem com os sinais de televisão.

Atualmente, antenas, amplificadores e tomadas já possuem filtragem integrada para inibir o sinal LTE das redes de cabo coaxial. **Assim sendo, qualquer frequência de teste para análise de atenuação ou TILT acima dos 790MHz, não será de todo conveniente.**

A rede adotada pelos operadores de CATV no nosso país funciona desde sempre na banda de retorno dos 5 aos 65MHz, iniciando-se assim a via direta apenas nos 88MHz, contrariamente a outras redes com início aos 47MHz em que a via de retorno se posiciona dos 5 aos 30MHz. A medida de TILT é válida e tem sentido quando analisada e enquadrada apenas numa banda de funcionamento, como seja a via direta a funcionar dos 88 aos 862MHz.

Em MATV as potências de sinal à saída da cabeça de rede atingem níveis máximos ao longo de todas as bandas de funcionamento, sendo estas atenuadas ao longo da rede de distribuição e atingindo níveis mínimos nas tomadas. Para CATV o propósito anterior não é igualmente válido.

Enquanto na via direta existe um comportamento semelhante, já na via de retorno o nível de sinal mais elevado verifica-se junto à tomada, pois o seu emissor é o Modem de cabo do operador. O sinal vai-se atenuando ao longo da rede de distribuição (mas desta vez em sentido oposto) chegando ao operador com níveis de potência mínimos.

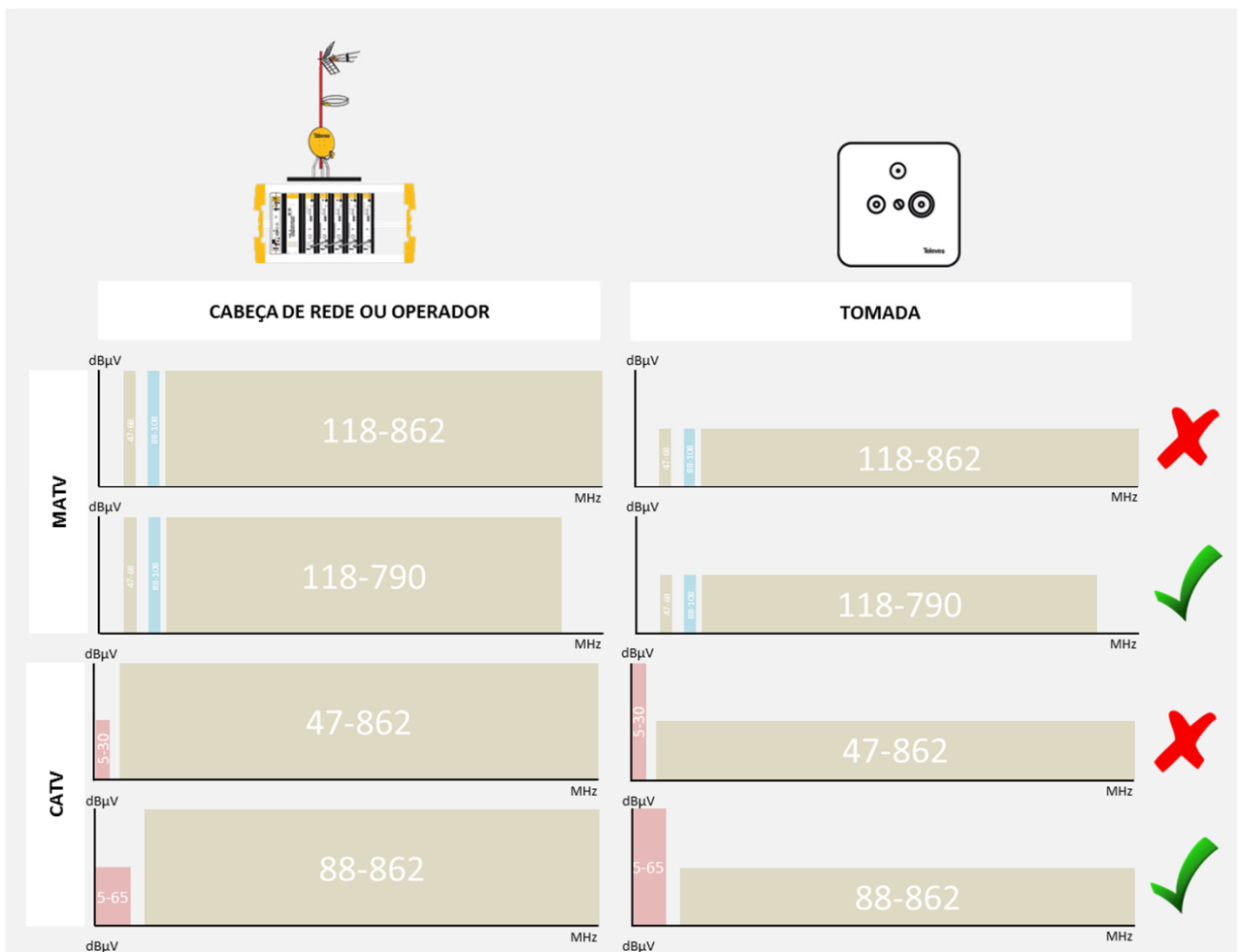


Figura 2. Largura de Banda para MATV e CATV – Operador e Cliente Final

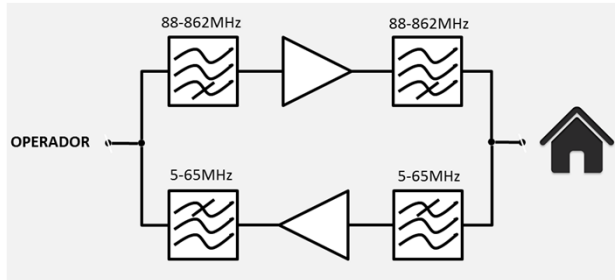


Figura 3. Via direta e de retorno no sistema CATV

**A medida de TILT em que uma frequência está presente na via de retorno e a outra na via direta não fará muito sentido.** A inclusão de qualquer etapa de amplificação intermédia impossibilitará a medida de TILT em frequências presentes em bandas diferentes, não acontecendo se as frequências pertencessem à mesma via (direta).

A escolha das frequências para a medida de TILT são assim fundamentais para uma correta verificação deste parâmetro que se torna imprescindível na análise de redes de distribuição de dimensões significativas. Na presença de valores de TILT significativos, é possível efetuar uma

compensação do mesmo com equalização dos sinais à entrada.

Isto é, se estivermos na presença de um determinado valor de TILT na tomada, poder-se-á aplicar uma Equalização inversa ao TILT na cabeça de rede de forma a minimizar ou mesmo anular o TILT na tomada e assim contribuir para um nível de sinal constante ao longo da frequência nas tomadas.

O ensaio do TILT na banda de satélite para SMATV (Figura 5) é realizado de forma idêntica aos exemplos anteriores.

Definem-se duas frequências próximas dos extremos e rapidamente se chegam aos valores de TILT.

Tratando-se de frequências mais elevadas, teremos diferenças de atenuação mais significativas entre frequências na banda de satélite. Assim sendo, fará ainda mais sentido a aplicação de pré-acentuação a montante para minimizar o valor de TILT nas tomadas. Neste exemplo complementa-se com uma outra possibilidade de cálculo de TILT para a banda terrestre, MATV.

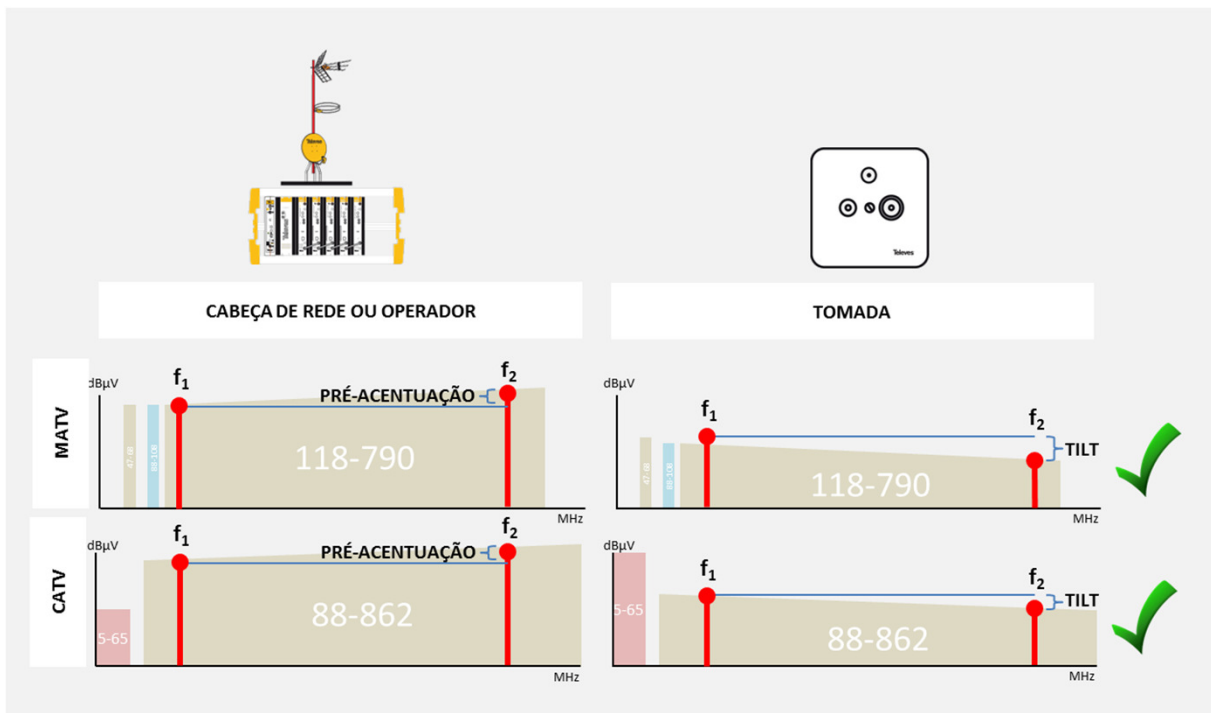


Figura 4. Largura de Banda da via direta e de retorno e respetivo TILT – Sistema CATV



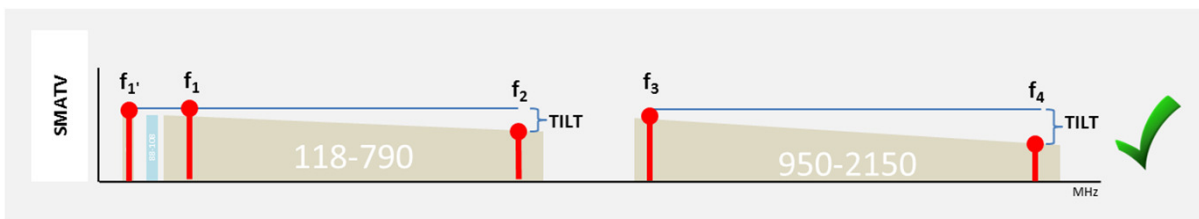


Figura 5. Ensaio do TILT – Sistema SMATV

A escolha da primeira frequência de teste  $f_1$  posicionada no início da banda S-Baixa, poderá ser substituída pela frequência  $f_1'$ , presente na banda 1. No entanto, esta frequência  $f_1'$  já não deveria ser utilizada no ensaio de TILT para a rede de CATV, uma vez que esta pertence à banda de retorno.

Trata-se de uma largura de banda em frequência de apenas 60MHz em que o TILT não terá expressão por pior que a instalação esteja!

No entanto, isto não implica que não se deva analisar a curva de resposta em frequência nas tomadas para verificação de alguma anomalia. Aliás esta deverá ser sempre verificada ao

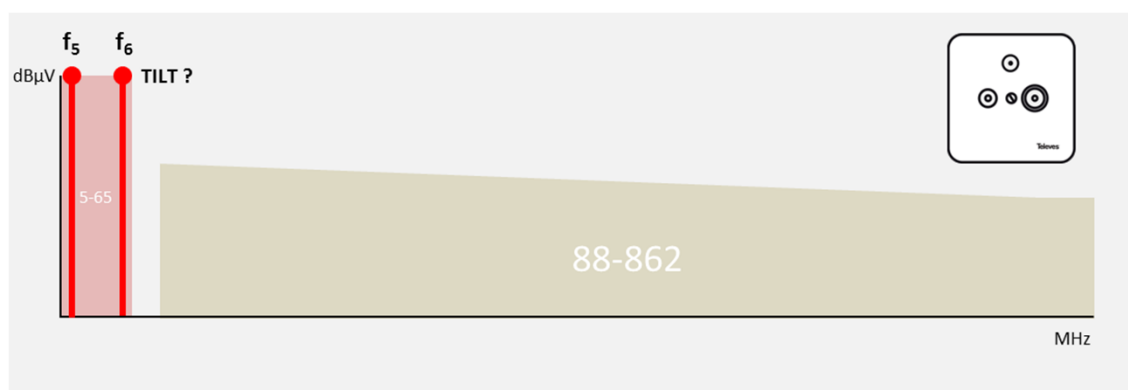


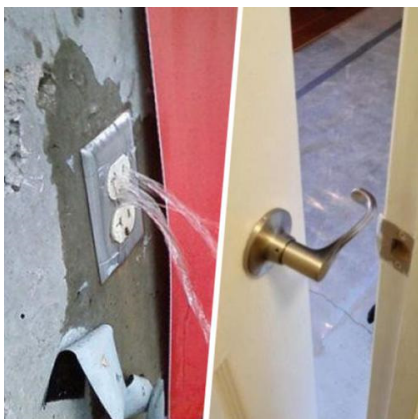
Figura 7. Largura de banda de retorno – TILT

#### 4. Conclusão

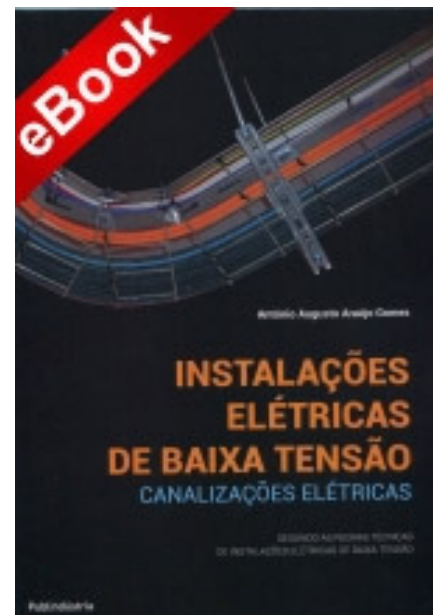
Uma questão que poderá ser colocada é a necessidade de ensaio de TILT na banda de retorno. Terá sentido?

longo de todas as bandas, já que é possível ter níveis de potência de sinal ou atenuações e TILT dentro de parâmetros aceitáveis, mas existirem anomalias em determinadas frequências específicas.

#### Curiosidade:



**Título:** Instalações Elétricas de Baixa Tensão  
**Autor:** António Augusto Araújo Gomes  
**Editora:** Publindústria  
**Data de Edição:** 2015  
**ISBN:** 9789897230752  
**Nº Páginas:** 151  
**Encadernação:** Capa mole



## FUNDAMENTOS DA DETEÇÃO AUTOMÁTICA DE INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS

### PARTE 1.

#### 1. Enquadramento

O fogo, grande elemento de evolução humana, é também, em potencial, um dos seus maiores inimigos. Muitos são os fogos florestais e urbanos, que ocorrem diariamente, provocando mortes, avultados prejuízos materiais, perda de valor patrimonial, assim como perda de valor simbólico.

As causas principais dos incêndios em edifícios são a deficiência nas canalizações elétricas, a má utilização de equipamentos elétricos, nomeadamente ferros, fogões, fornos e aquecedores elétricos, bem como a negligência na utilização do fogo.

Os Sistemas Automáticos de Detecção de Incêndio (SADI) são hoje encarados um sistema integrante e imprescindível dos edifícios, como elemento de garantia da segurança e do bem-estar das pessoas, e da preservação dos seus bens.

Um SADI é uma instalação técnica capaz de registar um princípio de incêndio, sem a intervenção humana, transmitir as informações correspondentes a uma central de sinalização e comando (CDI - central de deteção de incêndios), dar o alarme automaticamente, quer local e restrito, quer geral, quer à distância (alerta) e acionar todos os comandos (imediatos ou temporizados) necessários à segurança contra incêndios dos ocupantes e do edifício onde está instalado: fechar portas corta-fogo, parar elevadores, fechar registos corta-fogo, comandar sistemas automáticos de extinção de incêndios (SAEI), parar/ligar ventiladores, desligar energia elétrica, etc.

#### 2. Regulamentos e normas

Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE): Previsto pelo Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro, que estabeleceu o regime jurídico da

segurança contra incêndios em edifícios, publicado pela Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro.

Segurança Contra Incêndio em Edifícios, Notas técnicas, Autoridade Nacional da Proteção Civil (ANPC).

Norma EN 54 – Sistemas de deteção e de alarme de incêndio (Série).

#### 3. Constituição

Tendo por base o especificado na norma EN 54 – Sistemas de deteção e de alarme de incêndio – Parte 1: Introdução, o artigo 117 do Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios as instalações de deteção e a Nota técnica n.º 12: Sistemas automáticos de deteção de incêndio, um sistema de alarme e alerta de incêndio é constituído pelos seguintes elementos:

- a) Centrais e quadros de sinalização e comando (CDI);
- b) Dispositivos de atuação automática, designados «detetores de incêndio»;
- c) Dispositivos de acionamento do alarme de operação manual, designados «botões de alarme»;
- d) Sinalizadores de alarme restrito;
- e) Difusores de alarme geral;
- f) Equipamentos de transmissão automática do sinal ou mensagem de alerta;
- g) Telefones para transmissão manual do alerta;
- h) Dispositivos de comando de sistemas e equipamentos de segurança;
- i) Fontes locais de energia de emergência.

A figura 1 mostra a configuração tipo de um sistema de deteção e alarme de incêndio.

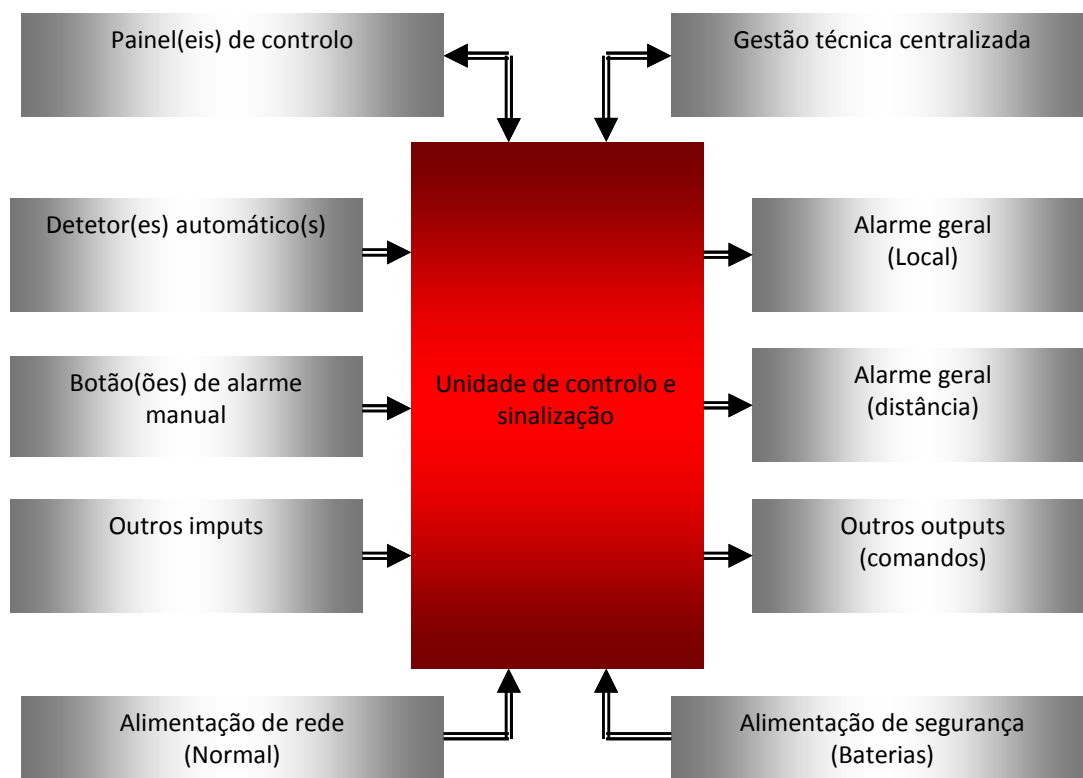


Figura 1. Elementos que constituem um sistema de deteção e alarme de incêndio

**i. Unidade de controlo e sinalização**

A unidade de controlo e sinalização é o componente de um sistema de deteção e de um sistema de alarme de incêndio através do qual o detetor pode ser alimentado e que:

a) É utilizada:

- Para receção de sinais de detetores à mesma ligados;
- Para determinar quais desses sinais correspondem a uma condição de alarme de incêndio;
- Para informar sonora e visualmente qualquer condição de alarme de incêndio;
- Para informar a localização do perigo;
- Para possibilitar o registo de qualquer das informações referidas.

b) É utilizada para monitorizar o funcionamento correto do sistema e dar alertas, sonoros e óticos, de qualquer avaria (por exemplo: curto-circuito, interrupção nas linhas ou avaria na fonte de alimentação).

c) Quando exigido, poderá enviar o sinal de alarme de incêndio, por exemplo:

- Para dispositivos de alarme de incêndio sonoros ou óticos;
- através de equipamentos de transmissão de alarme de incêndio para a organização de combate a incêndio;
- através de comando para equipamento automático de proteção para um equipamento de extinção automática de incêndio.

**ii. Detetor de incêndio**

É um componente de um sistema de deteção de incêndio que contém, no mínimo, um sensor que monitoriza constantemente, ou em intervalos frequentes, pelo menos um determinado fenómeno físico e/ou químico associado ao incêndio e envia, pelo menos, um sinal correspondente à unidade de controlo e sinalização.

De acordo com o fenómeno a detetado, teremos:

- detetor de calor
- detetor de fumos: detetor iónico de fumos , detetor ótico de fumos
- detetor de gás
- Detetor de chamas
- Detetor multi-sensor
- detetor estático
- detetor diferencial
- detetor velocimétrico
- Detetor pontual
- detetor multi-pontual
- detetor linear
- detetor rearmável: detetor auto-rearmável, detetor rearmável remotamente, detetor rearmável localmente
- Detetor não rearmável (com componentes substituíveis)
- Detetor removível
- Detetor não removível
- Detetor de dois estados
- Detetor multi-estados
- Detetor analógico

### **iii. Botão de alarme manual**

Um componente de um sistema de deteção e de um sistema de alarme de incêndio que é usado para o acionamento manual de um alarme.

### **iv. Dispositivo de sinalização e alarme de incêndio**

Trata-se de um componente de um sistema de alarme de incêndio que não está incorporado na unidade de controlo e sinalização e que é usado para transmitir um aviso de alarme de incêndio, por exemplo: avisadores sonoros ou óticos.

### **v. Equipamento de transmissão de alarme de incêndio**

Um equipamento intermédio que transmite um sinal de

alarme de um sistema de deteção de incêndio e de um sistema de alarme de incêndio para um centro de receção de alarme de incêndio.

### **vi. Equipamento de transmissão de sinais de avaria**

Um equipamento intermédio que transmite um sinal de avaria da unidade de controlo e sinalização para um centro de receção de sinais de avaria.

### **vii. Centro de receção de alarme de incêndio**

Um local onde podem ser iniciadas, em qualquer momento, as necessárias medidas de proteção e combate a incêndio.

### **viii. Comando do sistema automático de combate e proteção de incêndio**

Um dispositivo automático utilizado para fazer atuar o equipamento automático de combate ou proteção de incêndio após a receção de um sinal da unidade de controlo e sinalização.

### **ix. Centro de receção de sinais de avaria**

Um local de onde podem ser iniciadas as necessárias medidas corretivas

### **x. Equipamento automático de combate ou proteção de incêndio**

Um equipamento de controlo de incêndio ou equipamento de combate a incêndio, por exemplo: uma instalação de extinção.

## **4. Configurações das instalações de alarme**

O artigo 125.º do Regulamento de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RSCIE) estabelece as três configurações para conceção dos sistemas de alarme, indicadas na tabela 1.

| Componentes e funcionalidade          |   | Configuração |   |   |
|---------------------------------------|---|--------------|---|---|
|                                       |   | 1            | 2 | 3 |
| Botões de seccionamento e alarme..... |   | x            | x | x |
| Detetores automáticos.....            |   |              | x | x |
| Central de sinalização e comando      | Temporização.....                             |              | x | x |
|                                       | Alerta automático.....                        |              |   | x |
|                                       | Comandos.....                                 |              | x | x |
|                                       | Fonte local de alimentação de emergência..... | x            | x | x |
| Difusão do alarme                     | Total.....                                    |              |   | x |
|                                       | Parcial.....                                  | x            | x |   |
| Difusão do alarme                     | No interior.....                              | x            | x | x |
|                                       | No exterior.....                              |              | x |   |

**Tabela 1. Configurações das instalações de alarme**

Os artigos 126.º a 128.º do RSCIE definem qual a configuração aplicável para cada Utilização Tipo<sup>1</sup> e respetiva categoria de risco<sup>2</sup>.

## 5. Organização do alarme

Atendendo à possibilidade de ocorrência de falsos alarmes devidos aos detetores automáticos, a organização do alarme vai depender do tipo de segurança existente no edifício.

Se houver vigilância presente ou permanente, o sistema pode estar em situação “dia” permitindo o reconhecimento e confirmação do alarme.

Caso não haja vigilância presente ou permanente, o sistema deve estar em situação “noite”, em que as temporizações poderão estar anuladas e o alarme geral é imediato.

Na situação “dia” para permitir o reconhecimento do alarme, a central de deteção de incêndios deve ter duas temporizações programáveis, uma que corresponde à aceitação do alarme por parte do operador (presença) e uma outra que corresponde à confirmação local do alarme (reconhecimento).

A figura 2, mostra a organização do alarme num sistema automático de deteção de incêndios.

## 6. Tipo de sistemas

### - Sistemas coletivos (convencionais)

São os sistemas mais simples e de menor custo. São constituídos por linhas em antena, nas quais são ligados detetores com tecnologia convencional.

<sup>1</sup> Utilização-tipo: Classificação do uso dominante de qualquer edifício ou recinto, incluindo os estacionamento, os diversos tipos de estabelecimentos que recebem público, os industriais, oficinas e armazéns, em conformidade com o disposto no artigo 8.º do Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro.

<sup>2</sup> Categorias de risco: Classificação em quatro níveis de risco de incêndio de qualquer utilizações-tipo de um edifício e recinto, atendendo a diversos fatores de risco, como a sua altura, o efetivo, o efetivo em locais de risco, a carga de incêndio e a existência de pisos abaixo do plano de referência.

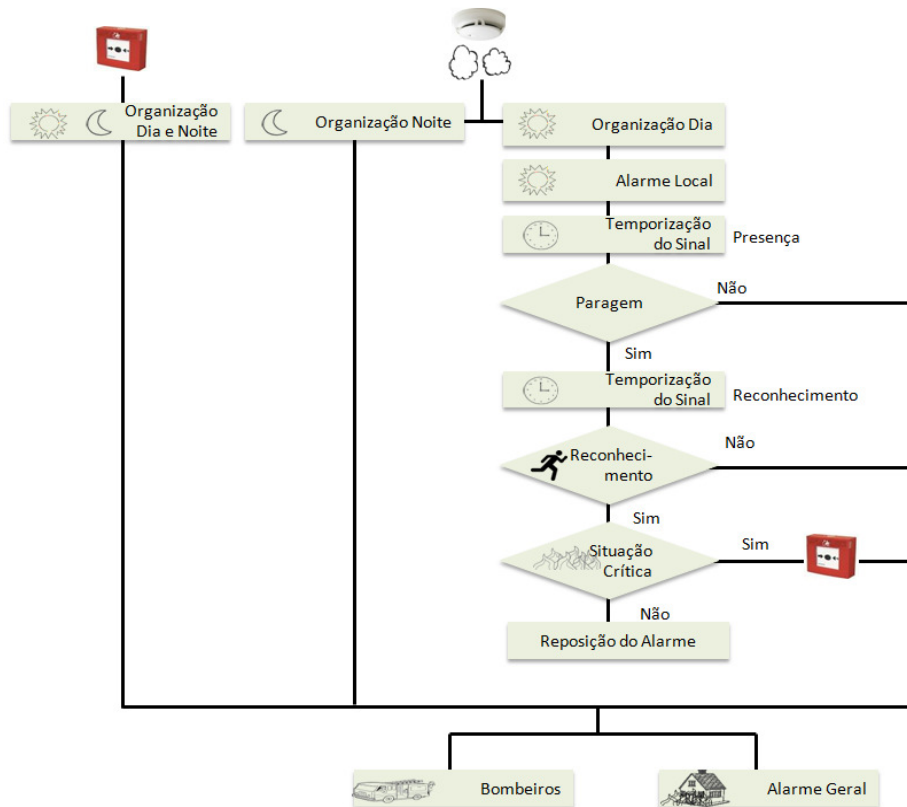


Figura 2. Organização do alarme num sistema automático de deteção de incêndios

Nestes sistemas, a central apenas recebe uma informação de estado da linha e não de cada um dos elementos dessa linha.

As linhas devem ser projetadas de forma que seja fácil e rápido percorrer os seus diversos elementos, de forma a permitir identificar o elemento que originou um alarme.

As linhas são dotadas de um elemento de fim de linha que monitoriza o estado dessa mesma linha.

#### - Sistemas endereçáveis (analógicos)

São sistemas normalmente utilizados em instalações de média e grande dimensão, com linhas em anel, em que cada elemento da linha, têm um endereço individual.

Neste sistema, podem integrar a mesma linha diversos tipos de elementos como: detetores automáticos, botões manuais, interfaces e sirenes de alarme.

#### Bibliografia:

- [1] Regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios, Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro.
- [2] Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE), Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro.
- [3] Segurança Contra Incêndio em Edifícios, Notas técnicas, Autoridade Nacional da Proteção Civil (ANPC).
- [4] Norma EN 54 – Sistemas de deteção e de alarme de incêndio (Série).
- [5] Deteção e extinção de incêndio em DataCenter, Rui Miguel Barbosa Neto, 2014, ISEP. (Dissertação de mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia).

**S+****SCHMITT+SOHN  
ELEVADORES**

# ELEVADORES

O elevador modificou a arquitectura. E a arquitectura por sua vez inspirou-nos a criar um design inovador. Claro na forma e na função. Qualidade máxima para uma arquitectura exigente.



[www.schmitt-elevadores.com](http://www.schmitt-elevadores.com)





## AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TERRAS

### 1. Aspetos gerais

Conseguir o valor ótimo de terra é fundamental para a segurança e eficiência de uma instalação elétrica.

Muitos profissionais têm dificuldade em determinar o método ideal e por vezes recorrem às tentativas, conseguindo na maioria dos casos o valor desejado espontaneamente sem perceber muito bem como o encontrou.

Será importante compreender a influencia do solo, os vátios métodos para conseguir uma boa terra e como decidir quanto á profundidade dos elérodos. Poderemos tendo em consideração o que se vai expor de seguida decidir baseado em técnicas comprovadas, determinar valores de terras com algum conhecimento prévio através de medidas e análise de dados.

Qual a finalidade dos sistemas de terra?

- Ligações à terra por razões de proteção (544 RTIEBT)
- Ligações à terra por razões funcionais (545 RTIEBT)
- Ligações à terra por razões combinadas de proteção e funcionais (546 RTIEBT)
- Condutores de equipotencialidade (547 RTIEBT)

As suas principais aplicações são:

- Terra de serviço nos PT's
- Terra de proteção
- Retorno em sistemas CC
- Sistemas de comunicação
- Na descarga eletrostática
- Para raios
- Filtragem de interferências eletromagnéticas

### 2. Ligações à terra

Segundo as regras técnicas no ponto 542.1.2 RTIEBT, diz o seguinte:

*A seleção e a instalação dos equipamentos que garantem a ligação à terra devem ser tais que:*

- a) O valor de resistência dessa ligação esteja de acordo com as regras de proteção e de funcionamento da instalação e que permaneça dessa forma ao longo do tempo;*
- b) As correntes de defeito à terra e as correntes de fuga possam circular, sem perigo, nomeadamente no que respeita às solicitações térmicas, termomecânicas e eletromecânicas;*
- c) A solidez e a proteção mecânica sejam garantidas em função das condições previstas de influências externas*

### 3. Elérodos de terra

Podem ser usados como elérodos de terra (RTIEBT 542.2) os elementos metálicos seguintes:

- Tubos, varetas ou perfilados;
- Fitas, varões ou cabos nus;
- Chapas;
- Anéis (de fitas ou de cabos nus) colocados nas fundações dos edifícios;
- Armaduras do betão imerso no solo;
- Canalizações (metálicas) de água, desde que satisfaçam ao indicado na secção 542.2.5 RTIEBT;
- Outras estruturas enterradas apropriadas.

De um modo geral, a melhor solução para os elérodos de terra, consiste na utilização de anéis colocados na base das fundações dos edifícios, durante a construção, tendo como principais vantagens:

- Utilizarem trabalhos de aterro previstos pela construção;
- Estão a uma profundidade que, permite salvaguardar, situações resultantes das variações climáticas;
- Garantem um bom contacto com o solo;
- Reduzem, ao mínimo, o valor da resistência de terra;
- Poderem ser usados desde o início da construção como elétrodo de terra para proteção no estaleiro.

O anel referido anteriormente pode ser constituído por:

- 1 Cabo de cobre nu de 25 mm<sup>2</sup> de secção mínima;
- 1 Fita de aço galvanizado de 100 mm<sup>2</sup> de secção mínima e 3 mm de espessura mínima ou um cabo de aço galvanizado de 100 mm<sup>2</sup> de secção mínima, embebido no próprio betão das fundações.

Quando recorremos a um elétrodo de terra, chapas, ou varetas, os tubos e os perfilados devem, normalmente ficar enterrados verticalmente no solo, a uma profundidade não inferior a 0,80 m.

As secções mínimas convencionais dos condutores de terra devem obedecer segundo as RTIEBT ao estabelecido na tabela 1.

| Conductor de terra              | Protegido mecanicamente  | Não protegido mecanicamente                               |
|---------------------------------|--|---|
| Protegido contra a corrosão     | De acordo com a secção 543.1   | 16 mm <sup>2</sup> , se de cobre nu ou de aço galvanizado |
| Não protegido contra a corrosão | 25 mm <sup>2</sup> , se de cobre<br>50 mm <sup>2</sup> , se de aço galvanizado |   |

**Tabela 1. Secções mínimas convencionais dos condutores de terra (RTIEBT)**

Na sequência do referido na secção 543.1.1 RTIEBT, a secção dos condutores de proteção não deve ser inferior à que resulta da aplicação da expressão seguinte (válida apenas para  $t \leq 5$  s):

$$S = \frac{I\sqrt{t}}{k}$$

Onde:

- S - secção do condutor de proteção, em milímetros quadrados;
- I - valor eficaz da corrente de defeito que pode percorrer o dispositivo de proteção
- t - tempo de funcionamento do dispositivo de corte, em segundos;
- k - fator cujo valor depende da natureza do metal do condutor de proteção, do , (veja-se o anexo VI RTIEBT, referido na tabela 2)

|                          | Natureza do isolamento dos condutores de proteção ou da bainha exterior dos cabos |               |                   |
|--------------------------|---|---------------|-------------------|
|                          | PVC   | XLPE ou (EPR) | Borracha butílica |
| Temperatura final (°C) ⇒ | 160   | 250           | 220               |
| Material do condutor ↓   | Valores de k  |               |                   |
| Cobre                    | 143   | 176           | 166               |
| Alumínio                 | 95  | 116           | 110               |
| Aço                      | 52  | 64            | 60                |

Nota: A temperatura inicial do condutor foi considerada igual a 30°C

**Tabela 2. Valores de k para condutores de proteção isolados e não incorporados em cabos e para condutores de proteção nus em contacto com a bainha exterior dos cabos**

No quadro 54F das RTIEBT os valores referidos só são válidos para condutores de proteção do mesmo metal que os condutores ativos.

**Tabela 3. Secções mínimas dos condutores de proteção (Quadro 54F-RTIEBT)**

| Secção dos condutores de fase da instalação<br>SF (mm <sup>2</sup> ) | Secção mínima dos condutores de proteção<br>SPE (mm <sup>2</sup> ) |
|--|--|
| SF 16  | SPE = SF   |
| 16 SF 35   | SPE = 16   |
| SF 35  | SPE = SF/2   |

No ponto 547.1.1 RTIEBT refere secções mínimas do condutor de equipotencialidade principal que deve ter uma secção não inferior a metade da secção do condutor de proteção de maior secção existente na instalação, com o mínimo de 6 mm<sup>2</sup>, podendo, contudo esse valor ser limitado a 25 mm<sup>2</sup>, se de cobre, ou a uma secção equivalente, se de outro metal.

Todas as instalações elétricas devem ter um terminal principal de terra (542.4.1 RTIEBT), ao qual devem ser ligados:

- Condutores de terra;
- Condutores de proteção;
- Condutores das ligações equipotenciais principais;
- Condutores de ligação à terra funcional, se necessário.

Nos condutores de terra, deve ser previsto um dispositivo instalado em local acessível e que permita a medição do valor da resistência do eléctrodo de terra das massas,

podendo esse dispositivo estar associado ao terminal principal de terra. Este dispositivo deve ser, apenas, desmontável por meio de ferramenta e deve ser mecanicamente seguro e garantir a continuidade elétrica das ligações à terra (542.4.2 RTIEBT).

O valor da resistência da terra depende fundamentalmente:

- A resistência de contacto entre o equipamento protegido e do condutor de terra.
- A impedância do condutor e contacto da conexão dos eléctrodos.
- A resistência do próprio eléctrodo.
- A resistência de contato entre o eléctrodo solo.
- A resistência do sistema de eléctrodos.

Para obter uma boa terra devemos atender aos seguintes fatores:

- Tipo de terreno,
- Humidade do terreno,
- Salinidade do solo,
- Temperatura terreno,
- Granulação do terreno,
- Compactação do terreno,
- Estratografia,
- E outros.

Valores médios da resistividade de alguns tipos de terreno são indicados na tabela 4.

**Tabela 4. Resistividade dos terrenos de acordo com a sua natureza**

| Natureza do terreno | Resistividade $\rho$<br>$\Omega \cdot m$ | Natureza do terreno     | Resistividade $\rho$<br>$\Omega \cdot m$ |
|---------------------|--|-------------------------|--|
| Terreno pantanoso   | 1 a 30                                   | Mármore argila compacta | 100 a 200                                |
| Turfa húmida        | 5 a 100                                  | Calcários maciços       | 100 a 300                                |
| Húmus               | 10 a 50                                  | Granito muito alterado  | 100 a 600                                |
| Lama                | 20 a 100                                 | Areia siliciosa         | 200 a 3000                               |
| Mármore jurássicos  | 30 a 40                                  | Solo pedregoso (relva)  | 300 a 500                                |
| Argila plástica     | 50                                       | Calcários fissurados    | 500 a 1000                               |
| Areia argilosa      | 50 a 500                                 | Calcários compactos     | 1000 a 5000                              |
| Xistos              | 50 a 300                                 | Solo pedregoso          | 1500 a 3000                              |

#### 4. Sistemas de Terra (fonte RTIEBT edição anotada)

Existe a terra de serviço, onde habitualmente é ligado o neutro nos postos de transformação (PT) aqui também designada por terra de alimentação e a terra de proteção, designada por terra das massas onde deve ser ligado o eléctrodo de terra correspondente.

Uma boa terra não deverá exceder os 20 Ohm e deverá sempre ser verificada anualmente no estio recorrendo ao método de dois eléctrodos auxiliares que vêm a equipar os mega ohmímetros destinados para o efeito.

Há várias configurações de ligação à terra do neutro e do condutor de terra de proteção estando estes esquemas das ligações à terra, nas RTIEBT, indicados nas secções 312.2.1 a 312.2.4. RTIEBT

##### - Regime TT

O esquema TT tem um ponto da alimentação ligado à terra, sendo as massas da instalação eléctrica ligadas a eléctrodos de terra distintos do eléctrodo de terra da alimentação.

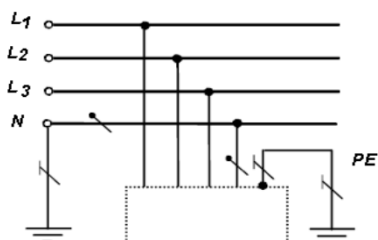
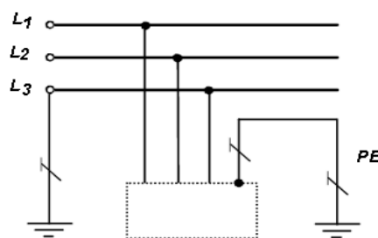


Figura 1 . Esquema TT (RTIEBT edição anotada)



##### - Regime TN

###### • TN – C

As funções de neutro e de proteção são combinadas num único condutor (PEN) em todo o circuito.

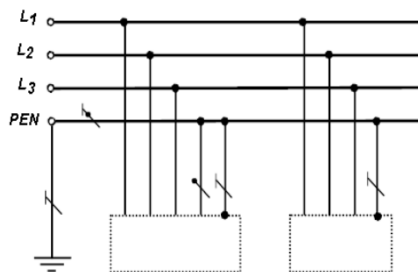


Figura 2. Esquema TN-C (RTIEBT edição anotada)

###### • TN - S

As funções de neutro e de proteção são combinadas num único condutor (PEN) em todo o circuito.

Condutor neutro e de proteção separados em todo o esquema.

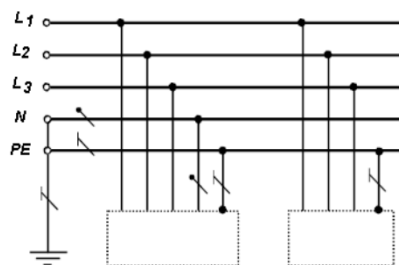


Figura 3. Esquema TN-S (RTIEBT edição anotada)

Condutor ativo ligado à terra e condutor de proteção separado em todo o circuito.

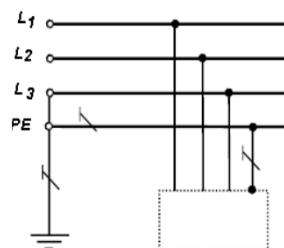


Figura 3a. Esquema TN-S (RTIEBT edição anotada)

• TN – C – S

As funções de neutro e de proteção são combinadas num único condutor (PEN) numa parte do circuito.

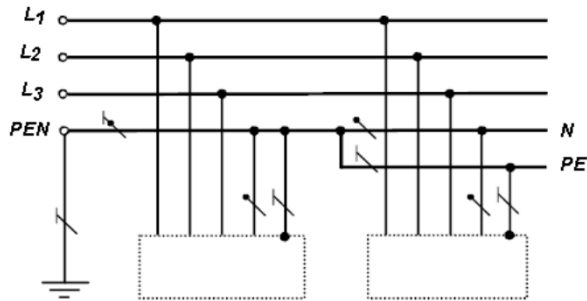


Figura 4. Esquema TN-C-S (RTIEBT edição anotada)

- Regime IT – neutro isolado

Nesta configuração, todas as partes ativas estão isoladas da terra ou um ponto destas está ligado à terra por meio de uma impedância, sendo as massas da instalação elétrica ligadas à terra.

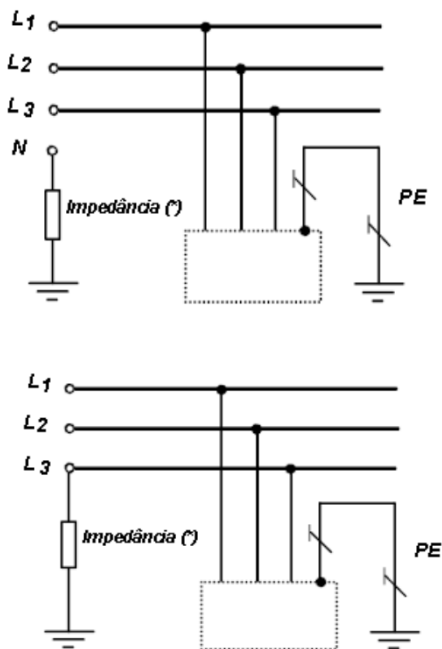


Figura 5. Esquema IT (RTIEBT edição anotada)

5. Conceito de tensão de contacto

A tensão de contacto é a tensão que aparece entre duas partes, simultaneamente acessíveis, em caso de defeito de isolamento de potenciais diferentes (234.2 RTIEBT).



Figura 6. Tensão de contacto

Para garantirmos uma tensão de contacto máxima de 50 V ou 25V se existirem massas empunháveis devemos avaliar a resistência de terra da malha de defeito cujo teste consiste no seguinte:

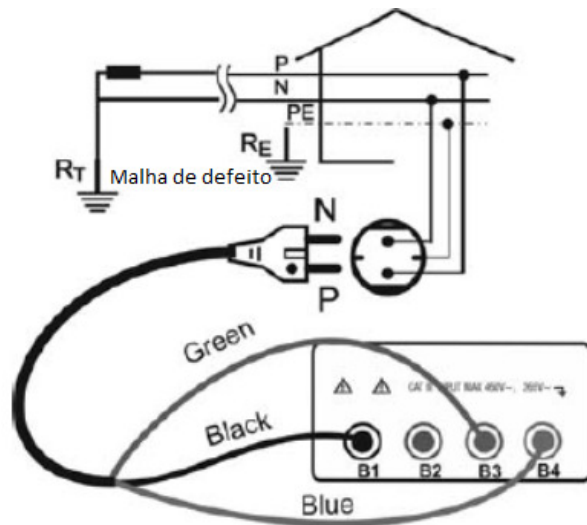


Figura 7. Medição da resistência da malha de defeito (Manual HT sirius 87)

Vamos injetar 15 mA na fase que vai fechar através do terra de serviço pelo terra de proteção (na própria tomada) cujo valor não deverá exceder o que consta na tabela 5.

Tabela 5. valor máximo da resistência do eléctrodo de terra das massas em função da sensibilidade do dispositivo diferencial

| Corrente diferencial máxima estipulada do dispositivo diferencial (IΔn) | Valor máximo da resistência do eléctrodo de terra das massas (Ω) |          |
|---|--|----------|
|   | UL =50 V   | UL =25 V |
| Baixa Sensibilidade   | 20A  | 2,5      |
|   | 10A  | 5        |
|   | 5A   | 10       |
|   | 3A   | 17       |
|   | 1A   | 50       |
| Média Sensibilidade   | 500mA  | 100      |
|   | 300mA  | 167      |
|   | 100mA  | 500      |
| Alta Sensibilidade  | 30mA   | 1665     |
|   | 12mA   | 4170     |
|   | 6mA  | 8330     |

Tensão limite de contacto UL  
 Se houver massas empunháveis UL = 25 V  
 Se não houver massas empunháveis UL = 50 V

A tabela é construída com base na seguinte expressão:

$$R \leq \frac{U_c}{I_t}$$

Onde:

R – Resistência de terra

U<sub>c</sub> – Tensão de contacto

I<sub>t</sub> – Corrente que garante o funcionamento automático do dispositivo de proteção

## 6. Métodos de medida da resistência de terra

### 6.1. Medição da resistência de terra pelo método volt – amperimétrico ou 3P

A figura 8 mostra o esquema de medição da resistência de terra pelo método volt – amperimétrico ou 3P.

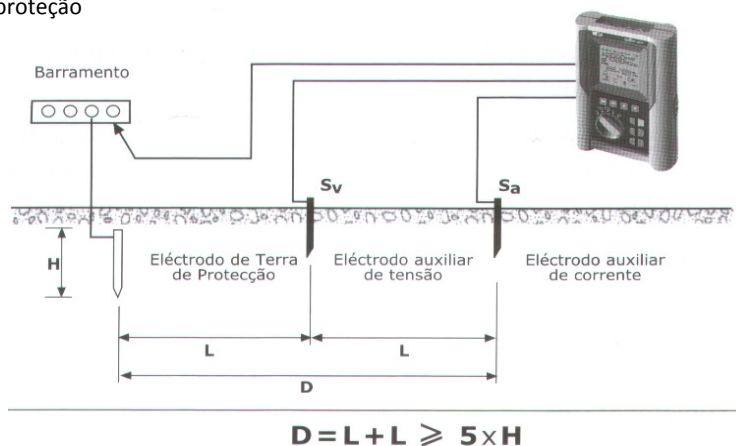


Figura 8. Medição da resistência de terra pelo método volt – amperimétrico ou 3P (Manual HT sirius 87)

6.2. Método com recurso a pinças de medição de terra

Como vantagens:

- Facilidade de medir
- Não necessita de desligar os pontos de medida

Porém convém referir que este método nem sempre funciona, convém ver bem no manual de instruções a forma correta de utilização ou junto de um fornecedor credenciado.



Figura 9. Medição da resistência de terra com recurso a pinças de medição de terra

7. Medição da resistividade do terreno

- Método Wenner

Por vezes procuramos obter uma boa terra e ao fim de muitas tentativas lá conseguimos. Porém o Método Wenner é um precioso auxiliar no que diz respeito á avaliação do solo onde vamos fazer a nossa terra. Assim vamos utilizar os quatro eléctrodos, distanciando-os entre si considerando a distancia “a” igual a 1 m, 2m, 3m até 10m, como podemos ver na figura 10.

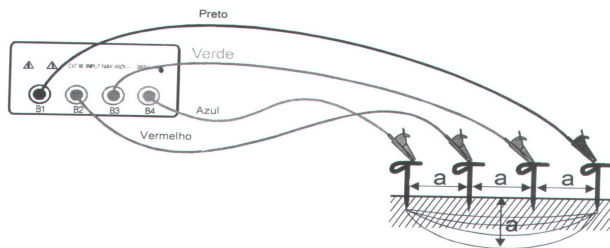


Figura 10. Medição da resistividade do terreno – Método de Wenner (Manual HT sirius 87)

As várias medidas de “a” estão associadas á profundidade pela expressão  $h = \frac{3}{4} a$ , podendo assim avaliar a estratificação do solo.

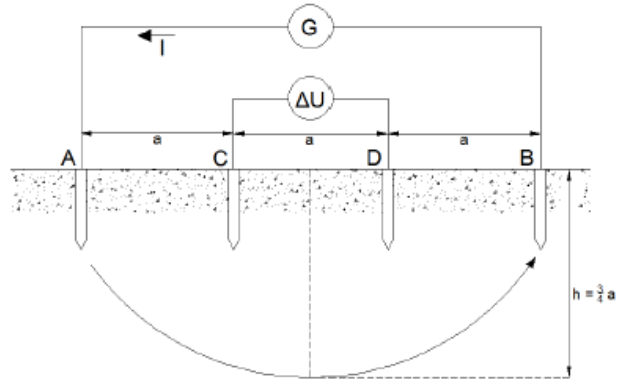


Figura 10a. Medição da resistividade do terreno – Método de Wenner (Manual HT sirius 87)

Em cada medida “a” referida anteriormente ( para 1m, 2m, etc.) registamos no eixo dos xx e a resistividade do solo  $\rho$  no eixo dos yy pela leitura no aparelho, podemos obter curvas seguintes:

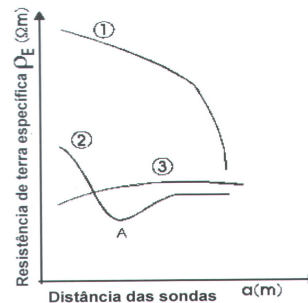


Figura 11. Curvas de resistividade do terreno (Manual HT sirius 87)

Curva 1 -  $\rho$  diminui com a profundidade. Obtemos bons resultados usando por exemplo um piquete em profundidade.

Curva 2 –  $\rho$  diminui até á profundidade “A” pelo que não vale a pena aumentar a profundidade dos piquetes para alem de “A”.

Curva 3 –  $\rho$  neste caso não ganhamos muito com a profundidade.

Neste contexto poderemos escolher a técnica mais adequada para instalação do nosso elétrodo de terra.

No caso de a medida suscitar dúvidas ou poder ter sido influenciada por obstáculos existentes no subsolo, podemos fazer uma contra prova com uma outra medição ortogonal.

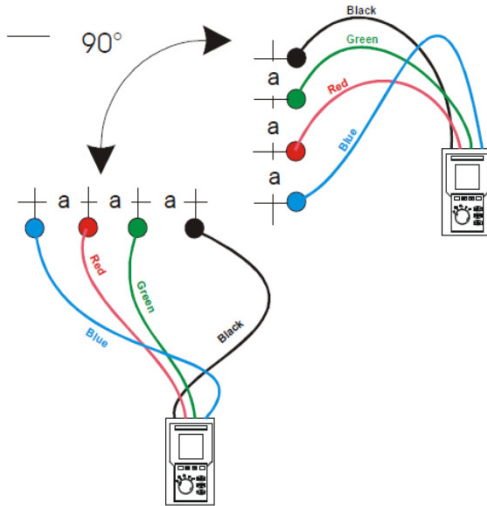
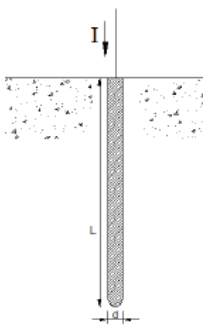


Figura 12. Medição da resistividade do terreno – Método de Wenner - Medição ortogonal (Manual HT sirius 87)

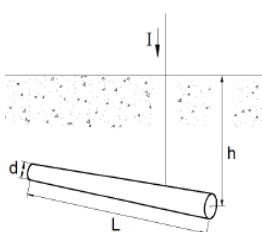
## 8. Estimativa do valor da resistência de terra

A título de exemplo a resistência de um piquete na vertical.



$$R_t = \frac{\rho}{L}$$

A resistência de terra de um piquete na horizontal será:



$$R_t = \frac{2\rho}{L}$$

A resistência de um sistema de elementos em malha seria:

$$R_t = \frac{\rho}{4r}$$

Onde:

$r$  Raio do círculo que circunscreve a malha.

## 9. Como diminuir o valor da resistência de terra

Se houver necessidade de diminuir o valor da resistência de terra podemos recorrer aos seguintes métodos:

- Aumenta o comprimento dos tubos ou varetas enterradas no solo;
- Aumentar a superfície das chapas ou das fitas em contacto com o solo;
- Enterrar no solo um número de elementos suficiente para que, uma vez ligados entre si, se possa atingir o valor desejado.
- Aumentar a profundidade a que o elétrodo de forma a atingir uma camada de terra mais húmida e melhor condutora;
- Aumentar a condutibilidade do solo, preparando-o convenientemente com adição de substâncias condutoras adequadas, como por exemplo o sulfato de cobre.

## 10. Conclusão

Conhecendo as propriedades do solo e os métodos aqui abordados poderemos então decidir de uma forma mais convicta sobre o nosso projeto de terra.

Com o Método Wenner, poderemos fazer uma aproximação dos valores de terra que procuramos, bem como a profundidade mais adequada, que nem em todos os casos funciona, quanto mais fundo melhor. Assim por vezes o recurso a elétrodos na vertical ou horizontal, dependerá do estudo de estratificação do solo.



## MOBILIDADE ELÉTRICA

## 1. Introdução

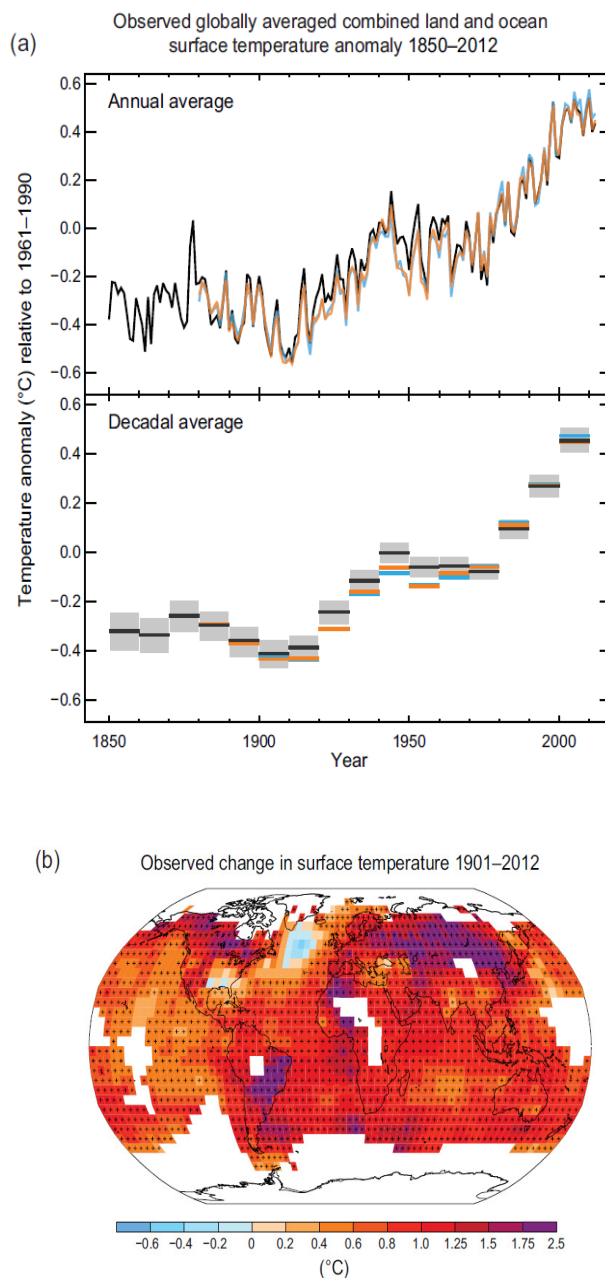
No último século, a utilização de combustíveis fósseis permitiram uma acelerada industrialização intimamente associada a consumos crescentes de energia. Mas a sua utilização não é neutra do ponto de vista ambiental, pois liberta gases de efeito de estufa (GEE), que estão a alterar o equilíbrio da nossa atmosfera que existia no período pré-industrial. Apoiado em estudos científicos cada vez mais credibilizados pela comunidade científica, o poder político está consciente das suas consequências climáticas, e por isso empenhado em mudar a matriz energética com vista a uma redução progressiva dos GEE.

## 2. Problemas ambientais

## 2.1. Aquecimento da terra

Como podemos observar na figura 2.1 (a), as temperaturas médias globais registadas na terra e na superfície do mar entre os anos 1850 e 2012 tiveram uma grande variação, sendo de salientar o crescimento progressivo e acentuado nas últimas três décadas. Neste período a subida máxima foi cerca de 1°C, e se se considerar os valores médios por década o valor é inferior a 1°C. Há cada vez mais unanimidade científica das causas que estão a provocar esta subida acentuada da temperatura da terra. Como causa para esta subida são apontados os comportamentos humanos, ou seja, a queima de grandes quantidades de combustíveis fósseis, pós 1ª revolução industrial, com a consequente libertação de GEE. Os especialistas do clima consideram que a subida da temperatura da terra não deverá ultrapassar os 1,5 a 2°C, para não ser ultrapassado o limite de não retorno, pois caso seja ultrapassado entrariamos num período imprevisível de mudanças climáticas. É pois imperioso a redução dos GEE por todos os países de uma forma

progressiva, sendo naturalmente mais importante nos mais poluidores.



**Figura 2.1. Variação das temperaturas médias globais na terra e na superfície do mar entre os anos de 1850 a 2012 (a) e variação das temperaturas à superfície da terra entre os anos de 1901 a 2012 (b)**

Outro aspeto também muito preocupante é a subida não uniforme da temperatura da terra. Nos registos efetuados entre os anos 1901 a 2012 das variações da temperatura na superfície, tanto na terra como no mar, ver figura 2.1 (b), apontam variações num intervalo de  $-0,6^{\circ}\text{C}$  a  $2,5^{\circ}\text{C}$ . As mudanças climáticas aumentaram o carácter aleatório do clima e descaracterizaram os períodos cíclicos das estações.

## 2.2. Poluição nas cidades

Atualmente, nas cidades vivem mais de 50% da população mundial, com um consumo de cerca de 60 a 80% da energia e que corresponde a 75% da produção dos GEE, devido à utilização de combustíveis fósseis nos transportes, climatização das habitações e produção de eletricidade. Em consequência a qualidade do ar atinge níveis preocupantes, pondo mesmo em risco a saúde humana e constituindo um grave e severo problema de saúde pública. Recentemente várias cidades da China atingiram valores record, entre elas Pequim onde durante vários dias a poluição foi extremamente elevada, cerca de 40 vezes o nível máximo.



Figura 2.2. Poluição numa cidade devido ao tráfego rodoviário

Segundo a Agência Europeia do Ambiente no ano de 2012 morreram prematuramente devido à poluição do ar:

- 3,7 milhões de pessoas em todo o mundo;
- 0,5 milhões de pessoas na Europa;
- 6 000 pessoas em Portugal.

## 2.3. Mudanças das políticas ambientais

A poluição do ar das cidades e as suas consequências na saúde pública tem sido uma preocupação das autoridades no domínio ambiental. Recentemente, toda a legislação da União Europeia, nesta matéria, foi revista com o objetivo de incorporar os últimos progressos científicos e técnicos nesta área bem como a experiência adquirida nos Estados-Membros, tendo sido publicada a Diretiva Quadro Europeia da Qualidade do Ar (Diretiva 2008/50/CE) que fixa os objetivos e parâmetros da qualidade do ar de forma a reduzir, prevenir e evitar os seus efeitos nocivos para a saúde humana, transposta pelo DL n.º 102/2010 de 23 de setembro para a legislação nacional.

A Câmara Municipal de Lisboa criou as Zonas de Emissão Reduzida (ZER), limitando a circulação de veículos mais poluidores, de forma a cumprir o Decreto-Lei n.º 102/2010, que determina que para as zonas onde os níveis de poluentes são superiores aos valores limite, a elaboração de planos de melhoria da qualidade do ar e respetivos programas de execução, destinados a fazer cumprir esses mesmos valores.



Figura 2.3. Utilização de máscaras para minimizar os efeitos da poluição das cidades

A 1ª fase, que entrou em vigor no dia 4 de julho de 2011, ver deliberação nº 247/CM/2011, caracterizou-se pela restrição à circulação de veículos que não respeitassem as normas de emissão EURO 1 (veículos construídos antes de julho de 1992), das 8 às 20 horas nos dias úteis, período no qual se concentram as deslocações e emissões provenientes do tráfego rodoviário, no eixo da Av. da Liberdade/Baixa (limitado a norte pela Rua Alexandre Herculano e a sul pela Praça do Comércio), justificado pelas seguintes razões que se transcreve da mesma deliberação:

- “8 - Nos últimos anos, a cidade de Lisboa tem apresentado concentrações partículas inaláveis (PM10) superiores aos valores limite estabelecidos pela legislação nacional e comunitária para proteção da saúde humana, sobretudo nas zonas de maior tráfego, situação que originou um processo de contencioso contra o Estado Português, tendo a Comissão Europeia tentado recentemente uma ação junto do Tribunal de Justiça Europeu por este incumprimento;
- 9 - O tráfego automóvel é, no momento presente, a principal causa da degradação da qualidade do ar na cidade de Lisboa, dado que é a principal origem de poluentes prejudiciais à saúde humana;”.

Na 2ª fase que entrou em funcionamento a 1 de abril de 2012, ver deliberação nº105/CM/2012, alargaram a área afeta à ZER que passou a compreender duas zonas (ver figura 2.4), e foram aumentadas as normas de emissão EURO ficando:

- a) Zona 1: apenas podem circular veículos que respeitassem a norma de emissão EURO 2 (veículos construídos no ano de 1996 e posteriores);
- b) Zona 2: apenas podem circular veículos que respeitassem a norma de emissão EURO 1 (veículos construídos no ano de 1992 e posteriores).

Na 3ª fase da ZER de Lisboa, em vigor desde 15 de janeiro de 2015, foi aumentada a exigência em termos ambientais, passando a ser as seguintes:



**Figura 2.4. Áreas afetas à ZER na cidade de Lisboa**

- a) Zona 1 – apenas podem circular veículos que respeitem as normas de emissão EURO 3 (veículos ligeiros fabricados depois de janeiro de 2000 e pesados depois de outubro de 2000);
- b) Zona 2 – apenas podem circular veículos que respeitem as normas de emissão EURO 2 (em geral, veículos ligeiros fabricados depois de janeiro de 1996 e pesados depois de outubro de 1996).

Sendo o problema da qualidade do ar transversal a todas as grandes cidades mundiais, o modelo utilizado em Lisboa também já está a ser implementado noutras capitais como Madrid ou Paris, que já criaram planos para progressivamente restringir numa primeira fase a circulação dos carros mais poluentes, e numa segunda fase proibir a circulação dos veículos poluidores, permitindo só a circulação de veículos zero emissão (ZEV).

Numa posição recente do governo Alemão, a partir de 2030 todos os carros novos registados na Alemanha terão que ser ZEV, para que possam cumprir as suas metas de redução de poluição. O parlamento holandês recentemente aprovou por maioria uma moção para que só haja vendas de ZEV a partir de 2025, meta que a Noruega também está empenhada em cumprir. Em Paris no ano passado, durante a última Conferência do Clima, foi constituída a Aliança Internacional dos Veículos Zero Emissão com o objetivo de a partir de 2050 todos os veículos comercializados serem ZEV.

### 3. Veículos zero emissão

Os ZEV são cruciais para criarem uma solução alternativa aos veículos com motores de combustão interna (MCI), cuja evolução em termos de emissões tem evoluído mas que será impossível anular completamente, por limitações tecnológicas. São sinais dessa limitação tecnológica os recentes escândalos pela manipulação por várias marcas das emissões poluentes. A estratégia dos construtores automóveis tem sido muito diversa em relação à diminuição das emissões poluentes. Atingido um limite de evolução do MCI à volta das 100 g por 100 km, uma maior redução já é possível com a recuperação da energia cinética nas travagens regenerativas, evoluindo para os híbridos (ver figura 3.1). Noutra estratégia adotada por outros construtores permitiu o desenvolvimento de modelos com emissão zero, que se dividem em: veículo elétrico com *fuel cell* (FCVE) e o veículo elétrico (VE), como mostra a figura 3.1.

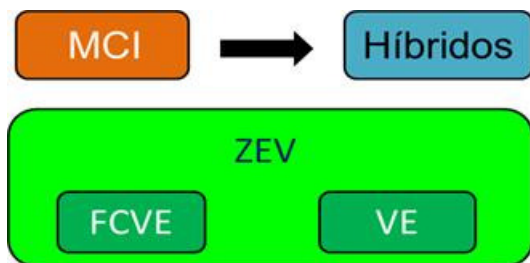


Figura 3.1. Evolução das tecnologias dos automóveis atuais

#### 3.1. Veículo elétrico com *fuel cell*

O FCVE é um automóvel com acionamento elétrico que utiliza as *Fuel Cell* para converter o hidrogénio em energia elétrica com a finalidade de carregar as baterias. Atualmente na Europa já estão a ser comercializados pela Hyundai o ix35 *Fuell Cell* e pela Toyota o Mirai.

##### - TOYOTA MIRAI

O Toyota Mirai (figura 3.2) tem um motor elétrico com 151 CV e uma bateria elétrica de níquel de hidretos metálicos (NiMH). O hidrogénio é armazenado num depósito com a capacidade de 5 kg que permite uma autonomia de 500 km.

O tempo de reabastecimento é só de 5 minutos, criando uma situação equiparada aos MCI.

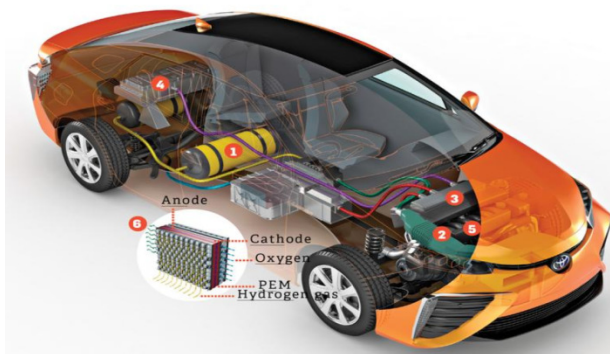


Figura 3.2. Toyota Mirai

Uma das vantagens dos FCVE face aos VE é a sua autonomia já atingir os 600 km (ix35 *Fuell Cell* da Hyundai). Outra vantagem é a elevada fiabilidade da fuel cell, pois um carro da GM já superou os 400.000 km numa fase de testes e poder utilizar o hidrogénio produzido a partir energia eléctrica gerada de excedentes de energias renováveis, situação existente atualmente em alguns países no norte da Europa.

Uma das desvantagens dos FCVE face aos VE é o seu preço, pois nesta primeira fase em que não são produzidos em grandes series, são mais caros. O preço atual do hidrogénio (comercializado a cerca de 10 euros por quilograma na Alemanha e Dinamarca) é sem dúvida a maior desvantagem, ficam comparáveis aos MCI, mas com um custo por quilometro mais elevado que os VE.

Atualmente as vendas dos FCVE face aos VE são reduzidas, mas são expressivas no norte da Europa, concretamente na Alemanha, Dinamarca e Inglaterra, onde a rede de abastecimento tem crescido e permitindo o seu abastecimento. A Dinamarca será o primeiro país do mundo a ter uma rede nacional de abastecimento de hidrogénio, permitindo a sua circulação em todo o país e ligações à Alemanha, ver figura 3.3 (esquerda). Como se pode ver na figura 3.3 (direita), na Dinamarca o hidrogéneo é mais um combustível disponibilizado num posto de abastecimento da Shell, ao lado do GPL (LPG na sigla inglesa).

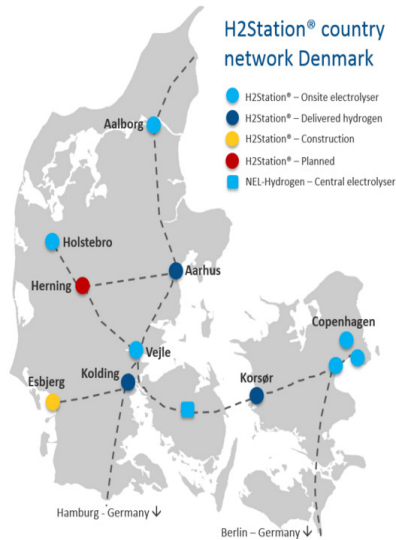


Figura 3.3. Rede de abastecimento de hidrogénio e posto de abastecimento de hidrogénio na Dinamarca

### 3.2. Veículos elétricos

O automóvel elétrico é um veículo com acionamento elétrico alimentado a partir de baterias, cuja autonomia está dependente da capacidade de armazenamento da mesma bateria.

Em 2015, em todo o mundo, foram vendidos 565.000 VE com um crescimento de 80% face ao ano anterior, mas correspondendo a 0,63% das vendas mundiais, pois no mesmo ano foram vendidas 89,7 milhões de carros novos.

Como se pode ver na figura 3.4, a China foi o país com maiores vendas em 2015, ultrapassando as 200.000 unidades

e praticamente triplicando face ao ano anterior, mesmo assim corresponde a uma cota das vendas totais muito reduzida. Por outro lado, na Noruega a cota de vendas de VE face aos veículos convencionais já ultrapassou os 20% [IEA].

Um dos aspetos que tem sido apontado como inibidor da maior penetração dos VE é o custo das baterias, mas como se pode ver na ver figura 3.5, o custo das baterias tem diminuído substancialmente, enquanto que a sua densidade energética tem aumentando. As metas definidas por dois construtores (GM e Tesla) para os próximos anos, mostram a evolução que se prespetiva a curto prazo, e sendo no sentido de uma acentuada melhoria destes dois parâmetros.

EV sales and market share in a selection of countries and regions, 2015

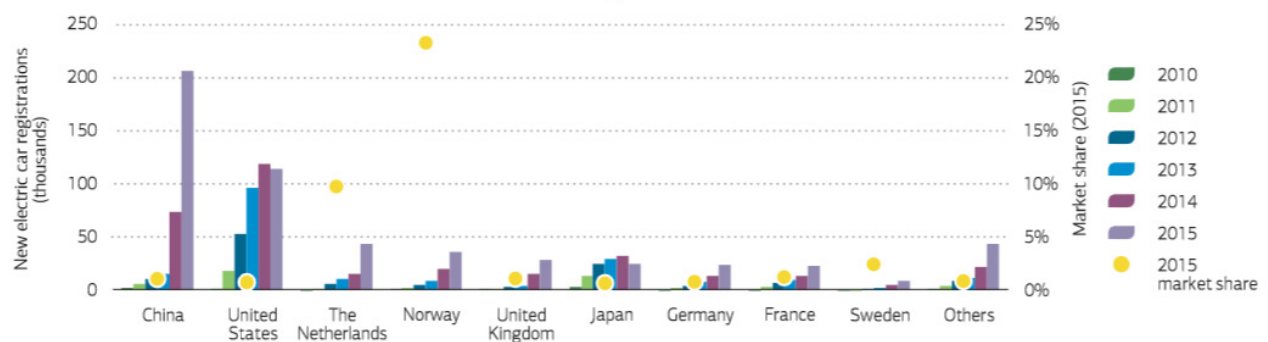


Figura 3.4. Evolução das vendas de VE nos últimos cinco anos [IEA]

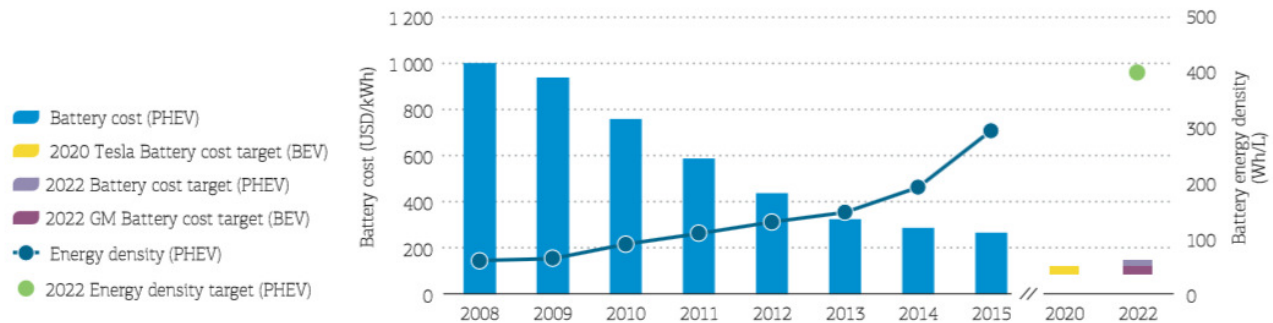


Figura 3.5. Evolução do custo e da densidade energética das baterias [IEA]

Um estudo publicado em Novembro de 2015 pela *Union of Concerned Scientists* [[www.ucsusa.org/](http://www.ucsusa.org/)] compara as emissões nos seus "ciclos de vida" de veículos elétrico com bateria (BEV) com os veículos a gasolina semelhantes. Os dois BEV estudados são os dois modelos mais vendidos nos Estados Unidos atualmente: o Nissan LEAF (*midsize*) e o Tesla Model S (*full-size*). Tem em conta as emissões para a produção de eletricidade para alimentar os dois BEV e avalia as emissões em todo o ciclo de vida, tendo em conta:

- As matérias-primas para fabrico dos carros;
- O seu fabrico;
- Consumo de combustível na sua vida útil;
- A sua eliminação ou reciclagem.

Os valores encontrados neste estudo são claramente esclarecedores, pois há uma redução de 51% no carro de gama média e 53% no carro de gama alta, ver figura 3.6, para os valores globais de emissão.

Uma das vantagens dos VE face aos FCVE é o seu preço, pois comparativamente são mais baratos. Ao utilizarem diretamente a energia elétrica são mais eficientes do ponto de vista energético e torna o seu custo por quilómetro mais reduzido.

As desvantagens dos VE face aos FCVE irão na próxima década desaparecer, já que a autonomia ultrapassará os 500 km. Está prevista uma forte redução do custo das baterias com o aumento de escala a sua produção, e um aumento acentuado da sua fiabilidade e durabilidade.

FIGURE 7. Life Cycle Global Warming Emissions from the Manufacturing and Operation of Gasoline and Battery-Electric Vehicles

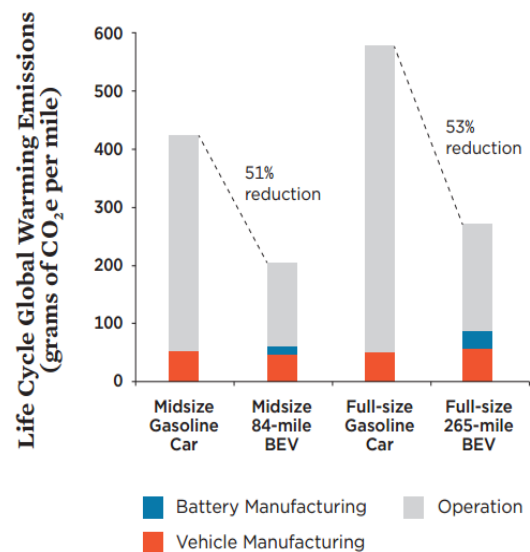


Figura 3.6. Comparação das emissões globais entre VE e carros a gasolina [[www.ucsusa.org/](http://www.ucsusa.org/)]

#### 4. Mobilidade elétrica

Os primeiros VE foram construídos na década de 30 do século XIX (ver figura 4.1) e só passado 50 anos é que é descoberto o ciclo termodinâmico OTTO que permitiu a construção dos MCI. Em 1900, 28% dos carros nos USA eram elétricos. Com a era do petróleo barato, os carros com MCI dominaram completamente o mercado automóvel. No início do século XXI, os problemas ambientais, as sucessivas crises do petróleo e a evolução das baterias provocaram o renascer do seu interesse.



Figura 4.1. Os primeiros VE

Atualmente estão disponíveis os VE, de gama média, considerados de primeira geração, com uma bateria até 30 kWh e autonomia até 200 km, ver figura 4.2. A partir de 2017 será comercializado a 2ª geração em que a bateria e a autonomia é duplicada em relação à primeira geração. Prevê-se que em 2020 será comercializado a 3ª geração com valores triplos dos atuais.



Figura 4.2. As várias gerações de VE de gama média

### 3.1. Situação atual

A situação atual dos VE é caracterizada pelo domínio de dois modelos de duas marcas: o Nissan Leaf, na gama média, e o Modelo S da Tesla, na gama alta (berlinas de luxo). Mas o seu êxito está a provocar mudanças na estratégia dos fabricantes de referência, perspetivando-se na próxima década o lançamento de muitos modelos elétricos, para também responderem à necessidade de redução de poluição que muitos governos querem cumprir para atingirem as metas que politicamente estão comprometidos.

É exemplo dessa mudança a recente divulgação de o grupo VW do objetivo de lançar 30 modelos elétricos até 2025 e

querer liderar o mercado dos VE, prevendo o fabrico de 2 a 3 milhões destes modelos em 2025. Após esta divulgação, o grupo FIAT e o grupo Land Rover Jaguar alteraram também a sua estratégia, no sentido de incrementarem o desenvolvimento de VE. De seguida são analisados os dois VE que dominaram o mercado em 2015.

#### - NISSAN LEAF

O Nissan Leaf (figura 4.3) tem um motor elétrico síncrono de ímãs permanentes, com 109 CV (280 NM) e a sua velocidade máxima é limitada a 145 km/h. A sua bateria de iões de lítio está colocado na plataforma (piso) e inicialmente tinha a capacidade de 24 kWh, mas a partir de janeiro de 2016 também já está disponível com bateria de 30 kWh. O fabricante aponta melhorias da autonomia muito acima do aumento da capacidade da bateria por evolução química da mesma.

A autonomia medido no ciclo NEDC (europeu) é de 199 km (24 kWh) e 250 km (30 kWh). Com o ciclo EPA (americano) a autonomia baixa para 135 km (24 kWh) e 172 km (30 kWh), devido a este ciclo exigir no seu teste 55% dos quilómetros percorridos serem em cidade e 45% em autoestrada. O consumo médio é de 15 kWh/100 km (ciclo NEDC) e subindo para 18,6 kWh/100 km (ciclo EPA).

O tempo de carga irá depender da potência disponível. Nas nossas garagens com uma tomada de 3,3 kW (16 A) em cerca de 8 horas (24 kWh/3,3 kW) e com uma tomada com 6,6 kW em cerca de 4 horas (24 kWh/6,6 kW). Com carga rápida de 50 kW DC, 80% da carga demorará cerca de 30 minutos.

Após 5 anos de vendas, as baterias dos Leaf vendidos na Europa registam uma taxa de fiabilidade de 99,99%, pois o fabricante divulgou que foram substituídas unicamente 2 baterias em 35.000 unidades vendidas. Estes primeiros dados sobre a fiabilidade e durabilidade da bateria do Leaf são muito importantes, não se confirmando o receio inicial sobre as baterias, que se apontava a necessidade de as substituir ao fim de 3 a 5 anos.



Figura 4.3. Nissan Leaf

Sendo os VE à partida considerados carros citadinos, foi recentemente divulgado um caso que contraria esta afirmação. Um Nissan Leaf com 5 anos adquirido nos USA, o seu proprietário (Steve Marsh) anda 200 km diariamente. Com a mesma bateria (24 kWh) já percorreu 241.000 km e a autonomia atual é 52% da inicial (70 km reais), ou seja já perdeu 5 das 12 barras. A perda de autonomia tem a ver com o número de cargas que são realizadas, mas o futuro aumento da capacidade da bateria irá minimizar este problema, pois com uma carga irá aumentar a autonomia e por isso necessitando de menos cargas.

Outro Nissan Leaf com 3 anos vendido no Porto, o seu proprietário (António Flores) anda 50 km diariamente. Com a mesma bateria (24 kWh) já percorreu 28.631 km e a autonomia atual é igual à inicial, ou seja, ainda não perdeu nenhuma das 12 barras, ver figura 4.4 (direita). Na mesma figura, também se pode ver que com a bateria a 100% a autonomia atinge 162 km, um valor entre os valores dos dois ciclos referidos anteriormente, pois este cálculo é efetuado com base do histórico dos últimos consumos.

Como se pode ver na parte esquerda da figura 4.3, o consumo médio acumulado é de cerca de 15 kWh/100 km, ou seja o custo até ao momento foi de 1,5 euros/100 km, se se considerar carga noturna no período de vazio com dupla tarifa (0,1 euro/kWh).

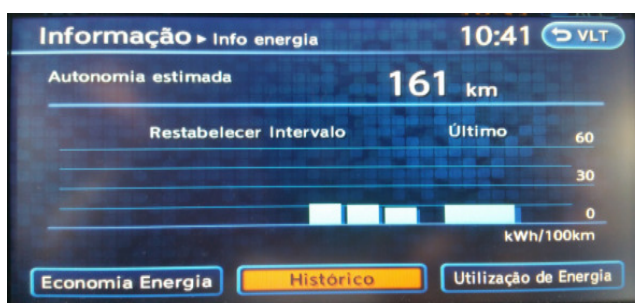
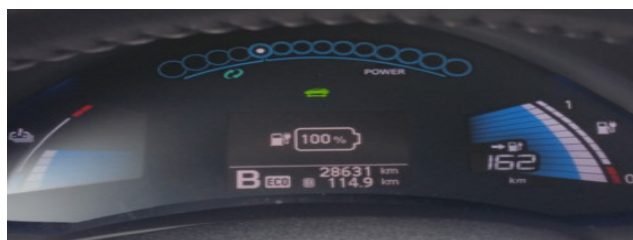


Figura 4.3. Situação de um Nissan Leaf com 3 anos

As frotas como as dos táxis, por percorrerem muitos quilómetros diariamente, são importantes para aferir a fiabilidade e durabilidade dos carros. Por outro lado, os VE são os carros ideais para serem usados como táxis, dado que circulam maioritariamente nas zonas urbanas, muitas horas por dia, e são em termos ambientais neutros.

Por estas razões, é importante a recente divulgação pela Nissan referente às vendas de Leaf e e-NV200 para frotas de táxis (figura 4.4). As vendas atingiram as 550 unidades em 17 países europeus e 44 cidades.

Os táxis europeus diariamente percorrem em média 240 km tendo um custo de manutenção inferior em 40 % face aos carros diesel.

Um táxi na Estónia já percorreu 214.000 km, mas não é referido se manteve a mesma bateria.



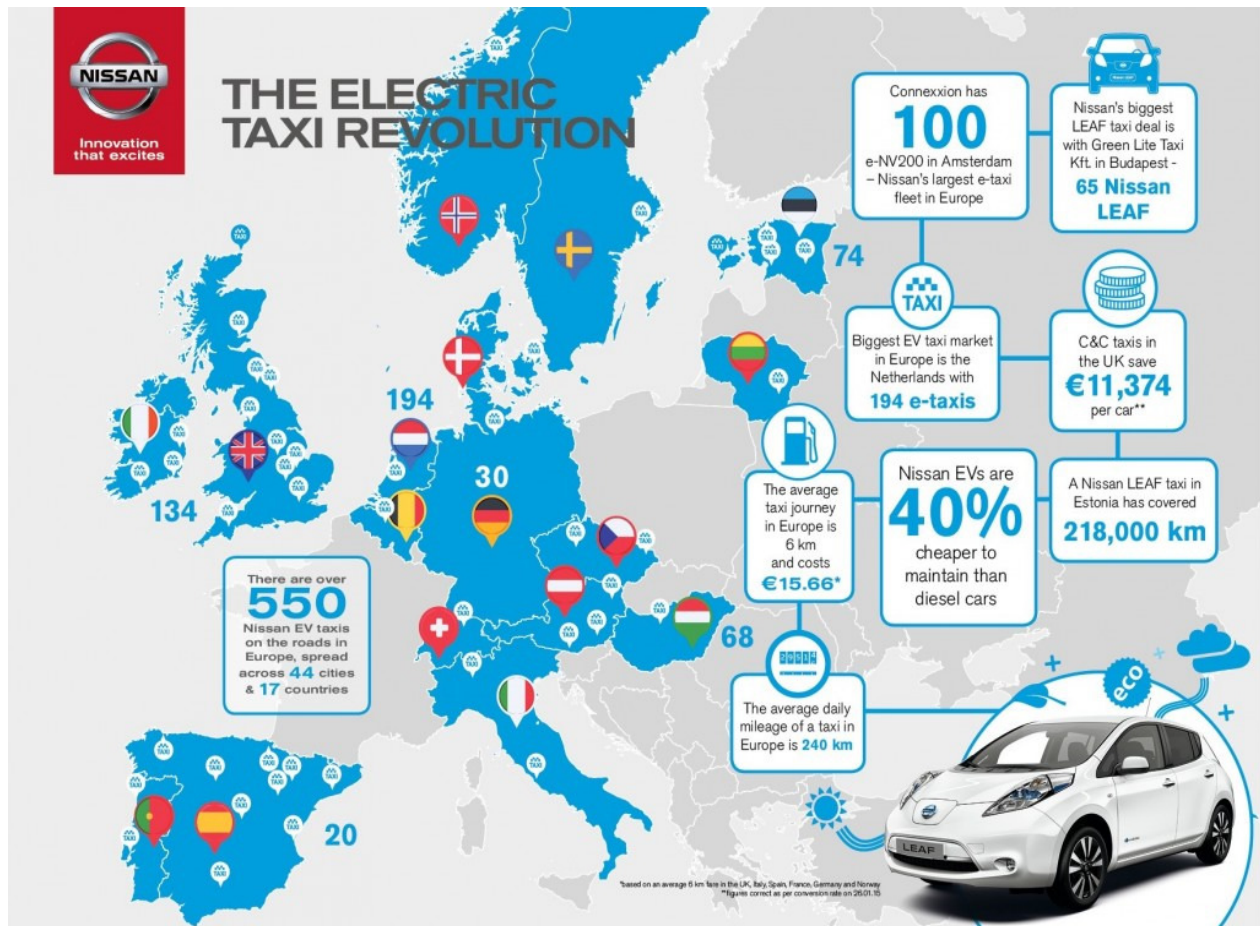


Figura 4.4. Vendas da Nissan para frotas de táxis

- **TESLA MODELO S**

A Tesla Motors é uma empresa americana fundada em 2003, com a finalidade de desenvolver e comercializar carros elétricos. O Modelo S é o segundo modelo lançado pela Tesla em 2012 e pertence ao segmento da gama alta (figura 4.5 esquerda).

A sua bateria está colocada na plataforma, ver figura 4.5 esquerda, e dado o seu peso (544 kg para a versão de 85 kWh) baixa o centro de gravidade e aumenta a estabilidade do carro. Utiliza 1 motor de indução trifásico (334 CV/439 NM a 228 CV/600 NM) ou 2 motores para a tração às quatro rodas (totalizando 700 CV/931 NM), consoante a versão, figura 4.5 direita.



Figura 4.5. O Tesla Model S

Na versão mais performance percorre os 0 a 100 km em 3 segundos. A bateria tem evoluído com ganhos crescentes de capacidade, e neste momento são disponibilizadas baterias com 70, 85 e 90 kWh e em breve haverá uma subida para 100 kWh.

A autonomia, no ciclo EPA, está entre os 386 km (70 kWh) até aos 460 km (90 kWh). A tesla prevê na próxima década o aumento da autonomia para 1.000 km. A velocidade máxima é de 225 km/h (70 kWh) e 250 km (85 kWh). O consumo médio (ciclo EPA), está entre 20,49 kWh/100 km (70 kWh) e os 22,36 kWh/100 km (85 kWh). Vem com um carregador interno de 10 kW ou por opção de 20 kW, e em 30 minutos ganha uma autonomia de 480 km nos supercarregadores de 120 kW que a Tesla disponibiliza.

Em 2015 e segundo a Forbes, na Europa a berlina de luxo mais vendida foi o Tesla S (15.787 unidades) seguida pelo Mercedes S (14.990), com 4000 unidades vendidas na Noruega. Nos USA no ano de 2015, também foi a berlina de luxo mais vendida, ver figura 4.6, sendo o único modelo que em 2015 aumentou as vendas face ao ano anterior. Sendo este segmento muito importante e valioso em termos financeiros, a

liderança da Tesla no mercado europeu e americano, é já uma ameaça às marcas tradicionais, provocando já uma mudança de estratégia de algumas marcas face aos VE. É também de salientar a apetência dos consumidores para esta nova solução tecnológica ambientalmente neutra. De salientar também que no ano de 2015 foi o VE mais vendido (42.730) seguido pelo Nissan Leaf (42.270).

- **Fiabilidade**

Num estudo realizado pela revista Plug in América [http://www.pluginamerica.org], a partir de dados reais dos proprietários dos Teslas S, chegaram à seguinte conclusão: a bateria de 85 kWh após 160.000 km percorridos apresenta uma redução inferior a 10% de autonomia. Esta redução é verificada na linha de tendência no gráfico da figura 4.7.

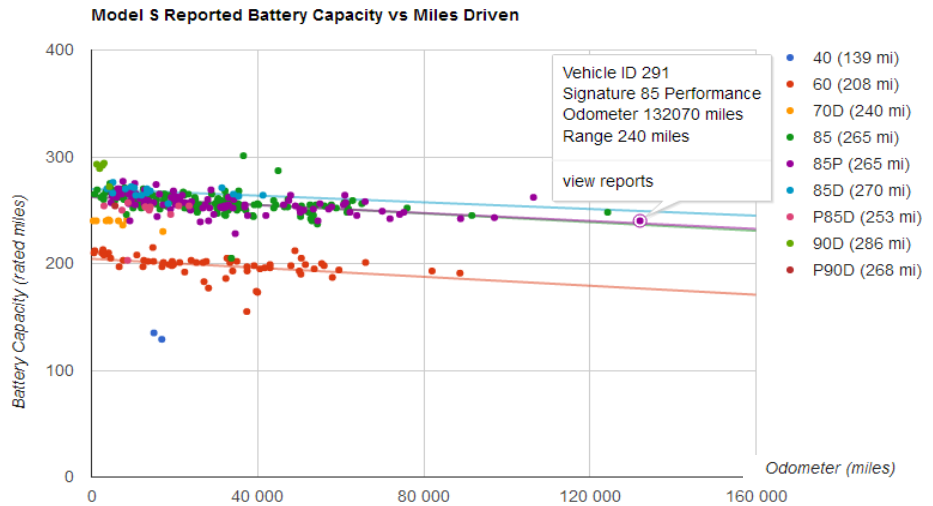
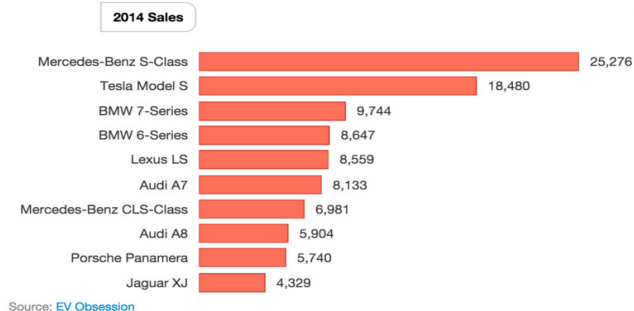


Figura 4.7. Redução da autonomia do Tesla Model S

US Large Luxury Car Sales

Tesla Model S sales are an estimate from EV Obsession.



US Large Luxury Car Sales

Tesla Model S sales are an estimate from EV Obsession.

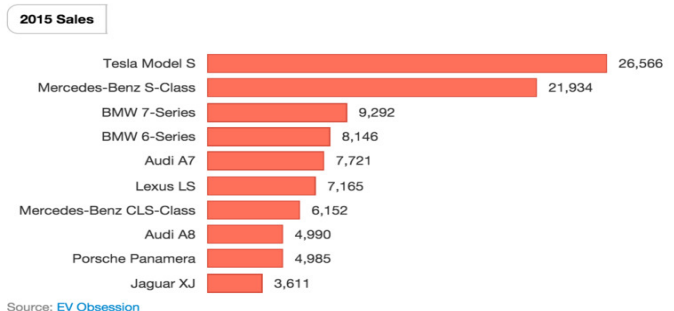


Figura 4.6. Vendas do Tesla Model S em 2014 e 2015 nos USA

No mesmo estudo são reportados os dados da manutenção/reparação em relação ao ano de fabrico e apresentados na figura 4.8. Estes dados não cobrem todas as unidades vendidas pela Tesla, ver vendas no lado direita do figura 4.8, o que relativiza os mesmos dados. Mas é de salientar a redução da taxa de avarias nos modelos mais recentes face às unidades fabricadas nos primeiros 3 anos. As avarias reportadas localizam-se nas unidades de tração, baterias e carregadores.

- **Situação real**

O taxista francês Stéphane Arputzo (fig. 4.9 esquerda) que trabalha na zona de Marselha comprou um Tesla Model S 85, no passado mês de Dezembro. Aponta como motivos para a sua compra:

- ter condução autónoma;
- ser muito confortável por ter suspensão pneumática;
- Muito económico, espera poupar 11.000 por ano, dado que por dia anda 500 km e cerca de 12.000 km por mês;

- Vai de Marselha a Paris (750 km de ida e volta) realizando cargas nos pontos de carga rápida da Tesla (fig. 4.9 direita).

- **Autocarros**

Outro segmento que a mobilidade elétrica irá contribuir para a redução de poluição em geral e em especial nas cidades é no sector de transporte rodoviário de passageiros. Atualmente os autocarros utilizam MCI a diesel ou gás natural.

O fabricante chinês BYD, neste momento lidera o mercado mundial de autocarros elétricos com uma produção em 2015 de 10.000 unidades. São dotados de baterias de 345 kWh (lítio de fosfato de ferro), que lhes permite uma autonomia de 310 km, suficiente para os trajetos a realizar num dia. Recentemente forneceu autocarros para a cidade de Londres, com dois andares, dando uma garantia de 12 anos para a sua bateria (figura 4.10 esquerda). O fabricante espanhol IRIZAR já lançou o seu autocarro elétrico em Espanha, com bateria de sódio-níquel de 376 kWh e um motor elétrico com 313 CV (figura 4.10 direita).

| Year | Vehicles | Median Odo Miles | Drive Unit Swap % | Battery Swap % | Charger Swap % |
|------|----------|------------------|-------------------|----------------|----------------|
| 2012 | 106      | 29,284           | 37.7              | 16.0           | 9.4            |
| 2013 | 255      | 23,450           | 29.4              | 5.9            | 4.3            |
| 2014 | 70       | 17,500           | 20.0              | 1.4            | 5.7            |
| 2015 | 52       | 9,012            | 3.8               | 1.9            | 0.0            |
| 2016 | 9        | 1,114            | 0.0               | 0.0            | 0.0            |
|      | 492      |                  |                   |                |                |

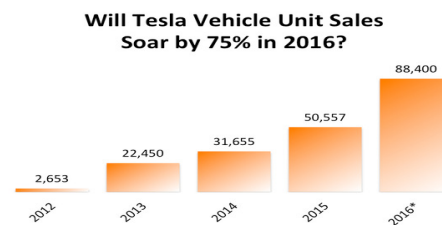


Figura 4.8. Dados da manutenção/reparação e correspondentes vendas em relação ao ano de fabrico do Tesla Model S



Figura 4.9. Redução da autonomia do Tesla Model S



Figura 4.10. Autocarro elétrico BYD (esquerda) e Irizar (direita)

O fabricante português Salvador Caetano, recentemente apresentou um novo autocarro para transporte urbano 100% elétrico e silencioso – o e.City Gold (figura 4.11), totalmente desenvolvido em Portugal. Segundo o fabricante, o investimento inicial é superior face aos tradicionais a gasóleo mas recuperável em 6 anos.



Figura 4.11. Autocarro elétrico o e.City Gold, da Salvador Caetano

#### - Camiões

O transporte rodoviário de cargas é outro segmento que a mobilidade elétrica permitirá contribuir para a redução de poluição.

A IVECO desenvolveu o camião elétrico de 18 toneladas E-FORCE (figura 4.12 esquerda), com baterias de 240 kWh (lítio de fosfato de ferro), com uma autonomia de 200 km (autoestrada) e 300 km (cidade). O tempo de carga da bateria é de 6 horas com um carregador de 44 kW. Os consumos apontados são de 60 a 90 kWh/100 km, dependente do tipo de trajeto. Um camião equivalente a gasóleo tem um consumo de 31 litros.

O grupo Daimler desenvolveu em Portugal, no Tramagal, a FUSO ELECTRIC CANTER (figura 4.12 direita) numa versão experimental para testes. Os 8 camiões de 3 toneladas fabricados tiveram um cofinanciamento do Governo Português através do IAPMEI. Dotado de um motor elétrico com 150 CV/650 NM e baterias de 48,4 kWh (iões de lítio) que permitem uma autonomia de 100 km. Os testes foram realizados em frotas de várias Camaras Municipais, CTT e REN. Após o período de testes, os resultados apontam para uma poupança nos custos operativos de 65%, ou seja 1.000 euros por cada 10.000 km percorridos.



Figura 4.12. Camião elétrico IVECO E-FORCE e o FUSO ELECTRIC CANTER

### - Bicicletas e motos

As bicicletas e motos permitem uma grande mobilidade nas cidades e por isso são imprescindíveis para a mobilidade elétrica.

Várias marcas consagradas lançaram no mercado bicicletas elétricas, como por exemplo o grupo Daimler que já comercializa a bicicleta elétrica Smart (figura 4.13), com uma autonomia de 100 km e travagem regenerativa.

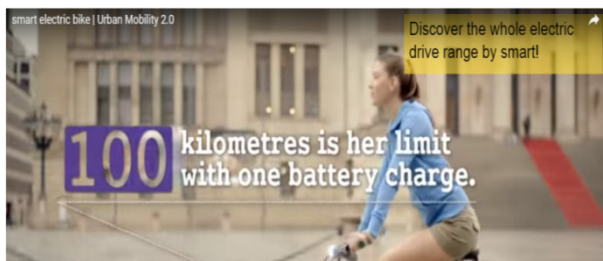


Figura 4.13. Bicicleta elétrica Smart

Os fabricantes tradicionais de motos estão atrasados em fornecer soluções elétricas, mas como se pode ver na figura 4.14 já existem modelos elétricos no mercado.

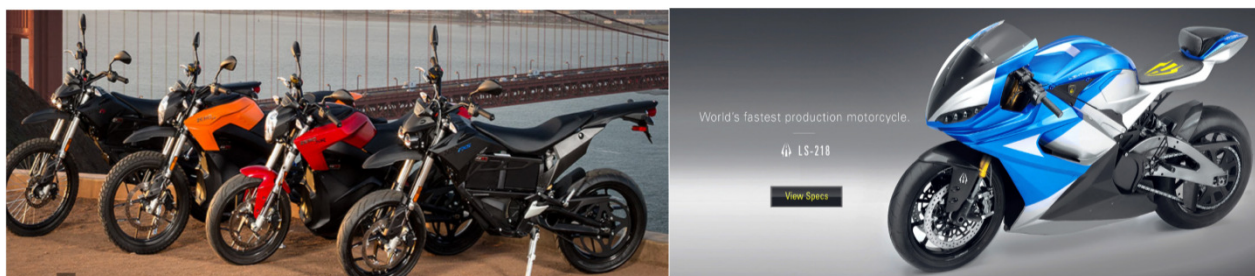


Figura 4.14. As motos elétricas ZERO ([www.zeromotorcycles.com](http://www.zeromotorcycles.com)) e a LIGHTNING (<http://lightningmotorcycle.com/>)



Figura 4.15. VW e-Golf, BMW i3 e o novo Hyundai Ioniq

### 3.2. Situação futura (2016 a 2018)

Os VE estão a atravessar uma fase de grande dinâmica e evolução que irá permitir torná-los numa opção cada vez mais interessante para os consumidores. O que se perspetiva a curto prazo irá aumentar a autonomia, com as atualizações das baterias de 1ª geração:

- A VW irá atualizar o seu e-golf (figura 4.15 esquerda) em 2016. O motor elétrico irá evoluir de 116 CV para 164 CV e a bateria de 24,2 para 35,8 kWh, passando a autonomia para 300 km (ciclo NEDS) ou 174 km (ciclo EPA);
- A BMW irá atualizar o seu i3 (figura 4.15 centro) em 2016. A bateria irá evoluir de 22 para 33 kWh, só por evolução tecnológica mantendo o seu peso e volume ocupado, aumentando a autonomia para 183 km (ciclo EPA);
- A Hyundai irá lançar o seu primeiro VE (figura 4.15 direita) em 2016 na Europa. O Ioniq, terá um motor elétrico com 120 CV e bateria de 28 kWh. A autonomia anunciada é de 169 km (ciclo EPA).

O primeiro VE de segunda geração, do segmento médio, será lançado pela Opel em 2017. O Ampera-e (figura 4.16 esquerda), virá com motor elétrico com 200 CV e uma aceleração de 0 a 100 km num tempo inferior a 7 s. Dotado da primeira bateria de 60 kWh do segmento em que se insere, terá uma autonomia de 320 km em fase de homologação pelo ciclo EPA.

A Tesla apresentou o seu primeiro VE do segmento médio no passado dia 31 de Março. O Modelo 3 (figura 4.16 centro) terá um motor acima dos 200 CV que irá permitir uma aceleração de 0 aos 100 km num tempo inferior a 6 s. Dotado também com uma bateria de 60 kWh, terá uma autonomia anunciada de 345 km ainda não homologada pela EPA. A Tesla esperava, numa previsão mais otimista, que ao fim do primeiro mês tivesse 135.000 reservas provenientes de todo o mundo, mas as reservas subiram até às 373.000 unidades, o que cria uma situação extremamente complexa para um fabricante que em 2015 produziu só 55.557 VE.

A Nissan irá lançar em 2018 o novo Leaf (figura 4.16 direita) com bateria de 60 kWh e autonomia de 547 km (ciclo NEDS). Mas irá manter a bateria de 30 kWh numa versão mais barata, para clientes que a sua menor autonomia não será crítica.

### 3.3. Carregamento de bateria

Nos VE toda a energia está armazenada na sua bateria, necessitando periodicamente de ser carregada a partir de um ponto de carga alimentado por energia elétrica. O tempo de carga é um dos fatores mais críticos apontados a este tipo de veículos.

As baterias atuais, além das cargas lentas com um tempo de carga dependente da potência disponível do ponto de carga, também já admitem cargas rápidas com tempo de carga típico de 30 minutos. Na situação mais simples e económica, o carregamento poderá ser efetuado a partir de uma tomada doméstica, nas nossas casas.

#### - Carregamento doméstico

Para ser possível realizar o carregamento doméstico, a instalação elétrica da habitação tem que disponibilizar no mínimo a potência de 3,3 kW. Caso o contrato de fornecimento de energia elétrica for de dupla tarifa, o carregamento lento noturno do VE é o mais económico, por utilizar a tarifa mais baixa. O número de horas necessárias para carregar a bateria irá depender da capacidade da bateria e do seu nível de descarga, como já analisado anteriormente.

Nas garagens coletivas dos prédios as tomadas normalmente são de serviços comuns, levantando por isso vários tipos de problemas: como realizar o controlo do consumo para posterior pagamento e a potência disponível irá limitar o número de VE, no mesmo prédio, a carregar em simultâneo. As redes elétricas foram projetadas tendo em conta fatores de simultaneidade inferiores a 1, pois na prática verifica-se que a probabilidade de em simultâneo os consumidores ligarem as suas cargas elétricas é baixa, diminuindo consoante aumento o número de consumidores considerados. Com a perspetiva da crescente penetração dos VE para as próximas décadas, a probabilidade de em simultâneo os consumidores colocarem os seus VE em carga lenta, aumenta, e em consequência poderá levar à



Figura 4.16. Opel Ampera-e, Nissan Leaf versão 2018 e Tesla Modelo 3

saturação das redes elétricas. Esta saturação poderá ser ao nível de alimentação BT da nossa rua ou prédio, no próprio PT ou mesmo nas redes MT. Uma possível solução passará pela gestão inteligente das redes elétricas, ajustando a hora do carregamento do VE de cada consumidor, de acordo com a disponibilidade da rede, tendo em conta o seu perfil de necessidade diária de carga.

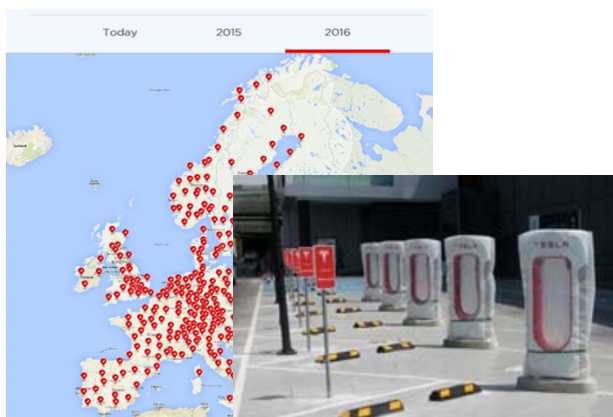
#### - Rede pública de carregamento

Portugal tem uma Rede Nacional de Mobilidade Elétrica (MOBI.E) com 442 pontos de carga, sendo na maioria pontos de carga lentos (3,7 kW) e em número reduzido de pontos de carga rápida (50 kW ou superior). Com as baterias atuais (30 kWh), um ponto de carga lento colocado na via pública, no limite, fica ocupado cerca de 8 horas (30 kWh/3,7 kW) só por um VE, limitando a possibilidade de outras usufruírem de um bem que é público. Com a prevista duplicação da capacidade das baterias dos modelos do segmento médio (60 kWh), este problema irá se agravar, tornando estes pontos de carga ainda mais desadequados. Uma possível solução é a evolução para pontos de carga rápida adequados às novas exigências que as 2ª e 3ª geração de VE irão exigir.

A Tesla sempre considerou que este seria um problema crítico para a penetração dos seus VE no mercado automóvel e por isso está a desenvolver uma rede mundial de postos de supercarregamento com 120 kW (ver figura 4.17), que permitem em 30 minutos carregar 60 kWh. Mas, aconselha os seus clientes a realizarem normalmente o carregamento lento nas suas casas, caso percorram curtas distâncias

diariamente, e a utilizarem os seus supercarregadores nas suas deslocações mais longas.

Em Portugal está prevista a abertura de três postos de supercarregamento: Porto, Lisboa e Algarve (figura 4.18 direita), sendo o número suficiente para percorrer o nosso país, dado o seu nível de autonomia atual. Em Espanha já estão em funcionamento os postos de Madrid, valência, Granada e Murcia. O posto de Murcia utiliza as infraestruturas de um centro comercial e localiza-se junto a duas autoestradas (figura 4.18 direita). A Tesla está agora empenhada de instalar além dos seus supercarregadores, também lentos, em diversos pontos onde as suas vendas justifiquem e onde já existam infraestruturas elétricas: hotéis, centros comerciais e mesmo postos de abastecimento convencionais. Para ter acesso à sua rede mundial de supercarregadores é necessário o pagamento inicial de 2000 dólares, sendo depois os carregamentos grátis.



**Figura 4.18. Rede europeia de postos de supercarregamento da Tesla (esq.) e à direita o recente posto em Murcia (Espanha)**



**Figura 4.17. Supercarregadores da Tesla**

### - Solução para resolver o problema dos carregamentos em Portugal

A penetração de VE em Portugal tem sido reduzida, mas com a chegada da 2ª geração, a partir do próximo ano com baterias de 60 kWh, conjugado com a também prevista redução do seu preço, é realisticamente previsível um aumento acelerado de vendas.

Na hora da decisão de o comprar, o consumidor terá que primeiro equacionar onde irá carregar o seu carro. Com a rede atual da MOBI.E, não será um problema fácil de resolução, por maioritariamente ser constituída por pontos de carga lenta.

A instalação de uma rede de carregadores rápidos em número equivalente, pelo menos aos dos postos de abastecimento de combustíveis convencionais, seria a solução mais sensata, para as zonas urbanas que maioritariamente são constituídos por prédios multifamiliares.

O aproveitamento das infraestruturas elétricas existentes, como por exemplo nos centros comerciais ou mesmo nos postos de abastecimento atuais, baixaria o investimento, que depois se poderia traduzir num menor pagamento no carregamento. Ao longo das vias rodoviárias principais, a instalação de postos de carregamento rápido, nas áreas de serviço existente ou perto dos nós de acesso, seria o ideal para percursos mais longos.

#### Notas soltas:

#### Grau de proteção contra os impactos mecânicos (Código IK)

EN 62262 - Graus de segurança assegurada pelos invólucros para equipamentos elétricos contra impactos mecânicos externos (código IK).

A designação do invólucro de um aparelho em relação ao grau de proteção contra os impactos mecânicos deverá ser realizada da seguinte forma: IK XX

#### Codificação do grau de proteção contra os impactos mecânicos (código IK)

|             | 1  | 2                               |
|-------------|--|---------------------------------|
| Posição     | Letras do código (Proteção mecânica internacional) | Grupo de números característico |
| Codificação | IK   | De 00 a 10                      |

#### Significado dos grupos de números característicos do grau de proteção contra os impactos mecânicos (código IK)

| Código IK | Energia de impacto (Joule) |
|-----------|----------------------------|
| 00        | Não protegido              |
| 01        | 0.14                       |
| 02        | 0.20                       |
| 03        | 0.35                       |
| 04        | 0.50                       |
| 05        | 0.70                       |
| 06        | 1                          |
| 07        | 2                          |
| 08        | 5                          |
| 09        | 10                         |
| 10        | 20                         |

Quando for necessário um valor de energia de impacto superior, é recomendado a utilização do valor de 50 Joule.



## CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS HÍBRIDOS - EVOLUÇÃO CRESCENTE DO GRAU DE ELECTRIFICAÇÃO

### Resumo

*Em resposta aos impactos ambientais e limitações dos combustíveis fósseis, assistiu-se nas últimas décadas a um acentuado desenvolvimento dos veículos híbridos elétricos convencionais. A sua proliferação encontra-se hoje bem disseminada, em praticamente todas as gamas, refletindo a confiança dos consumidores. Com vista a atenuar ainda mais o uso dos combustíveis fósseis, a tendência é de aumentar o nível de eletrificação nas versões híbridas mais recentes, bem como da oferta de versões puramente elétricas. No entanto, a evolução dos últimos anos, quer ao nível da aposta por parte dos fabricantes, quer ao nível do volume de vendas, parece indicar uma nova fase de proliferação destes veículos, a qual se encontra ainda a dar os primeiros passos. Este artigo apresenta uma classificação dos veículos híbridos, em função do nível de eletrificação do sistema de propulsão. Após uma breve referência aos veículos puramente elétricos, fazem-se algumas considerações acerca do impacto mundial dos veículos híbridos Plug-in e puramente elétricos, nos últimos 5 anos.*

### 1. Introdução

As limitações das reservas de combustíveis fósseis e flutuações de preços, bem como o impacto ambiental das emissões de gases de efeito de estufa, têm motivado a procura de soluções energéticas alternativas, por parte de governos e fabricantes de automóveis. Com efeito, é no sector dos transportes que tais alternativas são mais urgentes: nos países membros da OCDE, 60% do consumo de produtos petrolíferos deve-se a este sector, sendo responsável por cerca de 25% das emissões globais de CO<sub>2</sub> [1]. De acordo com esta referência, os transportes rodoviários estão associados à maior fatia – 75% do consumo total neste sector.

Nos últimos 20 anos, os veículos híbridos elétricos (VH) e

puramente elétricos (VE), têm vindo a assumir-se como as alternativas mais promissoras aos veículos convencionais, baseados no motor de combustão interna (MCI). Para tal, têm contribuído os avanços em múltiplos domínios tecnológicos, tais como as máquinas elétricas, eletrónica de potência, sistemas de controlo e de armazenamento de energia [2], [3].

Embora sejam de registar avanços significativos nas tecnologias das baterias, há limitações importantes que não foram ainda superadas (e.g., preço, peso e volume elevados, densidades de potência e autonomias baixas, com tempos longos de carregamento). Sendo uma tecnologia considerada promissora, as células de combustível encontram-se ainda numa fase de desenvolvimento incipiente [3].

Estas desvantagens são responsáveis pela reduzida disseminação dos VE. Por seu turno, os VH aliam as características dos veículos convencionais às vantagens da propulsão elétrica (rendimentos mais elevados com menores emissões de gases poluentes e recuperação da energia de frenagem), sem as limitações de autonomia dos VE. Naturalmente, isto explica a maior aceitação verificada por parte dos consumidores. Dependendo do grau de eletrificação do sistema de propulsão, os preços dos VH podem ser bastante mais elevados do que as opções convencionais (MCI) [3].

As pressões crescentes de governos locais e regionais, quanto às limitações de emissões poluentes (em particular nos centros urbanos), têm motivado a indústria automóvel a intensificar e diversificar os seus esforços: por um lado, a melhoria contínua dos desempenhos, fiabilidade, segurança e conforto dos veículos convencionais, com um apertado controlo de custos [3], [4]; por outro, uma clara aposta no aumento da oferta comercial de VH e VE, bem visível nos

últimos 5 anos. No caso dos VH, a tendência é para uma crescente eletrificação do sistema de propulsão. Disso são exemplo os veículos Plug-in (PHEV) e Range *Extended Electric Vehicle* (REEV).

O principal objetivo deste artigo é apresentar uma classificação dos VH, associada à eletrificação da propulsão do veículo.

Far-se-á também uma breve referência ao impacto que as versões mais eletrificadas têm tido nos últimos anos. Deste modo, a estrutura do artigo é a seguinte: A secção 2 apresenta uma classificação dos VH baseada no índice de eletrificação do sistema de propulsão, de acordo com a terminologia usada pelos fabricantes. Segue-se uma breve descrição dos tipos de VE. A secção 3 faz uma análise sucinta da evolução das vendas de PHEV e VE (baterias) – global e local –, nos últimos 5 anos. Na secção 4 apresentam-se as conclusões.

### 3. Classificação com base no nível de eletrificação

A classificação apresentada nesta secção está intimamente relacionada com as características do sistema de propulsão considerado. Num artigo publicado em edição anterior [5], foram apresentados os principais tipos de propulsão atualmente utilizados nos VH e VE. Sempre que necessário, far-se-á aqui referência a essas configurações. A Figura 1 apresenta as designações mais usuais, associadas à eletrificação do sistema de propulsão.

Na literatura sobre este assunto, as definições de VH ou VE nem sempre são totalmente coincidentes. No presente artigo, consideram-se VH aqueles onde esteja presente o MCI; os sistemas de propulsão que integrem apenas

máquinas elétricas são aqui designados como VE. Como é visível na figura, há algumas diferenças em relação às definições usadas em [6].







#### 3.1. Veículos Híbridos

Neste grupo estão incluídas as designações HEV (híbridos convencionais), PHEV e REEV (Figura 1).

Na primeira, o papel da componente elétrica é secundário, sendo muito mais relevante nos veículos PHEV e REEV (nestes últimos a propulsão elétrica é mesmo a única).

A sequência das descrições seguintes assenta num grau crescente do nível da componente elétrica na propulsão do veículo: tal implica uma diminuição da potência do MCI, acompanhada do aumento da potência do(s) motor(es) elétrico(s) (ME), bem como do(s) conversor(es) de potência e das baterias. Tal contribui para um aumento do preço final e peso do veículo, em relação às versões MCI.

Como referido na introdução, o estado atual da tecnologia das baterias tem aqui uma influência muito significativa.

| portfolio of powertrains |  |   | Propulsion |                | Energy generation/source |                |                                       |
|--------------------------|--|---|------------|----------------|--------------------------|----------------|---------------------------------------|
|                          |  |   | ICE        | E-motor        | ICE                      | Plug-in        | Fuel Cell                             |
| ICE                      |  Volkswagen Golf            | Internal Combustion Engine<br>Driving with conventional combustion engine only                                      | ✓          |                | ✓                        |                |                                       |
| HEV                      |  Toyota Prius               | Hybrid Electric Vehicle<br>Driving with combustion engine and/or e-motor  | ✓          | ✓ <sup>1</sup> | ✓                        |                |                                       |
| PHEV                     |  Mitsubishi Outlander PHEV  | Plug-in Hybrid Electric Vehicle<br>Driving with combustion engine and/or e-motor, plug-in to recharge battery       |            | ✓ <sup>4</sup> | ✓                        | ✓              |                                       |
| REEV                     |  BMW i3 with range extender | Range Extended Electric Vehicle<br>Driving with e-motor only, ICE & plug in (or fuel cell) used to recharge battery |            | ✓              | ✓                        | ✓              | ✓ <sup>2</sup><br>Currently in pilots |
| BEV                      |  Nissan LEAF                | Battery Electric Vehicle<br>Driving with e-motor only and storing energy in battery                                 |            | ✓              |                          | ✓              |                                       |
| FCEV                     |  Hyundai ix35 fuel cell     | Fuel Cell Electric Vehicle<br>Driving with e-motor only and storing energy in hydrogen                              |            | ✓              |                          | ✓ <sup>3</sup> | ✓                                     |

<sup>1</sup> In HEV, PHEV and REEV, energy is also generated through regenerative braking  
<sup>2</sup> To charge battery  
<sup>3</sup> Usually generates electricity that directly powers drivetrain, alternative concepts in discussion (e.g. fuel cell as range extender or FCEV with plug-in)  
<sup>4</sup> Primacy of ICE or E-motor in PHEV varies across models  
 SOURCE: McKinsey

Figura 1. Designações dos Sistemas de Propulsão (função do nível de eletrificação) [6]

### 3.1.1 Híbridos Convencionais [7], [8]

Neste grupo, são usualmente considerados três níveis, em função da integração elétrica: *micro, mild e full hybrid*.

#### • Micro hybrid

Face aos veículos convencionais, a diferença está na possibilidade do gerador incorporado poder funcionar como motor, durante o arranque do MCI (*Integrated Starter Generator* - ISG). Deste modo, conseguem-se poupanças de energia quando o veículo está parado (MCI desligado). Algumas variantes com geradores de maior potência permitem frenagens regenerativas (em alguns documentos são designadas como *Micro-Mild hybrid*). Claramente vocacionado para condução citadina (arranques e paragens frequentes). O seu custo é ligeiramente superior ao veículo convencional, dado o reduzido grau de eletrificação.

#### • Full hybrid

O sistema de propulsão é do tipo série - paralelo ou série - paralelo complexa (ver [5]), havendo duas máquinas elétricas (motor e gerador) e MCI. Os sistemas de transmissão de potência são mais complexos (e.g. engrenagens planetárias), tornando mais flexível a divisão da potência requerida (entre MCI, ME, GE e sistema de armazenamento de energia). Deste modo, o desempenho do MCI é otimizado (i.e., rendimento máximo, com emissões mínimas). São possíveis os seguintes modos de propulsão (incluindo frenagens regenerativas):

- i. ME (arranque/paragem);
- ii. MCI (modo “*cruising*”, desempenho ótimo);
- iii. Modo combinado: ME (ou GE) + MCI. Por exemplo, o ME pode auxiliar o MCI nas acelerações; no caso da potência requerida ser inferior ao “ótimo ICE”, o excedente é convertido em energia elétrica pelo GE, sendo armazenada nas baterias.

### 3.1.2 PHEV (Plug-in Vehicles) [7], [8]

O sistema de propulsão é semelhante ao “*Full-Hybrid*”. As baterias são carregadas através de uma fonte exterior de energia elétrica, aproveitando também as frenagens

regenerativas. O sistema de baterias tem maior capacidade, comparando com as configurações anteriores, embora menor do que nos veículos puramente elétricos (VE). São de destacar os seguintes modos de propulsão:

- i. Trajetos curtos – Apenas propulsão elétrica, pelo que são as baterias que fornecem a energia requerida;
- ii. Trajetos longos – Quando o nível de carga das baterias (SOC) é inferior a um valor fixado, a propulsão MCI é ativada (modo híbrido).

A Figura 2 sintetiza as principais características das variantes descritas.

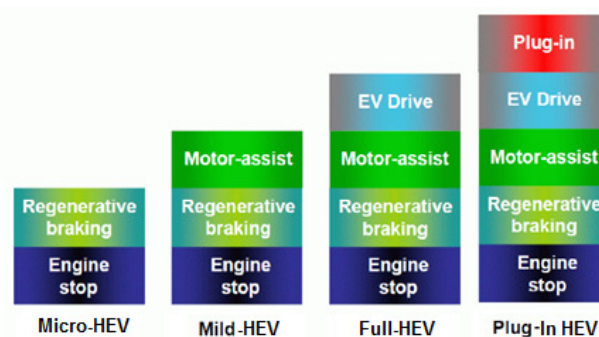


Figura 2. Sistemas de Propulsão: Híbridos Convencionais (micro, mild e full) e PHEV

É de realçar que a propulsão puramente elétrica apenas existe em Full-HEV e PHEV. Em todas estas variantes, o MCI participa diretamente no esforço de tração; tal não sucede na configuração seguinte (mais recente), na linha de uma maior relevância da componente elétrica.

### 3.1.3 REEV (Range Extended Electric Vehicles) [6]

Em termos de topologia, estes veículos assentam no sistema de propulsão série (ver [5]). Semelhantes aos PHEV (incluindo a possibilidade do carregamento exterior das baterias), a principal diferença dos REEV está no facto da propulsão ser feita exclusivamente por motores elétricos.

Como tal, o MCI funciona como máquina primária do gerador, sendo responsável pelo carregamento das baterias, somente quando a respetiva carga atinge um valor mínimo especificado.

Deste modo, o MCI permite estender a autonomia do veículo, em relação à carga inicial das baterias, proveniente da fonte exterior.

O peso e volume das baterias são normalmente menores, em comparação com a variante puramente elétrica (dependente da potência do gerador e da capacidade do depósito de combustível). Trata-se de um conceito recente, muito próximo dos veículos puramente elétricos. Esta configuração permite contornar o risco de a bateria ficar sem carga, durante o percurso previsto. Com efeito, este receio tem uma enorme influência no modo como os veículos puramente elétricos são encarados pela generalidade dos utilizadores.

### 3.2. Veículos elétricos (VE) [5]

Apenas incluem motores elétricos. Em termos de fontes de energia empregues há a distinguir as baterias das células de combustível.

#### 3.2.1 Baterias

Atualmente, as baterias mais usadas nos VE e VH são as de hidretos metálicos de níquel (NiMH) e de iões de lítio (Li-Ion). Particularmente nestas últimas, têm sido obtidos aumentos consideráveis nos valores da densidade de energia (de momento apresentam valores muito superiores aos restantes tipos de baterias). O tamanho e volume das baterias condiciona o projeto da estrutura mecânica do veículo, bem como o seu preço. Há uma clara tendência para a sua integração com supercondensados, aproveitando os elevados valores de densidade de potência destes últimos

#### 3.2.2 Células de Combustível

Embora apresentem um potencial elevado como alternativa aos veículos convencionais, esta tecnologia está ainda numa fase inicial. Trata-se de geradores de energia elétrica, resultante de reações eletroquímicas entre hidrogénio (combustível não poluente, com elevada densidade de energia, mas reduzida densidade de potência) e oxigénio. O produto destas reações é apenas vapor de água.

São, pois, dispositivos distintos das baterias (armazenadores de energia). A energia elétrica produzida nas células de combustível é usada na propulsão do veículo ou fornecida ao sistema de armazenamento de energia do veículo (e.g., baterias e supercondensados). O seu custo e, sobretudo, a necessidade de infraestruturas de fornecimento de hidrogénio colocam sérias interrogações sobre a sua proliferação.

Com base nas designações anteriores, a Tabela 1 apresenta alguns valores de referência sobre poupança de energia (em relação a veículos convencionais MCI), potência nominal do motor elétrico e níveis de tensão do sistema elétrico do veículo.

Tabela 1. Especificações por tipo de veículo [7], [8]

| Functions                      | Micro Hybrid                     | Mild Hybrid | Full Hybrid | Plug in hybrid (PHEV) | EV      |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|---------|
| Energy Savings                 | 5-10% (upto 25% in city traffic) | 10-25%      | 25-40%      | 50-100%               | 100%    |
| Electric Motor or ISG (1) (kW) | 3-5                              | 7-12        | 40          | 30-70                 | 50-100  |
| System (1) Voltage (V)         | 12-42                            | 150-200     | 200-350     | 300-500               | 300-500 |

(1) Massa do veículo inferior a 2000 kg

Na Figura 3 está ilustrada uma síntese desta secção, sendo de destacar as estimativas de redução de emissões de CO<sub>2</sub> (em relação a veículo equivalente MCI) e o custo do veículo.

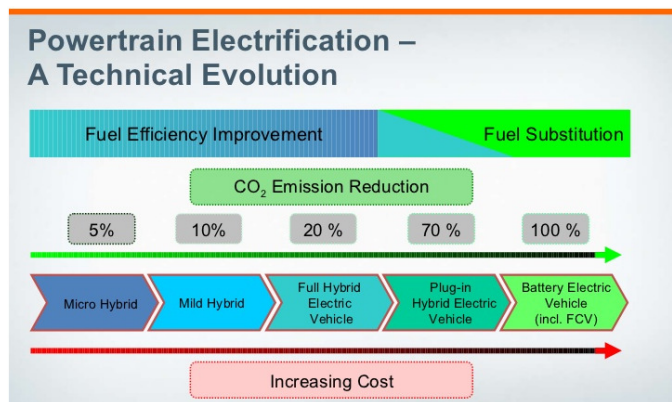


Figura 3. Sistemas de Propulsão: impacto da eletrificação [9]

No caso dos PHEV, BEV FCV é importante sublinhar que se tratam somente de reduções locais de emissões. O impacto ambiental real deverá contabilizar também as emissões associadas à produção da energia elétrica fornecida ao veículo (PHEV e BEV), bem como na produção de hidrogénio (FCV).

#### 4. Impacto dos Veículos<sup>1</sup> Híbridos e Elétricos

A evolução das alternativas aos veículos convencionais (MCI), por parte da indústria automóvel, coincide com a classificação apresentada na secção anterior. O lançamento do Toyota Prius, em 1997, marcou o início de tais alternativas. Este e outros modelos híbridos convencionais (HEV), de múltiplos fabricantes, são atualmente comercializados em todo o mundo, apresentando bons desempenhos dinâmicos e níveis de consumo [5]. Na Europa, América do Norte e em alguns países asiáticos (China e Japão), estas soluções alcançaram um nível significativo de implantação no mercado automóvel. A título de exemplo, veja-se o Toyota Prius: de acordo com [6], desde o início da sua comercialização foram vendidos mais de 6 milhões de unidades.

O cenário relativo aos veículos com maior grau de eletrificação (PHEV, REEV, e elétricos puros – baterias (VE-B)

e células de combustível (VE-FC)) é bem diferente, com um impacto ainda muito reduzido (em termos globais, menos de 1% do registo de veículos novos, em 2015 [10]). No entanto, nos últimos 4 anos o seu crescimento tem sido exponencial<sup>2</sup>. Em 2015, mais de 1 milhão e 200 mil PHEV e VE-B circulavam em todo o mundo (Figura 4). Tal evolução parece significar o início de uma nova fase de aceitação e proliferação destes veículos.

No entanto, há diversas incertezas quanto à sua proliferação, resultantes do processo de interação entre fabricantes (características tecnológicas e custos), consumidores (aceitação) e governos (medidas de incentivo à sua adoção). O que é seguro afirmar é que estes resultados são fruto dos esforços concertados que têm vindo a ser realizados pela indústria automóvel e órgãos decisores.

Em seguida, realçam-se apenas algumas tendências sobre a aceitação de PHEV e VE-B à escala mundial. A Figura 4 representa o crescimento do número de PHEV+ VE-B, nos últimos 6 anos.

A Figura 5 representa o volume de vendas de PHEV + VE-B, desde 2010 até 2015. As respetivas quotas de mercado em 2015 estão também incluídas.

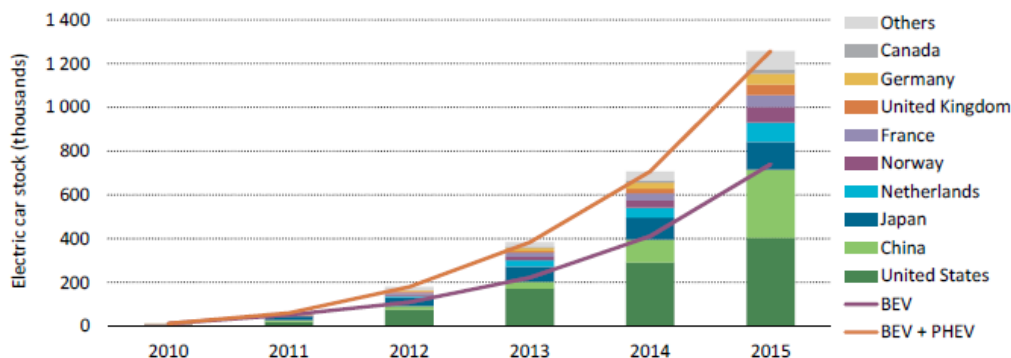


Figura 4. Evolução do número de PHEV+ VE-B [10]

(1) Refere-se apenas a ligeiros.

(2) Alguns exemplos: o Nissan Leaf, lançado em 2011, atingiu as 100000 unidades vendidas em 2013. Do modelo S da Tesla, lançado nesse ano, foram já vendidas 25000 unidades [6].

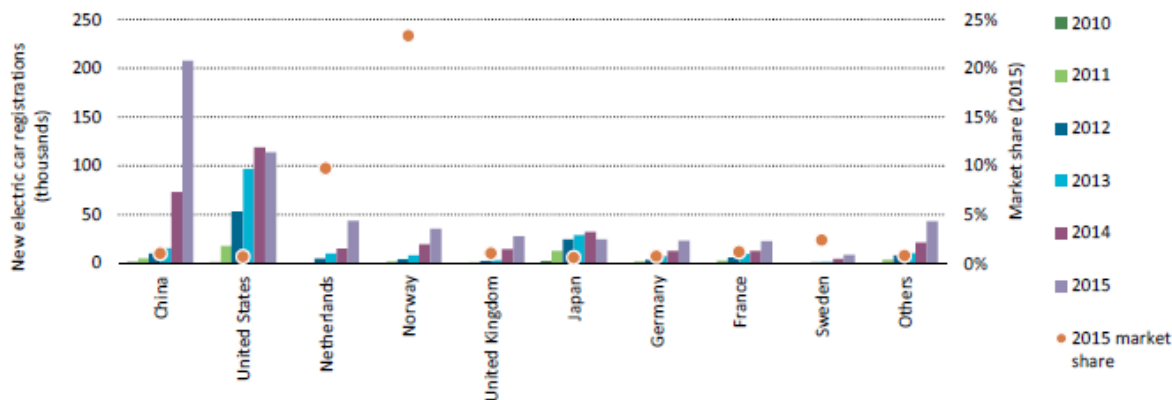


Figura 5. Vendas de PHEV+ VE-B (2010-2015) e quotas de mercado (2015) [10]

A partir de 2011, assistiu-se a um aumento substancial da proliferação destes veículos (notar que a quota dos países indicados na Figura 5 corresponde a 90% do total).

A maior recetividade verifica-se nos países com maior desenvolvimento económico e industrial (ou em vias de...), sendo os EUA líderes neste ranking, seguidos da China, Japão e Europa (Figura 4).

Em 2015 há a registar um aumento global muito significativo de PHEV e VE-B (cerca de 70% em relação a 2014), mas desigual, consoante a região do globo. Na China, o número destes veículos aproximou-se muito do valor dos EUA: o elevado aumento das vendas chinesas (cerca de 2,7 vezes o valor de 2014), juntamente com uma ligeira diminuição das vendas americanas, explicam aquela aproximação (Figura 5). Com efeito, as quotas conjuntas de PHEV e VE-B nestes dois países ultrapassaram os 50% em 2015. Curiosamente, é somente nos EUA e Japão (países onde a aceitação daqueles veículos começou por ser maior) que as vendas diminuem (em 2015 e pela primeira vez). De facto, até 2014 o somatório das quotas destes dois países era superior a 50% da totalidade dos veículos registados. Em 2015, tal somatório correspondeu a cerca de 40% (Figura 4).

No caso Europeu, a quota destes veículos tem-se mantido constante, em cerca de 1/3 do valor total. De referir que no último ano, as vendas de PHEV e VE-B na Holanda e Noruega atingiram percentagens muito significativas nos respetivos mercados: 10% no primeiro caso e 23% no segundo (Figura 5).

Tais valores demarcam-se claramente dos restantes e são um bom exemplo da importância de medidas eficazes que estimulem os consumidores a optar por soluções elétricas de mobilidade.

Este e outros assuntos (e.g., nichos com maior potencial de aplicação PHEV e VE-B, gamas de veículos, números de PHEV e VE-B) justificam um tratamento em espaço próprio; num próximo artigo, procurar-se-á fazer uma abordagem com maior profundidade.

## 5. Conclusões

O sector dos transportes depende ainda em grande escala dos combustíveis fósseis. As limitações das reservas disponíveis e o impacto ambiental, têm motivado a procura e desenvolvimento de soluções alternativas, sobretudo nos transportes rodoviários. Atualmente, os VH e VE constituem a alternativa mais viável aos veículos convencionais (MCI), não obstante as dificuldades técnicas e incertezas quanto à sua aceitação, que ainda subsistem.

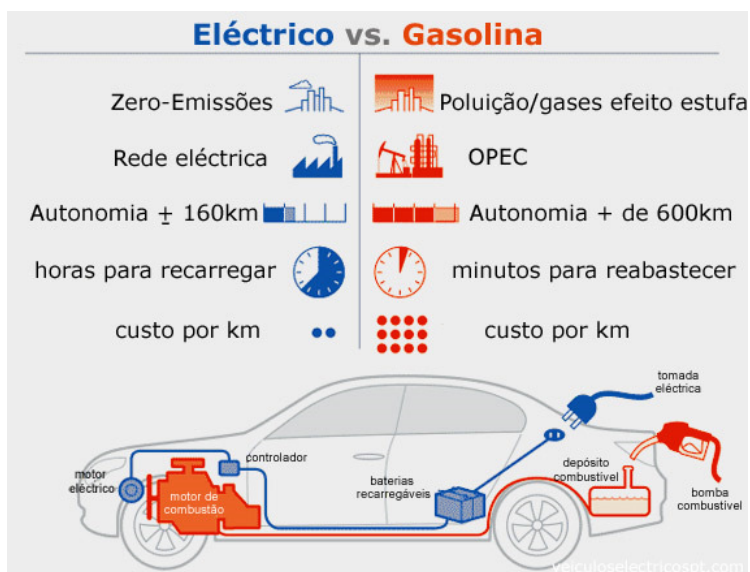
Neste artigo apresentou-se uma classificação dos VH, de acordo com o nível de eletrificação do sistema de propulsão do veículo. Os últimos 20 anos ficaram marcados pela chegada e permanência dos veículos híbridos elétricos, no sector automóvel. A tecnologia híbrida convencional tem hoje uma implantação sólida, com um vasto leque de oferta, por parte dos principais fabricantes de automóveis. Desde 2010 tem-se verificado uma tendência de aumento do grau de eletrificação dos sistemas de propulsão, materializada nos PHEV e VE-B.

Os desenvolvimentos destas tecnologias, incentivados pela legislação ambiental e incentivos à compra destes veículos parecem estar a dar frutos, no que se refere à sua aceitação e confiança.

## Referências

- [1] "Transport, Energy and CO2 — Moving Toward Sustainability", International Energy Agency, 2009.
- [2] Bayindir, Kamil Çağatay, Mehmet Ali Gözüküçük, and Ahmet Teke. "A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units", Energy Conversion and Management 52, 2011.
- [3] Kumar, Lalit, and Shailendra Jain. "Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews 29, 2014.
- [4] De Santiago, Juan, et al. "Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: a review", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012.
- [5] Melo. P., "A general overview on hybrid and electric vehicles", Neutro à Terra, nº 11, 2013.
- [6] "Evolution Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?", Amsterdam Roundtable Foundation and McKinsey & Company The Netherlands, 2014.
- [7] Agarwal, Vipul, and Mayank Dev. "Introduction to hybrid electric vehicles: State of art ", Engineering and Systems (SCES), 2013 Students Conference on. IEEE, 2013.
- [8] Kebriaei, Mohammad, Abolfazl Halvaei Niasar, and Behzad Asaei. "Hybrid electric vehicles: An overview", 2015 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE). IEEE, 2015.
- [9] Karden, E. "Microhybrid Goes Mainstream: Battery Selection and Trends", Advanced Automotive Battery Conference Europe. 2011.
- [10] "Global EV outlook 2016 — Beyond one million electric cars", International Energy Agency, 2016.

## Curiosidade:



### CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÕES DE CURTA DURAÇÃO

O Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, disponibiliza um conjunto de cursos de especialização de curta-duração destinados fundamentalmente aos alunos de cursos de engenharia, bacharéis, licenciados e mestres recém-formados na área da Engenharia Eletrotécnica e/ou Engenharia Eletrónica, assim como quadros no ativo que pretendam atualizar conhecimentos ou adquirirem competências em áreas transversais da Engenharia Eletrotécnica.

Os cursos terão uma duração variável entre as 8 e as 16 horas, funcionarão à sexta-feira em horário pós-laboral, ou preferencialmente ao sábado de manhã. O requisito mínimo para frequentar estes cursos será o 12º ano completo, sendo recomendada a frequência de uma licenciatura ou mestrado em Engenharia Eletrotécnica e/ou Engenharia Eletrónica.

- Dispositivos Lógicos Programáveis (FPGAs)
- Máquinas Elétricas Assíncronas de Indução
- Eficiência Energética na Iluminação Pública
- Máquinas Elétricas Síncronas de Corrente Alternada
- Instrumentação e Medidas Elétricas
- Projeto ITED de uma Moradia Unifamiliar
- Máquinas Elétricas - Transformadores
- Projeto de Redes de Terra em Instalações de Baixa Tensão
- Máquinas Elétricas de Corrente Contínua
- Verificação, Manutenção e Exploração Instalações Elétricas de Baixa Tensão

Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 471, 4200 - 072 Porto  
Telefone: +351 228340500 Fax: +351 228321159

[www.dee.isep.ipp.pt](http://www.dee.isep.ipp.pt)





## STUDY OF LED LAMPS TECHNOLOGIES IMPACT ON THE UTILITY

### 1. Introduction

With the growing interest in the issue of reducing power consumption in electricity applications, energy-saving devices and the problem of their operation gains more attention. The increase in the utilization of energy-saving lamps, especially LED lamps, leads to the wide interest in their influence on the power system. The impact of discussed devices on the voltage and current in the grid must be thoroughly studied before launching devices into the market. The studies undertaken on the LED lamps present in a wide range the issue of harmonic emission from lamps and their influence on power quality. Due to many manufacturing technologies, different LED devices can have various effects on the utility. It is significant to carry out researches concerning the adverse effects of energy-saving lamps in order to utilize devices that meet certain requirements which are set by the international commissions.

The overall purpose of conducted laboratory tests is the wide analysis of different LED tubes influence on power quality with the special emphasis put on the harmonics emission. LED tubes produced by different manufacturers will be studied in the terms of their effect on the utility.

To further understand and judge the influence of LED tubes on the power grid were conducted simulations in Matlab Simulink environment. The simulations concern the issue of harmonics emission from the basic non-linear load which is a diode rectifier with a LED tube. Simulations were done in order to observe the influence of the load on power quality. Subsequently simulations with larger quantities of non-linear devices have been done to understand the operation of many devices connected to the utility and their effect on voltage and current in the grid. In Simulink has been tested and compared different passive filters. It was preceded with the wide analysis of the operation of filters which

subsequently allowed to design several passive filters and observe the effects of their utilization in the simulation. In this second part was also discussed the issue of immunity of electrical devices with the emphasis put on the immunity for voltage dips, swells and fluctuations.

In the next step, in the laboratory was built a station to measure the impact of LED tubes on the utility. Devices where tested mainly in the terms of harmonics emission, with the use of various testing equipment. Harmonics emission with different conditions of power supplying was tested in order to observe LED tubes behaviour with various levels of supplied voltage. T

he measuring station was designed with the consideration of parameters of the equipment being under tests and magnitudes which were to be measured. The influence on power quality of different LED tubes have been compared, as well as effects of different LED tubes combinations. Measurements were done with different equipment varying in the ways of measuring and in the accuracy. The station for observing the effects of voltage fluctuations has been designed and built, in order to get the knowledge about LED tubes response for the simulated voltage distortions.

The studies carried out in the laboratory allowed to judge LED tubes influence on power grid and draw conclusions connected with their operation.

Done measurements and calculations allowed to use the gained theoretical knowledge in the practice.

Obtained results led to the complete understanding of the importance of conducted tests and the understanding of obligation of putting emphasis on the issue of power quality being influenced by LED tubes, which are commonly used in the industry.

## 2. The principle of LED operation and the issues connected with harmonic disturbances

### 2.1. Basics of LEDs operation

A light-emitting diode is a semiconductor light source that converts electrical energy into optical energy. The source of lighting is a chip of semiconducting material doped with impurities. Doping a semiconductor leads to the creation of two separate types of semiconductors in the same crystal. The boundary between the two types is a p-n junction. LEDs operation is connected with the phenomenon of electroluminescence which consists of recombination of electrons with holes within the device, accompanied by releasing energy in the form of photons [1].

### 2.2. Power quality issue

Power quality is a worldwide issue as it is connected with continuous supply of electric energy. Electrified and automated modern world is dependent on the uninterrupted supply of power hence the topic of power quality is essential to be studied in a profound way.

The widespread use of electronic equipment, power electronic devices, energy efficient lightning, telecommunications equipment and computerized equipment led to the change of electric loads nature, therefore power quality topics are nowadays causing concerns.

Modern devices are not only susceptible to power quality issues but also they have an influence on current and voltage in the grid. Generally power quality can be understood as the set of parameters defining the properties of electric energy supplied to users or the interaction of electrical power with electrical equipment. It is connected mostly with the parameters of supplied voltage. Nowadays bad power quality is a significant concern of both power suppliers and customers.

There are many terms describing the parameters of power supply that denote its quality, some of which are: voltage sags, voltage interruptions, voltage swells, transients, voltage unbalances, flickers, total harmonic distortion, harmonics, interharmonics, supharmonics.

The study undertaken on LED tubes showed that the main concern connected with this devices are harmonic disturbances.

### 2.3. Generation of harmonics and their effects on the power grid and devices

The basic reason of harmonics generation is that current flowing through the load is not linearly related to the applied voltage. Harmonics are caused mainly by nonlinear loads, which are used in everyday life. These loads cause current to vary disproportionately with voltage during each period. Nonlinear characteristics of commonly used devices and loads give rise to the harmonic distortion.

Modern electronic equipment draw from the grid non-sinusoidal, distorted current which includes harmonics, which are injected back into power distribution system.

When a non-linear load draws current, that current passes through all of the impedance that is between the load and the system source.

Distorted current afterwards causes distortions in voltage waveform. Harmonics are considered to be the main source of power quality deterioration. They have a number of undesirable effects on the power distribution system and on devices connected to power lines. They contribute to the increase of losses in the distribution grid, affect the operation of electronic equipment, they can also cause failure operation of electronic devices and be the reason of acoustic noise from motors and other machines, as well as with reducing the motors efficiency.

## 2.4. Harmonic standards for LED tubes

In the terms of power quality it is necessary to define the levels of harmonic distortions. Reduction of harmonics in distribution systems to required levels is mandatory. There exists many standards defining limits of harmonics values. On the international conferences harmonics are being frequently discussed, wherefore many restrictions and standards for harmonic distortions have been created. Devices should meet standards in the terms of emission, they cannot influence power grid to higher than standardized extent.

According to the Standard IEC EN 61000-3-2 the limits of harmonic in current for lighting equipment with  $P \leq 25$  W are presented in the table 1.

Another criteria for lamps having an active input power less than or equal to 25W is that third harmonic current cannot exceed 86% value of fundamental and the fifth harmonic current cannot exceed 61%.

**Table 1. Acceptable levels of harmonics for lighting equipment with rated power  $P \leq 25$  W in IEC EN 61000-3-2**

| Harmonic rank k     | The maximum permissible harmonic current calculated for Watt [mA/W] |
|---------------------|---|
| 2                   | 3,4   |
| 3                   | 1,9   |
| 5                   | 1,0   |
| 7                   | 0,5   |
| 9                   | 0,35  |
| $11 \leq h \leq 39$ | $3,85/k$  |

## 2.5. Parameters describing the distortion of voltages and currents

Measurement of power quality usually involves characterising frequency components (in the Standard IEC EN 61000-4-7 frequencies up to 9kHz). Harmonics analysis can indicate about power quality but there are a few parameters connected with power quality which are also usually considered during analysis.

### 2.5.1. Total harmonic distortion

Total harmonic distortion (THD) is a measurement of harmonic distortion in a signal.

THD is the ratio of the sum of the harmonic components of signal summed to the specified order of harmonic, to the root meant square value of fundamental component [3]. THD can refer to the distortion of current and voltage waveform. The formula is

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^n \left(\frac{Y_h}{Y_1}\right)^2} \quad (1)$$

where 'n' in the Standard IEC EN 61000-4-7 is 40<sup>th</sup> order harmonic.

### 2.5.2. Power factor

Considering nonlinear load in the terms of power factor issue it is necessary to include the influence of harmonic distortions. There can be distinguished displacement, distortion and true power factor. For currents without harmonic distortion, displacement power factor is equal to the true power factor, which is the ratio of real power to apparent power. With nonlinear load the THD has a value different from zero. It must be taken into account while calculating the power factor.

$$pf = \frac{P_{avg}}{U_1 * I_1 * \sqrt{1 + \left(\frac{THD_U}{100}\right)^2} * \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \quad (2)$$

There can be used some simplifications when the fundamental active power has a close value to the value of active power including higher harmonics components  $P_{1avg}=P_{avg}$  and when THDU is less than 10%, what is an usual situation. In that case approximate form of true power factor.

$$pf = \frac{P_{1avg}}{U_1 * I_1} * \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100}\right)^2}} = pf_{disp} * pf_{dist} \quad (3)$$

Where  $pf_{dist}$  is distortion power factor connected with harmonics in signal. It is a measure of how much the harmonic distortions generated by the nonlinear load decrease the average power transferred to the load.

The value of displacement power factor can be maximally equal to unity and distortion power factor is always less than one with THD over 0%, so it can be concluded that in nonsinusoidal situation

$$pf \leq pf_{dist} \quad (4)$$

## 2.6. Ways of compensating harmonic distortions caused by nonlinear loads

The compensation of harmonics is overwhelmingly important matter. Harmonics problem are usually resolved by the use of conventional passive and active filters. Other solution is the combination of these two filters, known as hybrid filter. Passive filters relies mostly on the use of inductor (except valley filled circuit with additional diodes) capacitors and resistors.

The classification of passive filters can be done based on the used topology, for example tuned filers or damped filters, or the combination of both. Passive filters can have shunt or series configuration and in various configuration they are usually used for the elimination of current harmonics ant the compensation of reactive power. Damped filters are usually used for the mitigation of all higher harmonics.

They are connected before the load, in shunt or in series. Active filters use special electronic switching equipment which generates harmonic current that cancel the harmonic currents from nonlinear load. Active filters use amplifiers, resistors and capacitors in a feedback loop in order to create the desired filter character.

Overall, the performance of the harmonic cancellation is achieved by injecting equal but opposite current harmonic components and reactive current into power system at the point of connection [2].

In LED tubes used in the industry are mainly used active filters.

## 3. Simulations

Conducted simulations allowed to discuss the issue of emission from LED tube with basic supply circuit, as well as the issue of voltage distortions and the immunity of LED tubes.

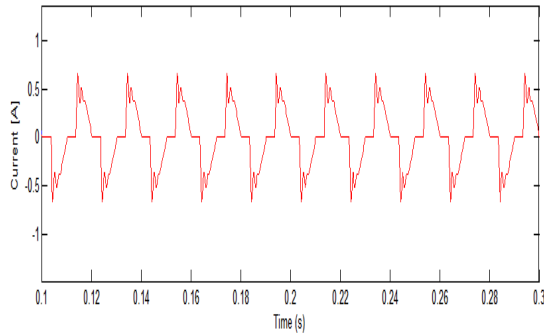
The first simulations in Matlab Simulink environment were done in order to observe the LED tube influence on supply voltage and current. The purpose of simulations was harmonics analysis of LED tubes. It has been done using different quantities of LED tubes, to observe their effect on the power quality.

Current and voltage waveforms were observed and the comparison of total harmonic distortions levels in different situations was done. Additionally have been done simulations with commonly used passive filters, to observe their operation in mitigating harmonics. In simulations the effects of using passive filters can be observed and understood.

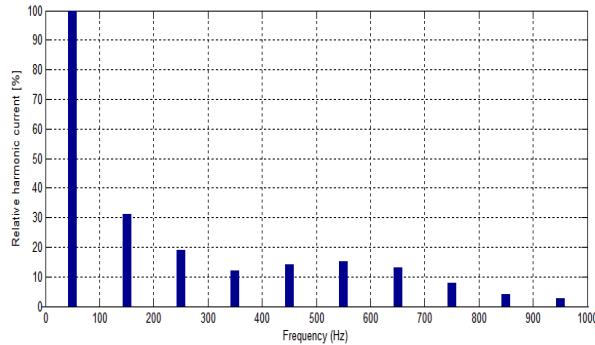
In Simulink were also simulated voltage disturbances such as voltage fluctuations, voltage swell and drop, undervoltages and overvoltages, to examine LED tube immunity for distortions.

**3.1. Results of simulations of emission from LED tubes**

Analysed circuit, without power factor correction, consisted of diode rectifier, smoothing capacitor and the LED load. For analysis have been used rectangular window, width 200 ms. Ten intervals lasting 200 ms each were used to determine THD level.



**Figure 1. Current waveforms of individual LED tube**



**Figure 2. Relative amplitudes of harmonic currents for single LED tube**

Current drawn from the grid is highly distorted, thus effected by higher harmonics what is a result of the non-linear characteristic of the load (diode bridge with smoothing capacitor and LED tube).

From the figure 1 it can be noted that the current waveform is not sinusoidal and it means that LED tube inject harmonics into the power system.

Relative amplitudes of harmonic currents of single LED tube are presented in the figure 2.

In the table 2 are presented results of simulation with different quantities of LED tubes.

It can be concluded that LED tube is the source of harmonics in the grid current. Consequently, voltage in the grid is being distorted. With the increase in the quantity of the same LED tubes up to fifteen LED tubes was observed significant increase in THDU and THDI levels. From twenty LED tubes the THDI started to decrease.

It can be noticed that the decrease of the load's current distortion was accompanied by the increase in the voltage distortions.

The distorted voltage can affect the operation of other loads, in simulated case-the operation of other LED tubes. Addition of other loads led to the increase of THDU and to some quantity of loads, the increase of the THDI.

**Table2. Harmonic contents for LED tubes**

| Quantity of LED tubes | THDI with transients [%] | THDI stable state [%] | THDU with transients [%] | THDU stable state [%] | 3 <sup>rd</sup> [%] | 5 <sup>th</sup> [%] | 7 <sup>th</sup> [%] | 9 <sup>th</sup> [%] | 11 <sup>th</sup> [%] |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1                     | 83,8                     | 46,38                 | 4,91                     | 1,72                  | 31,06               | 18,87               | 12,05               | 13,99               | 15,18                |
| 5                     | 78,34                    | 54,12                 | 11,31                    | 7,17                  | 31,97               | 36,96               | 22,91               | 2,57                | 2,37                 |
| 10                    | 79,15                    | 63,36                 | 16,59                    | 12,51                 | 53,46               | 33,72               | 0,87                | 2,19                | 2,13                 |
| 15                    | 77,08                    | 64,66                 | 19,79                    | 15,54                 | 61,81               | 18,70               | 1,81                | 2,16                | 1,09                 |
| 20                    | 76,68                    | 55,89                 | 25,90                    | 17,98                 | 54,76               | 10,34               | 3,87                | 0,85                | 1,31                 |
| 30                    | 62,17                    | 51,46                 | 24,64                    | 20,86                 | 50,81               | 6,92                | 3,89                | 1,20                | 1,05                 |
| 50                    | 38,67                    | 31,99                 | 26,47                    | 21,56                 | 30,50               | 6,45                | 2,33                | 1,12                | 1,07                 |
| 100                   | 33,45                    | 28,61                 | 24,11                    | 15,18                 | 28,14               | 4,91                | 1,40                | 0,82                | 0,50                 |

Current in loads increased what is an undesirable effect. The considered reason for this phenomena is that for higher frequencies the input capacitor has a very small impedance, so consequently the value of current increases.

According to the results of simulations it is obvious that circuits without any harmonic filters should not be used in the lighting industry due to the high influence of non-linear load on the power quality.

### 3.2. Results of simulation with various passive filters

In the simulation environment were designed filters: single tuned, double tuned, high pass and C-type. During calculations of filter parameters were chosen exemplary quality factors.

The comparison between three simulated passive filters is shown in the table 3.

**Table 3. Results of the mitigation of 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> harmonic and THD improvement for simulated filters**

| Passive filter   | THDI [%] | 3 <sup>rd</sup> [%] | 5 <sup>th</sup> [%] |
|------------------|----------|---------------------|---------------------|
| Two single tuned | 12,21    | 7,25                | 2,97                |
| Double tuned     | 13,25    | 5,48                | 1,69                |
| High-pass        | 7,09     | 5,27                | 3,10                |
| C-type           | 4,84     | 3,70                | 1,64                |

The best performance with mitigation harmonic distortions was observed with C-type filter and subsequently with high-pass filter.

Only the result on decreasing low order harmonic components was compared, so the overall conclusion about passive filter based on this one condition is hard to be drawn and the choice of the filter with the best performance cannot be made.

Omitting aspects such as cost of elements and power losses simplifies the comparison between simulated filters.

It can be concluded that each simulated filter led to the decrease of THDI and THDU what was the purpose of the simulations. The mitigation effect depends on the chosen parameters of filter elements.

### 3.3. Results of tests for immunity

During simulations of supplying LED tape with distorted voltage with visible fluctuations it was observed that rectified voltage and consequently current fluctuates.

The simulated relative changes in the supply voltage did not exceed 10%. In the voltage supply have been observed low frequency interharmonics and subharmonics which are known to be the reason of fluctuations and changes of the amplitude in the LED tube current and consequently changes in the brightness of lamp. This increase in the magnitude occurring with frequency about 20 Hz, may be visible for human eye. The response of LED tube with basic supply circuits for voltage swells, drops, undervoltages and overvoltages was as it was expected. With the increase in voltage, the current increased what in the reality could lead to the change of brightness of lamp or even damage of LED tube. Effect of decreasing the voltage was the decrease in LED tube current.

## 4. Laboratory measurements

Laboratory measurements and further calculations have been done in order to examine LED lamps influence on the utility.

Measurements were done with different equipment which allowed to compare different ways of measuring the impact which have devices on the grid.

Tests were conducted on three LED tubes from various manufacturers, made in the similar technology: Lamp 1, Lamp 2 and Lamp 3.

Further measurements were done on different combinations of LED lamps to observe the results of connecting various LED tubes in various quantities on power quality. The station to measure harmonic emission had appropriately chosen elements, which allowed to measure harmonics up to 40<sup>th</sup> order.

#### 4.1. Results of measurements with various supply voltage

The first measurements with RIGOL oscilloscope were done in different supply conditions. LED tubes were supplied by 100 V, 150 V, 200 V and 230 V. For three LED tubes obtained results were similar.

With the increase of the supply voltage, the distortions in current decreased. For 200 V and 230 V the current harmonic distortion were the smallest and the distortion power factor was closets to unity.

Voltage harmonics obtained the highest magnitudes for input voltage 200 V and above. For Lamp 1 and Lamp 3 LED tubes the highest magnitudes had the 5<sup>th</sup> and the 7<sup>th</sup> voltage harmonics.

For Lamp 1 and Lamp 2 LED tube the active power was constant for all situations, however Lamp 3 LED tube achieved rated power with rated voltage supply. With lower voltage active power was lower and the brightness was visibly less.

Results of measurements with 230 V has been analysed in relation with standards. In rated conditions the voltage THD was the highest for all LED tubes, however the levels were acceptable, they reached more than 2 %.

To compare LED tubes influence on power quality, the results of measurements with 230 V input voltage have been compared.

Table 4. Comparison between LED tubes

|               | Lamp 2 | Lamp 1 | Lamp 3 |
|---------------|--------|--------|--------|
| TDHI [%]      | 19,27  | 10,46  | 16,52  |
| THDU [%]      | 2,28   | 2,13   | 2,01   |
| Grid THDU [%] | 0,6    |        |        |
| pftrue [-]    | 0,819  | 0,820  | 0,820  |
| pfdist [-]    | 0,982  | 0,995  | 0,987  |
| P [W]         | 18,71  | 19,07  | 18,68  |
| Sn [VA]       | 9,09   | 7,52   | 8,36   |

Total harmonic distortions from measured devices are shown in the figure 3.

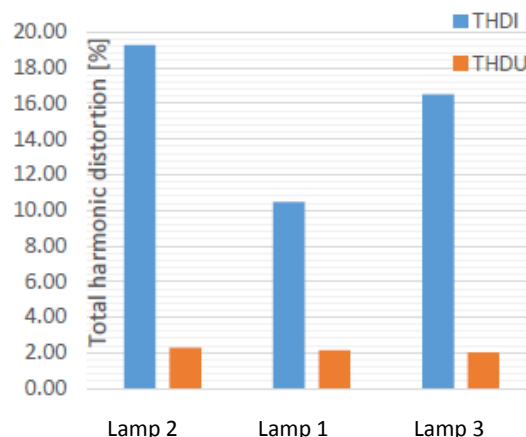


Figure 3. Comparison between three measured LED tubes supplied by 230 V

Each LED tube did not exceed the standardized levels of harmonic currents. Working in rated conditions devices obtained nearly rated power. Power factors are above 0,8 what is a good result and is received due active power filters being internal parts of LED tubes power supplies.

The worst parameters got the Lamp 2 LED tube, however they are still appropriate and have satisfactory levels. This device had also the highest difference between true power factor and displacement power factor, due to the lowest distortion power factor connected with harmonic components. The non-fundamental apparent power was also the highest and it constituted 39,8% of apparent power.

The non-fundamental power flow should be as low as possible. Meeting the standards all measured LED tubes can be installed and used without excessive consideration about influence on the power quality.

#### 4.2. Results of measurements with different LED tubes combinations

Table 5. Combinations of LED tubes taken under studies

|               |   |
|---------------|---|
| Combination A | 5 Lamp 2 LED tubes                                    |
| Combination B | 4 Lamp 2 LED tubes + Lamp 1 LED tube                  |
| Combination C | 4 Lamp 2 LED tubes + Lamp 3 LED tube                  |
| Combination D | 3 Lamp 2 LED tubes + Lamp 1 LED tube+ Lamp 3 LED tube |
| Combination E | 3 Lamp 2 LED tubes                                    |
| Combination F | Lamp 2 LED tubes+ Lamp 3 LED tube+ Lamp 1 LED tube    |

The level of input voltage was  $230 \pm 2\%$  voltage and the frequency was maintained on the level of  $50 \pm 0,5\%$  Hz.

In the table 6 are presented results of measurements and calculations for LED tubes combinations with Rigol Oscilloscope.

Table 6. Distortions from different LED tubes combinations

| Combination | THDU [%] | THDI [%] | P [W]  |
|-------------|----------|----------|--------|
| A           | 1,36     | 20,32    | 101,48 |
| B           | 1,70     | 18,69    | 106,51 |
| C           | 1,70     | 19,85    | 101,84 |
| D           | 1,70     | 18,16    | 101,84 |
| E           | 2,04     | 19,34    | 60,09  |
| F           | 2,11     | 16,39    | 59,73  |

Total harmonic distortions from different combinations are compared in the figure 4.

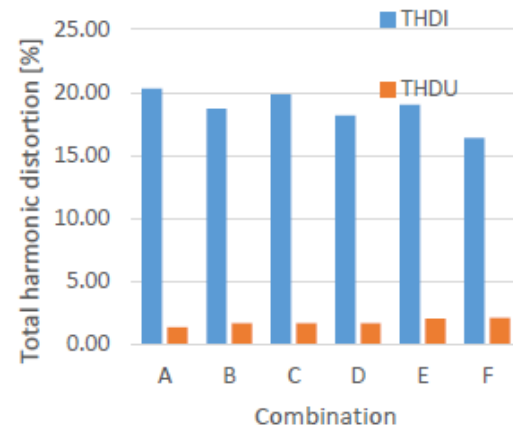


Figure 4. THD for different LED tubes combinations

First four combinations consisted of 5 LED tubes connected in parallel. The magnitude of drawn current has respectively increased. It was observed that with larger quantity of LED tubes the distortions in current increase. Although this LED tubes are made with the same technology and use equal power supply components, the distortions have changed. It is due to the fact that the power supply components have the uncertainties during the operation and they can work with slightly different frequencies, what results in a small increase in harmonic components. THDU for five LED tubes in combination A was smaller than for one LED tube (2,27%).

It was observed that connecting other LED tubes with Lamp 2 LED tube which influences grid the most, decreases the levels of harmonic distortions. With small quantities of LED tubes it is better to connect different LED tubes to reduce the harmonic distortions. Influence on power grid for each combination is acceptable due to active filters which are parts of every measured LED tube.

Another observed result was that in combination of various LED tubes with changing some LED tubes for another, made with similar technology, the voltage distortion maintains the same.

Measured combinations of 3 LED tubes are characterized with higher voltage distortions than 5 LED tube.



It is connected with transformers characteristic- with lower load the voltage is more distorted . It can be supposed that with higher quantities of LED tubes, the voltage THD would increase.

**4.3. Comparison of results obtained with different meters**

The use of universal measuring device UMG96S was in order to compare different ways of measuring power quality. The accuracy of oscilloscope used in previous measurements is ±5% and Janitza measuring device connected with a computer to analyse power quality allowed to measure emission with maximum

Measurements done with Janitza measuring device and further analysis in program Grid Vis gave an accurate results of LED lamps influence on the grid. It was observed that total harmonic distortions measured with UMG96S are higher than measured and calculated with the oscilloscope. Janitza device is appropriate to measure the harmonic components up to 2kHz with lower uncertainty and allows to study LED lamps influence on power quality in a more accurate way.

The big differences were observed within power factor measurements, especially in displacement power factor. Measurements with UMG96S indicate that LED tubes have almost purely resistive character due to the displacement power factor close to 1. Results obtained with Rigol Oscilloscope show that displacement power factor is close to 0,8. It can be due to the simplifications in calculation which may have led to significant differences in true power factor measurement with two devices, however results obtained with Janitza meter are more reliable and should be understood as true values.

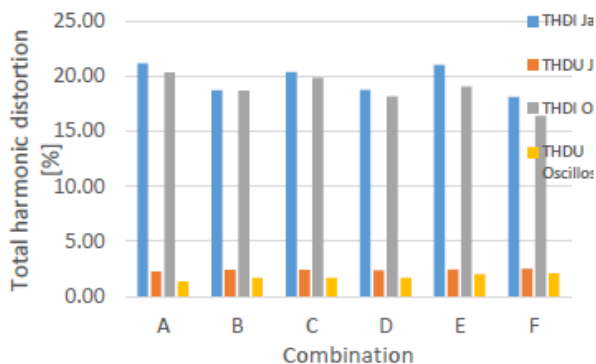
The differences between power factor led to noticeable differences in the reactive power measurement. It can be concluded, that UMG96S indicates higher influence of LED tubes on power quality, but on the other side shows better quality of LED tubes due to the higher active power and true power factor.

In the table 7 are presented the results of measurements with LED tubes combinations, done with JANITZA device.

**Table 7. Parameters of LED tubes combinations obtained with UMG96S**

| Combination | THDU [%] | THDI [%] | P [W] |
|-------------|----------|----------|-------|
| A           | 2,27     | 21,13    | 99,87 |
| B           | 2,40     | 18,70    | 98,92 |
| C           | 2,42     | 20,35    | 97,90 |
| D           | 2,38     | 18,75    | 98,76 |
| E           | 2,45     | 21,00    | 59,23 |
| F           | 2,55     | 18,10    | 58,92 |

Figure 5 shows the comparison between results obtained with two used meters.



**Figure 5. Comparison between levels of THD for various combinations of LED tubes tested with different equipment**

Test of various LED tube combinations with UMG96S lead to similar conclusions as the results of the measurements with the oscilloscope.

The levels of THDU and THDI were higher than measured with oscilloscope (the same was observed for the individual lamps), however the same conclusions connected with harmonic emission by different tubes combinations as with previous measurements can be drawn.

#### 4.4. LED tubes responses for voltage fluctuations

The behaviour of LED tubes during voltage oscillations has been observed and the electric parameters have been measured in order to observe the changes in LED tubes operation during voltage disturbances.

The concept of producing voltage fluctuations was based on the relay which connected and disconnected the resistance on the secondary of transformer, with appropriately chosen frequency, to produce voltage drop.

Flicker occurring with following frequencies was tested: 0.5 Hz, 1 Hz, 2.5 Hz, 3.5 Hz, 5 Hz, 6 Hz, 8.8 Hz, 10 Hz, 12 Hz, 15 Hz, 18 Hz, 20 Hz. With changing the resistance on the primary site of the transformer, the level of voltage fluctuations was changed.

With lower resistance on the primary site the voltage changes during process of connecting and disconnecting the second resistor were less, the maximum voltage drop was 4%. With higher resistance on the input, the voltage changes were higher, they reached 7%. With less input resistance was observed lower flicker in the LED tube.

LED tube response for voltage fluctuations was visible as a flicker. The results of test can be only discussed due to individual observation of changes in lamp brightness. To measure flicker indicators is demanded special equipment which measures directly short and long term flicker indicators.

The results of tests were similar for three LED tubes. The most visible flicker has been observed for frequency 15 Hz. With increasing the resistance on the primary, the flicker was more visible and it started to be very disturbing with the frequency 3.5 Hz. With lower input resistance, the flicker was lower and it started to be very disturbing with the frequency 5 Hz.

LED tubes are likely to produce visible flicker because of the not immediate reaction of power supply for voltage changes. Switched mode power supply keeps constant current in LED tubes, but it needs very short time to adjust to changes in voltage. During this short period of time, the current in LED tube is slightly changing what lead to the visible changes in the brightness of lamp.

#### 5. Conclusions

The purpose of the project was to analyse LED tubes impact on the power grid as well as understand the problem of power quality and ways of its improvement.

The issue of emission from LED lamps was studied and the topic of LED tubes immunity was raised. The issue of harmonics emission is nowadays very significant in the terms of power quality.

LED tubes tested in the laboratory met all required standards. Harmonics emission did not exceed acceptable levels.

LED tubes influence voltage and current in the grid due to their nonlinearity, however this impact is being controlled with the use of mitigation techniques.

Modern LED tubes with switched mode power supply consist of active filter which is an integral part of the supply. The filter efficiently lowers harmonics emission and distortions caused by LED tubes.

Considerations taken in the simulation part led to the conclusion that LED lamps supplied with circuits without harmonics filters influence the utility to the high extent. Harmonic distortions produced by LED tubes can have negative effect on other devices connected to the grid and for that reason the emission must be maintained below certain levels.

To obtain satisfactory results of LED tubes influence on the power grid in the simulation, the passive filters were simulated. The use of passive filters led to the significant improvement of power quality.

Laboratory measurements showed that LED tubes influence on the power grid is depended on the technology in which device is produced.

Each of tested lamps had a similar power supply, however differences in the components led to differences in harmonics emission. The power quality was an overall subject of studies with two different meters.

The use of various measuring equipment allowed to compare obtained results and draw more accurate conclusions about emission from devices and about LED tubes parameters. LED tubes produce harmonic distortions.

The high frequency radiation from switched power supply has been also checked, however the emission from devices in frequencies over 2 kHz should be further tested in future measurements.

The behaviour of LED tubes in disturbed conditions has been tested and it was observed that LED tubes are likely to flicker.

Changes in the voltage led to visible changes in the brightness of lamps, despite the use of constant current power supply. Fluctuations in voltage were produced only to observe and compare the LED tubes response, which was the same with all tested tubes.

Larger quantities of LED tubes have been tested and it was observed that their influence on the power grid was quite similar to the influence of individual LED tubes.

Differences in measurement results were depended on the quantity of connected devices and the manufacturers of

devices, however none of the tested combinations did exceed standard levels. This is also due to the active filters which efficiently mitigate harmonics.

The study of LED tubes impact on the power grid led to the understanding of power quality issues and the importance of undesirable distortions mitigation.

LED tubes used in the industry should be properly designed and tested in the terms of harmonic emission.

Devices tested in the project influence voltage and current in the grid, however to the admissible extent.

To fully confirm the impact of devices on the utility, the larger amounts of LED tubes should be tested, however this could be a subject of another project, considering the issue of large amounts of devices impact on the power quality.

## LITERATURE

- [1] Byungcheul Kim, Eui-Seok Jeon, *LED Lighting System Switched-Mode Power Supply*, Engineering and Technology (S-CET), 2012 Spring Congress on, pp. 1-3, 2012.
- [2] Sandoval Gonzalo, Houdek John, *A Review of Harmonic Mitigation Techniques*, 2005.
- [3] *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto (IEC 61000-4-7:2002/A1:2008)*

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**António Augusto Araújo Gomes**

**aag@isep.ipp.pt**

Mestre (pré-bolonha) em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Professor do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Coordenador de Obras na CERBERUS - Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultadoria técnica.



**António Carvalho de Andrade**

**ata@isep.ipp.pt**

Licenciatura. Mestrado e Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Colaborador da EDP – Energias de Portugal (22 anos)

Professor ajunto do departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto

**Carlos Eduardo G. Martins**

WEG Equipamentos Eléctricos S.A.

**Ewelina Szwal**

**ee.szwal@gmail.com**

Aluna ERASMUS do curso de Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

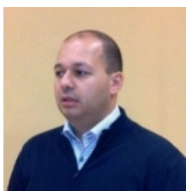


**Fernando Jorge Pita**

**fjafp2014@gmail.com**

Formado pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto em Engenharia Electrotécnica.

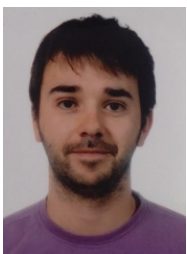
Engenharia de Manutenção da Industria Electrónica – Texas Instruments (8 anos). Supervisão de Serviços Técnicos de Manutenção (18 anos). Supervisor de assistência técnica da M. Simões Jr. Supervisor de assistência técnica da Superex – Maquinas e Sistemas, Lda.. Diretor Técnico da MCI – Maquinas de Costura Industriais S.A. 30 anos na Formação, desenvolvendo, coordenando e apoiando tecnicamente diversos projetos de formação, em Centros de Formação e Empresas de Formação Profissional.



**Hélder Nelson Moreira Martins**

**helmar@televes.com**

Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações na Universidade de Aveiro, participou num projeto sobre Televisão Digital Interativa no Instituto de Telecomunicações em Aveiro e possui uma Pós-Graduação em Infraestruturas de Telecomunicações, Segurança e Domótica realizada no Instituto Superior de Engenharia do Porto. Curso Avançado de Marketing Relacional e Fidelização de Clientes na Escola de Negócios Caixa Nova em Vigo. Desempenha funções no Departamento Técnico da Televes Electrónica Portuguesa, S.A. desde 2003 e colabora com diversas entidades na área da Formação ITED e ITUR exercendo esta atividade desde 2006.



**Hugo Ricardo dos Santos Tavares**

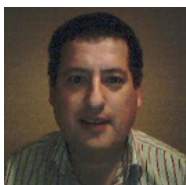
**hugtavares13@hotmail.com**

Aluno do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2012 a 2016 - Sisint: Engenheiro de controlo e comando/proteções em subestações.

Desde 2016 – Kathrein Automotive: Departamento de qualidade

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**José Ricardo Teixeira Puga**

**jtp@isep.ipp.pt**

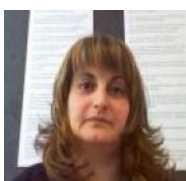
Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.  
Professor da unidade curricular de Eletromagnetismo, no Instituto Superior de Engenharia do Porto. Detém ainda responsabilidades de vice-diretor da Licenciatura de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia e de Vice-Diretor do Centro de Prestação de Serviços – TID.



**Manuel Bolotinha**

**manuelbolotinha@gmail.com**

Licenciou-se em 1974 em Engenharia Eletrotécnica no Instituto Superior Técnico, onde foi Professor Assistente. Tem desenvolvido a sua atividade profissional nas áreas do projeto, fiscalização de obras e gestão de contratos de empreitadas de instalações elétricas, não só em Portugal, mas também em África, na Ásia e na América do Sul. Membro Sênior da Ordem dos Engenheiros e Membro da Cigré, é também Formador Profissional, credenciado pelo IIEFP, conduzindo cursos de formação, de cujos manuais é autor, em Portugal, África e Médio Oriente.



**Maria Judite Madureira Da Silva Ferreira**

**mju@isep.ipp.pt**

Diretora e docente na licenciatura de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (LEE-SEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP). As suas áreas de investigação são relacionadas com Redes Elétricas.



**Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo**

**pma@isep.ipp.pt**

Mestre em Automação, Instrumentação e Controlo pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Aluno do Programa Doutoral em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001. Desenvolveu atividade de projetista de instalações elétricas de BT na DHV-TECNOPOP.

**Sebastião Lauro Naw**

WEG Equipamentos Elétricos S.A.



**Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto Nogueira**

**tan@isep.ipp.pt**

Teresa Nogueira tem o doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e uma experiência de 20 anos de docência no ISEP. Desde 2010 é diretora do curso de mestrado em Eng.ª Eletrotecnia -Sistemas Elétricos de Energia.

Áreas de trabalho: mercados de eletricidade, energias renováveis, eficiência energética e qualidade de serviço elétrico.

Trabalhou 5 anos como projetista de máquinas elétricas: transformadores e aparelhagem elétrica.

