

# NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica | Nº16 | dezembro de 2015

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

*Honrando o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com a publicação da 16ª Edição da nossa revista “Neutro à Terra”. Ao terminar um ano que foi difícil, mas que ao mesmo tempo permitiu podermos viver sem a Troika, esperamos que por muito tempo, ou para sempre, a indústria eletrotécnica que não esteve imune às dificuldades que todos sentiram, manteve apesar de tudo uma dinâmica muito apreciável. No âmbito da nossa revista, esta dinâmica fez-se sentir fundamentalmente no interesse que algumas empresas do setor eletrotécnico manifestaram pelas nossas publicações, demonstrando vontade em colaborar connosco não só com a publicação de artigos técnicos, mas também colaborando no desenvolvimento de assuntos técnico-científicos em que vários dos autores da nossa revista se encontram envolvidos.*

José António Beleza Carvalho, Professor Doutor



**Máquinas e Veículos Elétricos**  
Pág.05



**Produção, Transporte e Distribuição Energia**  
Pág. 23



**Instalações Elétricas**  
Pág. 37



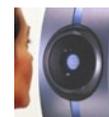
**Telecomunicações**  
Pág. 51



**Segurança**  
Pág. 61



**Gestão de Energia e Eficiência Energética**  
Pág.65



**Automação, Gestão Técnica e Domótica**  
Pág. 79

03| Editorial

05| Máquinas e veículos Eléctricos

Requisitos do projeto eléctrico de motores de indução para acionamento por variador de velocidade

Henrique Gonçalves

*Types and construction of power transformers.*

Manuel Bolotinha

Utilização de um veículo eléctrico para abastecer uma residência no horário de ponta.

Horst Huldreish Ardila Hamada Marques, Fernando Maurício Dias

23| Produção, Transporte e Distribuição de Energia

Impacto da introdução de baterias de armazenamento de energia em *Smart Grids*.

Diogo Soares, Judite Ferreira, José Puga

Previsão do diagrama de carga de subestações da REN utilizando redes neuronais.

Silvana Mafalda Rocha, Maria Teresa Costa, Manuel João Gonçalves

37| Instalações Eléctricas

Interruptores (mecânicos) para instalações eléctricas fixas, domésticas e análogas.

António Augusto Araújo Gomes

Análise da Qualidade de Energia. Instalações eléctricas com Miniprodução.

Carlos Silva, Roque Brandão

51| Telecomunicações

ITED 3 – Dimensionamento das redes de cabos coaxiais.

José Eduardo Pinho, Marco Rios da Silva, Sérgio Filipe Ramos

ITUR 2 – Dimensionamento das redes de cabos coaxiais.

Sérgio Manuel Correia Vieira, Marco Rios da Silva, Sérgio Filipe Ramos

61| Segurança

NFPA 850. *Firetrace* e os fogos em turbinas de vento.

Carlos Neves

65| Gestão de Energia e Eficiência Energética

Tecnologias de produção de frio: Estudo e análise de medidas de eficiência energética.

Fernando Barrias, Teresa Nogueira, João Pinto

Redução de consumos na iluminação pública.

Pedro Caçote, Roque Brandão

79| Automação, Gestão Técnica e Domótica

*SMART PANEL*: Medição, controlo e monitorização num clique.

Luís Carvalho, Paulo Vaz

85| Autores

## FICHA TÉCNICA

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

Estimados leitores

Honrando o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com a publicação da 16ª Edição da nossa revista “Neutro à Terra”. Ao terminar um ano que foi difícil, mas que ao mesmo tempo permitiu podermos viver sem a Troika, esperemos que por muito tempo, ou para sempre, a indústria eletrotécnica que não esteve imune às dificuldades que todos sentiram, manteve apesar de tudo uma dinâmica muito apreciável. No âmbito da nossa revista, esta dinâmica fez-se sentir fundamentalmente no interesse que algumas empresas do setor eletrotécnico manifestaram pelas nossas publicações, demonstrando vontade em colaborar connosco não só com a publicação de artigos técnicos, mas também colaborando no desenvolvimento de assuntos técnico-científicos em que vários dos autores da nossa revista se encontram envolvidos.

Um facto importante, que se deve destacar, é o crescimento exponencial que se tem verificado da procura e visualização da revista “Neutro à Terra” um pouco por todo o mundo, destacando-se neste caso os Estados Unidos. Assim, mantemos o compromisso de publicar um artigo de natureza mais científica em língua Inglesa, nesta edição um interessante artigo sobre Transformadores, “*Types and Construction of Power Transformers*”, da autoria do Engenheiro Manuel Bolotinha.

Ainda num âmbito mais científico, destaca-se a publicação do artigo “Requisitos do Projeto Elétrico de Motores de Indução para Acionamento por Variador de Velocidade”, da autoria do Doutor Henrique Gonçalves, um investigador sobre o assunto e que também exerce as suas atividades na WEG –Euro Industria Elétrica, SA.

Nesta edição da revista merecem particular destaque vários assuntos que corresponderam a trabalhos de investigação realizados no ISEP, muitos deles em colaboração com várias Empresas, tendo vários deles correspondido a trabalhos realizados no âmbito de dissertações de mestrado.

Destacam-se ainda a publicação de outros interessantes artigos no âmbito das Instalações Elétricas (Interruptores mecânicos para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas), no âmbito das Telecomunicações (ITUR 2 – Dimensionamento das redes de cabos coaxiais), no âmbito da Segurança (NFPA 850. *Firetrace* e os fogos em turbinas de vento) e no âmbito da Gestão de Energia e da Eficiência Energética, com um artigo sobre tecnologias de produção de frio e outro sobre redução de consumos de energia elétrica na iluminação pública.

Estando certo que esta edição da revista “Neutro à Terra” apresenta artigos de elevado nível técnico e científico, com elevado interesse para todos os profissionais do setor eletrotécnico, satisfazendo assim novamente as expectativas dos nossos leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos e desejo a todos um Bom Ano de 2016.

Porto, 29 dezembro de 2015

José António Beleza Carvalho

### Visualização de páginas por país

---

Entrada	Visualizações de páginas
Portugal	15729
Estados Unidos	2353
Brasil	1070
Alemanha	337
Angola	142
Rússia	128
Reino Unido	127
França	80
Andorra	75
Espanha	73



## REQUISITOS DO PROJETO ELÉTRICO DE MOTORES DE INDUÇÃO PARA ACIONAMENTO POR VARIADOR DE VELOCIDADE

### Resumo

*O acionamento de motores elétricos de indução por inversores estáticos de frequência (comercialmente denominados variadores de velocidade) é uma solução já amplamente utilizada na indústria. Contudo sendo, há ainda muito para ser, feito, estudado e compreendido principalmente ao nível da interação entre o variador e o motor, para que tais aplicações sejam efetivamente vantajosas em termos de eficiência energética e atrativas em termos de custo. Neste artigo são expostos os principais desafios que são colocados aos fabricantes de motores e que resultam da alimentação dos mesmos por uma fonte de tensão PWM com elevadas frequências de comutação. São apresentadas algumas considerações normativas e apresentadas algumas soluções comumente utilizadas para mitigar os problemas sentidos.*

### 1. Introdução

De todos os tipos de motores o de indução é o mais usado, quer no sector industrial quer no sector comercial.

O seu baixo custo, uma simples e robusta construção, a elevada fiabilidade, a reduzida manutenção e os níveis de eficiência conseguidos com as atuais tecnologias de controlo fazem dele um elemento de conversão eletromecânica muito apetecível. Contudo, é já hoje unanimemente aceite que o desempenho da motor de indução é diferente quando este é alimentado por um conversor estático de potência (variador de velocidade), ou quando alimentado diretamente pela tensão da rede. Em aplicações onde o desempenho exigido não é elevado a utilização de motores com uma construção padrão tem resultados satisfatórios, mas quando é requerido elevado desempenho é mais apropriado um motor com uma conceção específica o que vai atenuar as restrições construtivas associadas às aplicações de velocidade constante.

Os variadores de velocidade podem utilizar um controlo escalar ou vetorial. Em ambos os casos a tensão que geram é do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*) com um conteúdo harmónico e gradientes de tensão cujos efeitos no motor assumem grande relevância e que necessitam de ser considerados no projeto do motor. O efeito dos elevados gradiente de tensão é particularmente importante quando o motor é alimentado por cabos longos, pois a impedância dos cabos de alimentação reduz o gradiente de tensão aos terminais do motor mas cria aí um efeito de onda amortecida onde as sobretensões podem ser várias vezes superiores à tensão nominal, reduzindo a vida útil do isolamento dos enrolamentos do motor. Para mitigar este problema alguns autores defendem a utilização de filtros [1]. Os harmónicos de tensão e corrente apesar de não contribuírem para um aumento do binário motor, uma vez que não aumentam o fluxo fundamental no entreferro que gira à velocidade síncrona, aumentam as perdas no ferro e no cobre, respetivamente [2, 3, 4]. Para agravar o problema o acionamento a velocidades mais baixas reduz a ventilação do motor. A conjugação destes dois fatores trás problemas adicionais ao nível do isolamento dos enrolamentos, podendo mesmo ser excedido o limite de temperatura definido pela classe de isolamento com que o motor foi construído. Este aumento da temperatura pode não provocar danos imediatos mas provocará, com certeza, uma diminuição do tempo de vida do motor. Para a maioria dos atuais isolantes um aumento da temperatura de 10°C resultará numa redução em 50% no tempo de vida esperado do mesmo [5].

Para além dos efeitos anteriormente referidos, podem aparecer outros efeitos, que não se devem especificamente aos harmónicos, mas que são também relevantes e que não devem ser desprezados, tais como a circulação de corrente pelos enrolamentos [6] e o aumento dos níveis de vibração e ruído [7, 8].

## 2. Considerações Normativas

Analogamente a vários outros aspetos construtivos, também as condições de acionamento do motor de indução por variador de velocidade estão normalizadas.

Os principais organismos normalizadores internacionais dedicam vários capítulos das suas normas de máquinas elétricas rotativas inteiramente a esta temática, o que demonstra também a importância do tema. Assim, destacam-se:

- IEC: 60034-17: Rotating Electrical Machines - Cage induction motors when fed from converters - application guide;
- IEC 60034-25: Rotating Electrical Machines - Guide for the design and performance of cage induction motors specifically designed for converter supply;
- NEMA MG1 - Part 30: Application considerations for constant speed motors used on a sinusoidal bus with harmonic content and general purpose motors used with adjustable-voltage or adjustable-frequency controls or both;
- NEMA MG1 - Part 31: Definite purpose inverter-fed polyphase motor.

### 2.1. Conteúdo Harmónico

Os valores limite de distorção harmónica da tensão gerada pelo variador de velocidade, e consequentemente da corrente, não estão normalizados. No entanto, as normas consideram o aumento das perdas do motor devido ao uso do variador.

A norma IEC 60034-17 exemplifica o aumento das perdas do motor devido ao uso de um variador com o caso prático de um motor com uma carcaça 315, com valores nominais de binário e velocidade, apresentando para este caso perdas 15% maiores, sendo a maior contribuição a das perdas no ferro com 12% desses quinze. No capítulo IEC 60034-17 é comparado o acionamento à carga nominal e em vazio de um motor de 37 kW alimentado com tensões a variar entre os 20 e os 100 Hz, sendo apontadas soluções para mitigar o aumento de perdas verificado.

A NEMA MG1 – Parte 30 considera uma redução percentual do binário do motor (*derating factor*) para evitar o excessivo sobreaquecimento de um motor alimentado por um inversor, que estará sujeito a correntes harmónicas decorrentes do conteúdo harmónico da tensão PWM.

### 2.2. Gradiente de tensão

As definições do tempo de subida (*rise time*) são diferentes na norma IEC e NEMA, o que gera divergências de interpretação e conflitos entre fabricantes e consumidores.

Segundo o IEC 60034-25 o tempo de subida corresponde ao tempo que a tensão leva para subir de 10 a 90% da tensão do barramento DC. Pelo critério NEMA deve-se tomar o valor da tensão do barramento, enquanto que pelo IEC se deve usar o valor de pico da tensão aos terminais do motor. Este último leva em consideração o efeito do cabo de alimentação, podendo por isso ser mais preciso mas é mais difícil de ser previsto ou estimado a priori.

### 2.3. Isolamento dos enrolamentos

Relativamente aos efeitos sobre o isolamento dos enrolamentos dos motores, tanto a IEC 60034 como a NEMA MG1 apresentam tabelas e gráficos com os valores da tensão de pico e tempo de subida da tensão (*rise time*) que os isolamentos devem suportar. Para motores com tensões de alimentação mais elevadas sugerem o reforço do isolamento e a instalação de filtros na saída do inversor para limitar as tensões de pico. Garantindo que a tensão de saída do inversor não excede os limites apresentados na norma assume-se que não haverá significativa redução na vida útil do isolamento por stress de tensão.

### 2.4. Correntes de circulação pelos enrolamentos

Os problemas devidos a tensão/corrente induzida no eixo são agravados pela forma de onda da tensão PWM gerada pelos variadores de velocidade, devido a estas serem tendencialmente desequilibradas e por terem componentes de alta frequência [9].

A IEC 60034 recomenda o uso de filtros para redução da componente de sequência zero, a redução do  $dV/dt$  e o isolamento dos rolamentos em motores com carcaças acima da 315 e ou potências superiores a 400 kW. Recomenda ainda a utilização de escovas de aterramento no eixo.

A NEMA MG1 refere a maior ocorrência de correntes de circulação nos rolamentos em motores com carcaças mais pequenas, menores que 500. E sugere o isolamento de ambos os rolamentos, ou alternativamente a utilização de escovas de aterramento no eixo para desviar a corrente dos rolamentos.

### 3. Considerações Relativas aos Harmónicos

Tal como referido anteriormente o motor de indução acionado por um variador de velocidade recebe nos seus terminais uma tensão PWM, pelo que estará sujeito a harmónicos que afetam o seu desempenho, nomeadamente, um aumento de perdas e de temperatura de funcionamento. A influência do variador sobre o motor depende de uma série de fatores relacionados com o controlo, tais como a frequência de comutação, a largura

efetiva dos pulsos, o número de pulsos, entre outros.

A Figura 1 ilustra a forma de onda típica da tensão composta e respetivo espectro de frequências de uma alimentação PWM. É visível o elevado conteúdo harmónico, com componentes até cerca dos 50kHz.

Estas componentes harmónicas não contribuem para a produção de binário motor, uma vez que não aumentam o fluxo fundamental no entreferro, que gira à velocidade síncrona. Contudo, são responsáveis por um aumento das perdas, uma vez que para frequências mais elevadas as perdas por histerese aumentam, assim como aumenta a saturação efetiva do núcleo. Concomitantemente, as correntes harmónicas aumentam as perdas por efeito de Joule nos condutores.

A operação do motor a velocidades de rotação mais baixas promove uma redução na ventilação e conseqüente perda de transferência de calor (em motores autoventilados), contribuindo também para a elevação da temperatura de estabilização térmica.

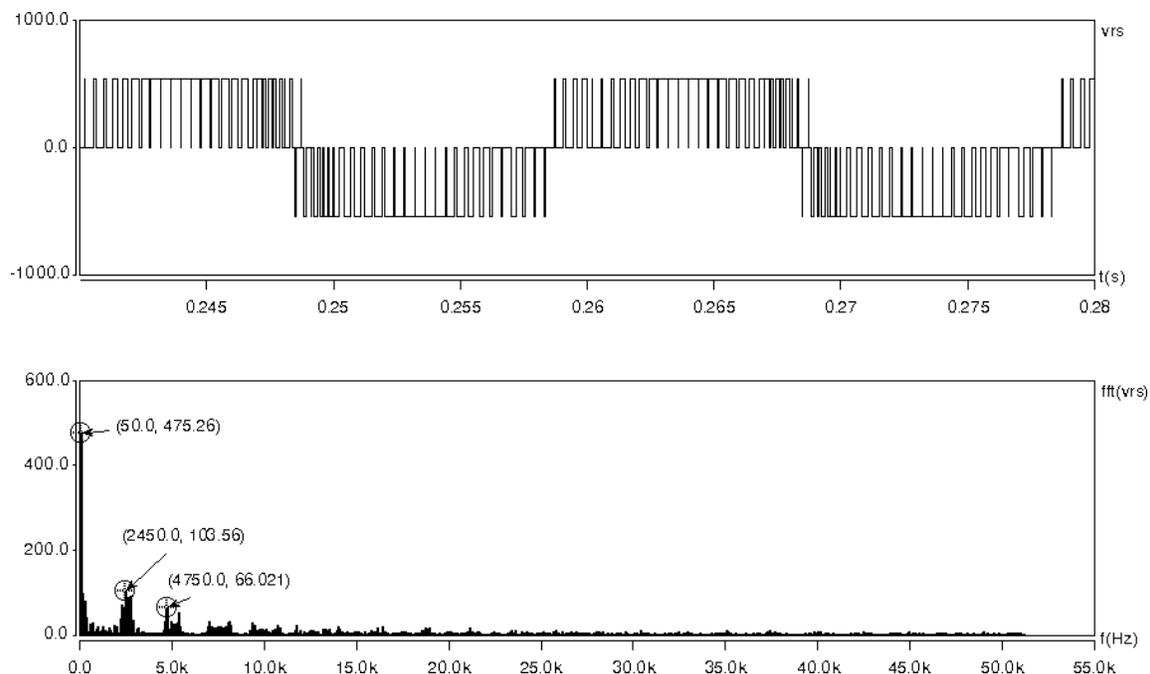


Figura 1. Tensão composta e respetivo espectro de frequências

Portanto, quando da operação com variador de velocidade, e por efeito da influência conjunta dos fatores supracitados devem ser consideradas medidas para mitigação do sobreaquecimento do motor, nomeadamente:

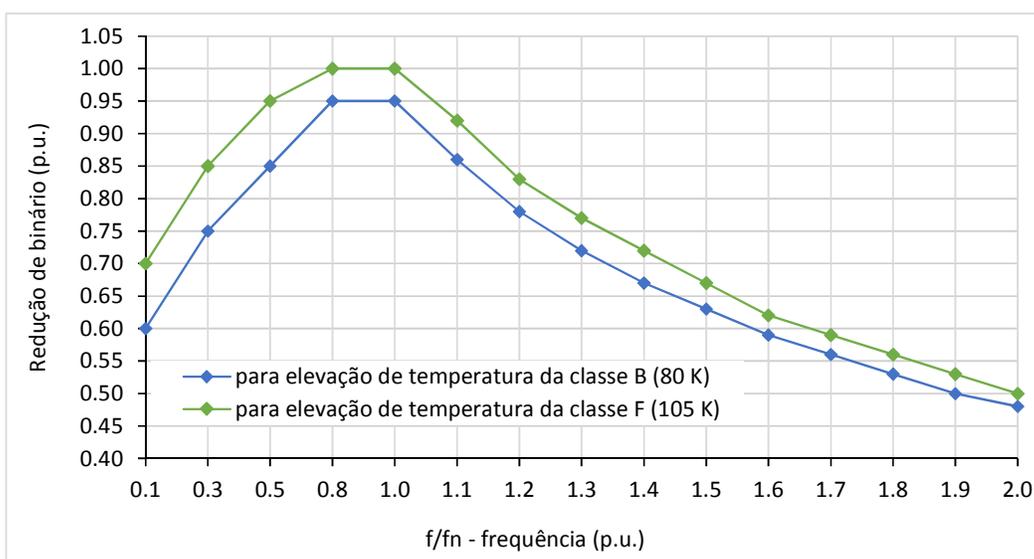
- Redução do binário nominal (sobredimensionamento do motor);
- Utilização de um sistema de ventilação independente;
- Utilização do “fluxo ótimo” (solução patenteada pela WEG [4]).

Na Figura 2 é apresentada uma curva típica de sobredimensionamento aplicável a motores de produção em série com projeto padrão. .

Na Tabela 1 são apresentadas algumas medidas, genéricas, para mitigação do conteúdo harmónico da tensão gerada por variadores de velocidade.

**Tabela 1. Métodos de redução de harmónicos da tensão gerada por variadores de velocidade (fonte [10])**

Método de redução de harmónicos	Características da solução
Instalação de filtros passivos de saída	Aumento do custo da instalação
	Restrições para operação nos modos vetoriais
	Queda de tensão (redução da potencia do motor)
Utilização de inversor com mais níveis	Aumento de custos
	Redução de fiabilidade do inversor
	Aumento da complexidade do controlo
Melhoria na qualidade da modulação PWM	<i>Space Vector Modulation</i>
	Não aumenta custos
	Melhoria no controle de tensão
	Maior rendimento do conjunto (motor + inversor)
Aumento da frequência de comutação	Redução do rendimento do inversor (aumento das perdas por comutação)
	Aumento das correntes de fuga para a terra



**Figura 2. Curva típica de sobredimensionamento aplicável a motores de produção em série com projeto padrão**

#### 4. Considerações Relativas ao Isolamento dos Enrolamentos do Motor

A evolução dos semicondutores de potência tem levado à criação de transistores de potência mais eficientes e mais rápidos. Consequentemente, os conversores eletrônicos de potência operam a frequências de comutação superiores o que tem vantagens. Contudo, do ponto de vista do motor acarretam algumas consequências indesejáveis, tais como o aumento da emissão eletromagnética e a provável incidência de picos de tensão, bem como elevados valores de  $dV/dt$  (taxa de variação da tensão no tempo) aos terminais dos motores alimentados por variadores de velocidade.

Dependendo das características do controle, da modulação PWM adotada, e da impedância do cabo e do motor, podem-se gerar sobretensões, repetitivas, aos terminais do motor. Estes pulsos de tensão podem reduzir a vida do motor pela degradação do seu sistema de isolamento.

O cabo e o motor podem ser considerados um circuito ressonante excitado pelos pulsos retangulares da tensão modulada gerada pelo variador de velocidade. Assim, as sobretensões são determinadas, basicamente, pelos seguintes fatores: tempo de subida dos pulsos de tensão, tempo mínimo entre pulsos, comprimento do cabo de ligação do motor, e frequência de comutação do variador.

##### 4.1. Tempo de subida

Para subir do valor mínimo até ao valor máximo, a tensão PWM requer um certo tempo, denominado de tempo de subida ("rise time"). Os avanços no desenvolvimento dos semicondutores de potência estão a tornar esses tempos cada vez menores e com grande repetibilidade, resultado do crescimento da frequência de comutação dos mesmos. Como consequência a(s) primeira(s) espira(s) da primeira bobina de cada fase fica(m) submetida(s) a um valor de tensão elevado e repetitivo, originando-se uma maior diferença de potencial entre espiras o que degrada mais rapidamente o isolamento dos enrolamentos do motor, pelo que este deve possuir características dielétricas reforçadas.

Devido às características indutivas e capacitivas dos enrolamentos do motor, ocorre um amortecimento do pulso nas bobinas subsequentes

##### 4.2. Comprimento do cabo

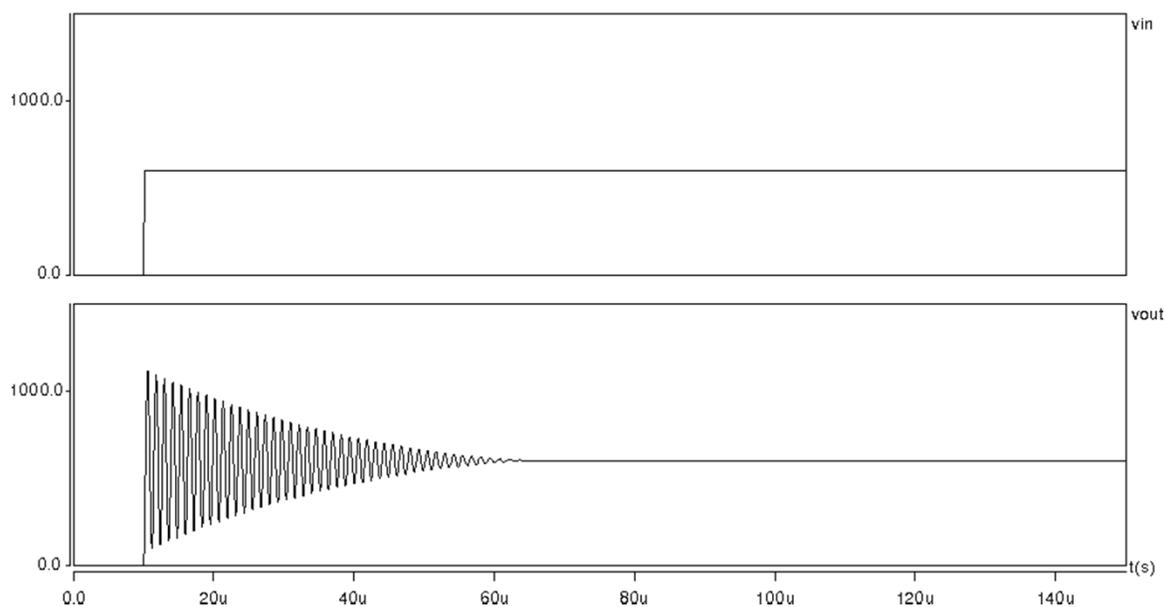
Em muitas aplicações industriais o conversor e o motor têm de estar separados, algumas dezenas ou mesmo centenas de metros. Devido à natureza distribuída da impedância dos cabos, especialmente os mais longos, estes podem apresentar, em função do tempo de subida do pulso de tensão, da frequência de comutação e do seu comprimento, um comportamento igual ao de uma linha de transmissão onde surgem ondas de tensão incidente e refletida [11].

Os pulsos de tensão deslocam-se a uma velocidade aproximadamente igual a metade da velocidade da luz (150–200m/μs). Se um pulso de tensão demorar mais do que um terço do tempo de subida a percorrer o cabo, desde o variador ao motor, ocorrerá uma reflexão total aos terminais deste e a amplitude da tensão irá aproximadamente duplicar [11].

É importante salientar que com os cada vez menores tempos de subida dos conversores modernos, um comprimento de cabo relativamente pequeno pode já apresentar este comportamento. De acordo com [12] as sobretensões começam aparecer em cabos a partir de, aproximadamente, 3 m podendo chegar a 2 vezes o valor da tensão da fonte para comprimentos de cabo de 15 m, e a valores superiores a esse, para comprimentos de cabo acima de 120 m.

Na Figura 3 pode-se observar o valor da sobretensão de um cabo com 30 m de comprimento e uma impedância característica por metro:  $R_c = 20 \text{ m}\Omega/\text{m}$ ,  $L_c = 1.18 \text{ }\mu\text{H}/\text{m}$  e  $C_c = 32.8 \text{ pF}/\text{m}$ , alimentado por um pulso de tensão com uma amplitude de 600V e um tempo de subida  $t_r = 0.1 \text{ }\mu\text{s}$ .

Confirma-se o pressuposto inicial de que a amplitude da tensão iria aproximadamente duplicar.



**Figura 3. Tensão de entrada e de saída de um cabo elétrico alimentado com um pulso de tensão**

Por forma a minimizar estas sobretensões podem ser implementados diferentes tipos de soluções, nomeadamente a introdução de uma bobina em série com o variador e o motor. Esta bobina limita a corrente, filtra a tensão PWM e reduz o ruído elétrico. Contudo, dada a elevada indutância necessária, afeta o desempenho dinâmico do conjunto, é volumosa e cara comparativamente com outras soluções.

Uma segunda solução é o já referido reforço do isolamento dos enrolamentos do motor e também a implementação de filtragem [13]. A filtragem pode utilizar diversas topologias e ser implementada do lado do variador ou do motor.

#### **4.3. Efeito Corona**

Dependendo da qualidade/homogeneidade do sistema de impregnação, o material impregnante pode conter bolhas de ar (vazios), que podem levar, em conjugação com as sobretensões ao aparecimento de Descargas Parciais que por sua vez podem levar ao rompimento do isolamento entre espiras. Um fenómeno complexo decorrente do efeito Corona. Este efeito resulta do campo elétrico criado pela diferença de potencial entre condutores adjacentes.

Se for estabelecido um campo elétrico suficientemente alto (mas abaixo da tensão de rutura do material isolante), a rigidez dielétrica do ar pode ser rompida, e o oxigênio (O<sub>2</sub>) é ionizado em ozono (O<sub>3</sub>). O ozono é altamente agressivo e ataca os componentes orgânicos do isolamento dos enrolamentos, deteriorando-os. Para que isso ocorra, o potencial nos condutores precisa exceder um valor limiar denominado CIV (*Corona Inception Voltage*), que é a rigidez dielétrica do ar “local” (dentro da bolha). O CIV depende do projeto do enrolamento, do tipo de isolamento, da temperatura, de características superficiais e da humidade. A erosão resulta na diminuição da espessura do material isolante, acarretando progressivas perdas de propriedades dielétricas, que acabarão por levar à falha do isolamento.

#### **4.4. Tempo Mínimo entre Pulsos Consecutivos e Frequência de Comutação**

Tal como o nome da modulação PWM sugere, o valor eficaz da tensão que é aplicada ao motor é controlado por variação da largura dos pulsos e pelo tempo entre eles. Acontece porém que o efeito de sobretensão é agravado quando o tempo entre os pulsos é mínimo. Condição que ocorre durante regimes transitórios, como aceleração e desaceleração do motor.

Se o tempo entre pulsos for menor que 3 vezes o período ressonante do cabo (tipicamente 0,2 a 2 $\mu$ s para cabos industriais), ocorrerá um acréscimo na sobretensão.

Associada aos efeitos originados pelo tempo de subida e tempo mínimo entre pulsos consecutivos, está a frequência com que os mesmos são produzidos. Atualmente são já comuns frequências de comutação na ordem dos 20 kHz. Porém, há estudos que indiciam que quanto maior for a frequência de comutação mais rápida será a degradação do isolamento dos enrolamentos. A relação de dependência entre o tempo de vida útil do isolamento e a frequência de comutação não é uma relação simples.

Resultados experimentais mostram que para frequências de comutação menores, ou iguais, a 5 kHz a probabilidade de falha do isolamento é diretamente proporcional à frequência de comutação, enquanto que para frequências de comutação maiores que 5 kHz a probabilidade de falha do isolamento é diretamente proporcional ao quadrado da frequência de comutação.

Por outro lado, o aumento da frequência de comutação melhora o conteúdo harmónico da tensão injetada no motor, tendendo, dessa forma, a melhorar o desempenho do motor em termos de temperatura e ruído.

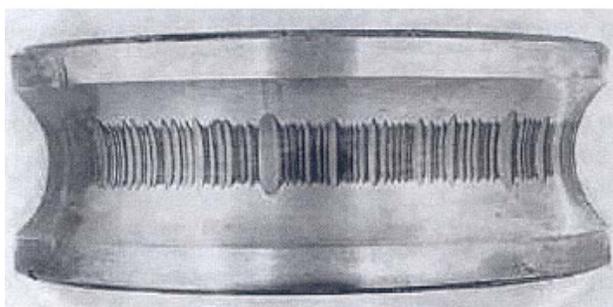
##### 5. Corrente de Circulação nos Rolamentos

O problema da tensão/corrente induzida no eixo gravou-se com o advento dos variadores de velocidade. A soma vetorial instantânea das três fases da tensão PWM de saída do variador de velocidade não é igual a zero, mas igual a um potencial eléctrico de alta frequência relativamente a um ponto comum de referência, usualmente a terra ou o polo negativo do barramento DC, denominada, por isso de tensão de modo comum. Havendo capacidades parasitas do motor para a terra, ocorre a circulação de uma corrente de modo comum indesejada que atravessa o rotor, eixo, rolamento e tampa aterrada.

Portanto, as causas de tensão induzida no eixo devido aos

variadores de velocidade somam-se àquelas intrínsecas ao motor (por exemplo, desbalanceamento eletromagnético Causado por assimetria) e que também provocam a circulação de corrente nos rolamentos.

Estas correntes desgastam as esferas e a pista dos rolamentos, dando origem a pequenos furos, que começam a sobrepor-se e, e que com o passar do tempo promovem a formação de sulcos (Figura 5), reduzindo a vida útil dos rolamentos e podendo mesmo provocar a falha do motor.



**Figura 5. Pista de rolamento danificada devido à circulação de corrente elétrica (fonte [4]).**

Estes efeitos podem ser mitigados utilizando rolamentos isolados e introduzindo escovas de aterramento entre o rotor e a carcaça do motor por intermédio de uma escova deslizante de grafite.

##### 6. Conclusões

O rápido desenvolvimento da eletrónica de potência tem permitido que os motores de indução, tradicionalmente acionados a velocidade constante, sejam utilizados com sucesso em aplicações de velocidade variável. Nestes casos, o motor é alimentado por um variador de velocidade.

Estes sistemas apresentam grandes vantagens tanto energéticas quanto económicas, quando comparado com outras soluções existentes para aplicações industriais de velocidade variável. No entanto, o uso do variador traz consequências para o motor, fazendo com que os fabricantes de motores precisem de estar atentos.

## Referências

- [1] C. Choochuan., “A survey of output filter topologies to minimize the impact of pwm inverter waveforms on three-phase ac induction motors,” em he 7th International Power Engineering Conference - IPEC 2005, 2005.
- [2] E. N. H. a. H. Roehrdanz, “Losses in three-phase induction machines fed by pwm converter,” IEEE Transactions on Energy, 2001.
- [3] T. C. G. a. A. C. S. Carlos A. Hernandez-Aramburo, “Estimating rotational iron losses in an induction machine,” IEEE Transactions on Magnetics, vol. 39, 2003.
- [4] H. N. K.-H. H. J.-P. H. a. D.-H. H. Jeong-Jong Lee, “Loss distribution of three-phase induction motor fed by pulsewidth-modulated inverter,” IEEE Transactions on Magnetics, vol. 40, 2004.
- [5] A. M. J. S. S. B. a. G. L. S. Mike Melfi, “Effect of surge voltage risetime on the insulation of low-voltage machines fed by pwm converters,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, p. 766–775, 1998.
- [6] S. Chen, T. Lipo e D. Novotny, “Circulating type motor bearing current in inverter drives,” em Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS '96, 1996.
- [7] S. Ueda, K. Honda, T. Ikimi, M. Hombu e A. Ueda, “Magnetic noise reduction technique for an AC motor driven by a PWM inverter,” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 6, pp. 470-475, Jul 1991.
- [8] N. Hashemi, R. Lisner e D. Holmes, “Acoustic noise reduction for an inverter-fed three-phase induction motor,” em 39th IAS Annual Meeting Industry Applications Conference, 2004.
- [9] WEG Equipamentos Elétricos S.A., “Guia Técnico - Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM,” Jaraguá do Sul, 2009.
- [10] H. G. G. M. Waldiberto de Lima Pires, “Minimização de Perdas em Motores de Indução Alimentados Por Conversores de Frequência – Solução Fluxo Ótimo,” Jaraguá do Sul - Barsil, 2006.
- [11] P. E. a. W. G. A. von Jouanne, “Application issues for pwm adjustable speed ac motor drives,” IEEE Industry Application Magazine, 1996.
- [12] NEMA Standards Publication, “Application Guide for AC Adjustable Speed Drive Systems,” National Electrical Manufacturers Association, Rosslyn, 2007.
- [13] P. T. Finlayson, “Output filters for pwm drives with induction motors,” IEEE Industry Applications Magazine, p. 46–52, 1998.

## Notas soltas:

Grandeza física		Unidade	
Denominação	Símbolo	Denominação	Símbolo
Capacidade	C	Farad	F
Carga elétrica	Q	Coulomb	C
Comprimento	L	metro	m
Corrente elétrica	I	Ampère	A
Densidade de corrente	J	Ampère/m <sup>2</sup>	A/m <sup>2</sup>
Energia	E	Joule	J
Fluxo magnético	f	Weber	Wb
Força	F	Newton	N
Frequência	F	Hertz	Hz
Impedância	Z	Ohm	Ω
Indutância	L	Henry	H
Potência elétrica	P	Watt	W
Pressão	P	Pascal	Pa
Resistência elétrica	R	Ohm	Ω
Resistividade	r	Ohmxmetro	Ωxm
Tensão elétrica	V	Volt	V

## TYPES AND CONSTRUCTION OF POWER TRANSFORMERS

### I. Introduction

Transformers may be classified according to dielectric insulation material as follows:

- Oil-filled transformers
- Dry type transformers

### II. Oil-filled Transformers

Two types of oil-filled transformers are commonly used:

- With expansion tank (conservator)
- Sealed

In this type of transformers windings and core are immersed in oil, in a tank with radiators; oil plays both functions of insulating material and cooling fluid.

Common applications of oil-filled transformers with conservator are:

- As step-up transformers in power plants.
- As step-down transformers in EHV/EHV, EHV/HV and HV/MV utilities substations (primary voltages above 52 kV).
- As step-down transformers in HV/MV or MV/MV industrial plants substations, with rated power above 2.5 MVA.



Oil-filled sealed transformers (without conservator) are mainly used in distribution networks (MV/LV) and in installations up to 52 kV, with a rated power up to 2.5 MVA, although some manufactures built this type of transformers up to 30 MVA.



The degree of protection (IP) provided by the tank allows that both types of transformers can be installed outdoors.

### III. Dry Type Transformers

Dry type transformers present the most suitable solution in situations where the distribution of energy requires absolute safety and environmental friendliness. These transformers require less maintenance than oil-filled transformers, more safe to environment and have low fire hazard.



Windings and core are not installed in a tank and insulation of windings is usually made of cast resin.

They possess less space, about 2/3 of that of corresponding oil filled transformers, and their simple construction allows on-site replacement of windings.

Dry type transformers are only suitable for indoors installation because the degree of protection provided by enclosure is IP00 and are usually employed on distribution networks and in installations with voltages up to 52 kV and rated power up to 2.5 MVA, although some manufactures built this type of transformers up to 50 MVA.

Typical use of dry type transformers is:

- Multi-storey buildings
- Hotels
- Malls
- Hospitals and clinics
- Airports
- Mines
- Other places where fire safety is a great concern

#### IV. Gas Insulated Transformers (GIT)

Rising demand for electric power in large cities, lack of space to construct new substations or upgrade existing substations and adverse environment conditions has encouraged large-scale substations to be tucked away underground in overpopulated urban areas, leading to strong demand for incombustible and non-explosive, large-capacity gas insulated transformers from the view point of accident prevention and compactness of equipment.



In line with this requirement, several types of large-capacity gas insulated transformers have been developed, being SF6 the most common gas used.

Because the gas forced cooling type was considered to be available up to approximately 60 MVA, all of these gas insulated transformers are liquid cooled.

The main advantages of GIT are:

- Non flammable (gas insulated transformers, using incombustible SF6 gas as an insulation and cooling medium).
- Explosion-proof tank (pressure tank withstands pressure rise in case of internal fault).
- Compactness (since conservator or pressure relief equipment is not necessary, height of transformer room can be reduced approximately 2-2.5 meters).
- Easy installation (oil or liquid purifying processes are not necessary with gas insulated transformers).
- Easy inspection and maintenance work (only SF6 gas pressure need be basically monitored during periodic inspection).

Since gas insulated transformers do not need a conservator, the height of transformer room can be reduced. In addition, its non-flammability and non tank-explosion characteristics can remove firefighting equipment from transformer room.

As a result, gas insulated transformers, gas insulated shunt reactor, GIS and control panels can be installed in the same room, and such installation realizes the fully SF6 gas insulated substation.

#### V. Two and Three Windings Transformers

Usually transformers have two windings, the primary and the secondary.

However, in HV and EHV substations, with voltages above 52 kV, power transformers may have a third winding, with a rated voltage of 7 kV or 11.5 kV.

This winding is used for harmonic compensation, to reduce the unbalancing in the primary due to unbalancing in three phase load and to redistribute the flow of fault current.

It is common practice to use this third winding to LV auxiliary services power transformer.

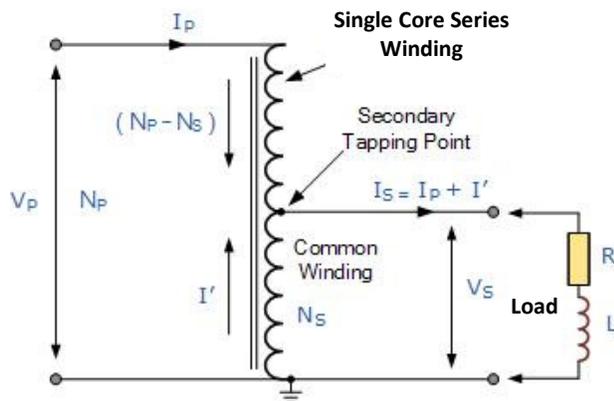
**VI. Single Phase Transformers and Autotransformers**

For voltages above 123 kV and for high values of rated power (usually above 100 MVA), for handling and economic reasons it is usual to use single phase transformers.

In such a situation the three single phase transformers must work as a whole, since they are relatively interdependent.

The windings (both primary and secondary) of the three single phase transformers must be connected together in “star” or in “delta”.

A special case of single phase transformers are autotransformers that have one single core and winding.



The main advantages of an autotransformer compared to a common single phase transformer are:

- More economic and easier to handle (only one winding and for the same rated power the dimensions and the weight are lower).
- More efficient (losses by Joule effect are lower, because there is only one winding).
- Lower voltage drop, being able to keep the voltage more stable.

In contrast the major disadvantages are:

- Primary and secondary windings are not isolated from each other.
- As the internal voltage drop is lower, in case of a short circuit the fault current is higher, causing higher electrodynamic stress in the windings, which may be a cause of ageing.

**VII. Dissociated Phases Transformers**

Another construction solution for voltages above 123 kV and for high values of rated power is the dissociated phases transformer, formed by three single-phase transformers within a common enclosure, where are made the connections of the three transformers and where the bushings are assembled.

The conservator, the cooling system and the on-load tap changer may be also assembled at that enclosure or assembled separately.



**VIII. Zig-Zag & Grounding Transformers**

Neutral grounding of transformers and transmission and distribution networks may be:

- Solid grounded
- Grounded through an impedance or a resistance
- Ungrounded

When it is required to connect the neutral of the transformers to the ground, (solid or through an impedance or a resistance) and when at the side it is designated to ground the neutral the windings are “delta” connected (usually MV/LV power transformers), in order to achieve neutral grounding is necessary to form an artificial neutral point. This is achieved using a zigzag grounding transformer.

## 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)).

## UTILIZAÇÃO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO PARA ABASTECER UMA RESIDÊNCIA NO HORÁRIO DE PONTA

### Resumo

Com uma tarifa horária diferenciada, o preço da energia elétrica é mais barato durante a madrugada, nos chamados horários de vazio, e mais caro no final da tarde, no horário de ponta. Uma possibilidade para evitar esse custo maior é a de se comprar a energia durante o horário de vazio, armazená-la numa bateria e devolvê-la à rede no horário de ponta. O presente trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade económica da utilização da energia disponível na bateria de um veículo elétrico para abastecer uma residência durante o horário de ponta.

### 1. Introdução

Modalidade tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e procura de potência ativa, podendo ser divididas em tarifas convencionais e tarifas horárias [1].

Na primeira, o cliente é cobrado igualmente pela energia elétrica que consome independente do horário do dia ou período do ano. Já a cobrança de energia elétrica nas tarifas horárias é caracterizada por refletir os custos de outras variáveis, como o período do dia que o consumo ocorre e custo de produção.

Quando comparado um horário de ponta a um mesmo período fora da ponta, o custo de energia elétrica e da procura pode chegar até nove vezes mais que o seu corresponde num horário normal [1]. Como alternativa, a produção independente de energia elétrica pode ser um sistema economicamente viável.

Com uma capacidade assinalável nas suas baterias, os veículos elétricos (VE) podem ser utilizados como dispositivos armazenadores de energia num sistema de compensação de consumo no horário de ponta.

Isso pode ser útil também para compensar a natureza intermitente das fontes renováveis de energia, por exemplo.

### 2. Sistema tarifário português

Assim como o Brasil, Portugal possui diferentes modalidades tarifárias. Há as Tarifas de Média Tensão (MT), Baixa Tensão Especial (BTE) e a Baixa Tensão Normal (BTN) que é utilizada pela maioria dos clientes residenciais, foco deste estudo.

Para BTN, adotam-se diferentes tarifas ao longo do dia, a Ponta, a Cheia e o Vazio.

A figura 1 exemplifica visualmente a divisão horária de um dia de acordo com a respetiva tarifa.



Figura 1. Divisão diária por posto tarifário [2]

Através da Equação 1 será feito o cálculo da chamada Tarifa de Compensação, pois considerar-se-á o carregamento do veículo elétrico durante a madrugada, ou horário de vazio, e sua descarga no horário de ponta.

O cálculo da economia se dará a partir da diferença entre as tarifas de compra.

$$Tarifa_{compensação} = Tarifa_{ponta} - Tarifa_{vazio} \quad (1)$$

### 3. Veículos elétricos

São denominados VE, todos aqueles veículos que, para seu funcionamento, possuem pelo menos um motor que converte a energia elétrica armazenada em baterias em energia mecânica. Os Veículos a Bateria Elétrica, dependem única e exclusivamente da energia armazenada nas baterias para a sua locomoção. Nesse caso, ele é ligado diretamente à rede elétrica para o carregamento. Veículos Elétricos Híbridos Plug-in, VHEP, são movidos a eletricidade ou a gasolina e têm a singularidade de poderem se recarregar através do motor de combustão interna, ao invés de serem carregadas somente pela rede elétrica.

#### 3.1. Baterias para veículos elétricos

Especificamente para os VE, há duas tecnologias de bateria que são predominantes, a de Níquel-Hidreto Metálico (NiHM) e a de Li-Ion [1].

As principais características que se deve conhecer a respeito das mesmas, para dimensioná-las e entender o seu funcionamento para esta aplicação, são:

- **Capacidade:** É a quantidade de corrente por hora que a bateria, ou célula de bateria é capaz de fornecer [Ah];
- **DoD:** Profundidade de Descarga (PdD), ou Depth of Discharge (DoD). Mede quanto da capacidade total da bateria será utilizado na descarga, é dada pela relação da Capacidade Utilizada pela Capacidade declarada.

#### 3.2. Determinação da potência disponível na bateria

A potência disponível para uso nas baterias pode ser determinada conforme a seguinte Equação 2 [4]:

$$P_d = \frac{[E_a - (DD + Res) \times Eff_{ve}] \times Eff_{inv}}{t_{desc}} \quad (2)$$

Onde:

$P_d$  Potência disponível [kW]

$E_a$  Energia armazenada na bateria [kWh]

$DD$  Distância percorrida desde que a bateria foi 100% carregada [km]

$Res$  Distância reserva na bateria, definida pelo condutor [km]

$Eff_{ve}$  Eficiência do veículo elétrico em kWh/km

$Eff_{inv}$  Eficiência do inversor utilizado [adimensional]

$T_{desc}$  Tempo de descarga desejado [h]

Para os veículos 100% elétricos, leva-se em conta a PdD máxima permitida pela bateria, uma vez que se, ultrapassados esses valores, baixa-se drasticamente a vida útil das mesmas. Isso gera a Equação 3 [5].

$$P_d = \frac{[E_a * DoD - (DD + Res) \times Eff_{ve}] \times Eff_{inv}}{t_{desc}} \quad (3)$$

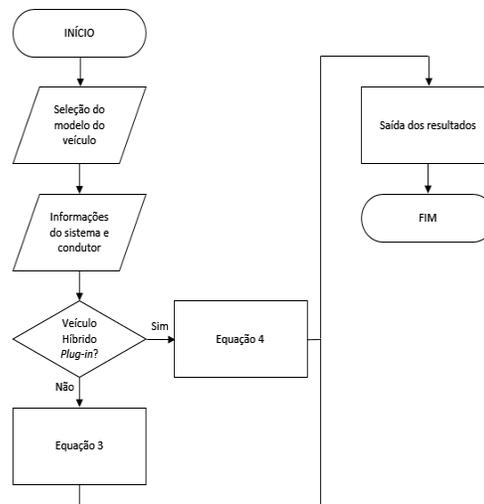
Para os VHEP, não é necessário prever uma reserva na bateria, uma vez que o motor a combustão pode carregar a bateria e/ou movimentar o veículo, dando origem à Equação 4.

$$P_d = \frac{[E_a * DoD - (DD) \times Eff_{ve}] \times Eff_{inv}}{t_{desc}} \quad (4)$$

### 4. Estudo de caso

Construiu-se uma ferramenta de simulação capaz de receber como entrada todos os dados relevantes ao cálculo da utilização do VE como uma fonte de compensação de energia, sendo a plataforma escolhida o Excel. A saída informará a economia e tempo de payback do sistema para cada caso.

O Fluxograma 1 representa o funcionamento do simulador.



Fluxograma 1. Funcionamento do simulador

Para a simulação da viabilidade económica, escolheu-se trabalhar com 3 veículos reais e disponíveis no mercado. O Outlander PHEV, um híbrido plug-in da Mitsubishi, e os veículos 100% elétricos, o Leaf da Nissan e o i3 da BMW.

A tabela 1 contém um sumário das principais características elétricas dos modelos escolhidos para se efetuar a simulação.

**4.1. Custo do sistema**

Sabe-se que o brasileiro troca de carro a cada 1,7 anos. Para Portugal, estimou-se cerca de 3 [1].

Como as baterias que equipam os veículos elétricos têm uma vida útil na ordem de 2000 a 3000 ciclos, ou seja, de no mínimo 5 anos ( $2000 \div 365 = 5,47$  anos) [8], os seus custos de depreciação foram desprezados, uma vez que o período de troca de um veículo usado por um novo é menor do que a vida útil da sua bateria.

Desprezou-se também o preço do VE, assumindo-se que o condutor já possui veículo na sua residência, e não que o compre exclusivamente para compensação.

Compõe o custo do sistema um carregador e um medidor de energia bidirecionais, para ligação à rede e controlo da carga/descarga da bateria, somando um valor estimado de €426.

	Montadora	Mitsubishi	Nissan	BMW
Geral	Veículo	Outlander PHEV	Leaf	i3
	Tecnologia	PHEV	100% EV	100% EV
	Tecnologia da Bateria	Íões de Lítio	Íões de Lítio	Íões de Lítio
Bateria	Tensão (V)	300	360	355,2
	Capacidade (Ah)	40	66,67	60,81
	Energia (kWh)	12	24	21,6
	Autonomia EV (km)	52	199	160
Veículo	Eficiência (kWh/100km)	18,46	9,65	10,8

Tabela 1. Principais características dos veículos híbridos e elétricos

**4.2. Hábitos de condução do consumidor português**

A primeira simulação foi feita com base nos hábitos de condução de um condutor médio português.

Constatou-se que o cidadão comum cobre diariamente, uma distância de 45 km [3]. Para a distância de reserva que será mantida na bateria, utilizou-se um valor de 15% da autonomia total do veículo. O tempo de descarga da bateria para compensação de energia será fixado em 2,5h, para aproveitar o intervalo do horário de ponta na sua totalidade. Obteve-se os resultados demonstrados na Tabela 2.

Geral	Montadora	Mitsubishi	Nissan	BMW
	Veiculo	Outlander PHEV	Leaf	i3
	Tecnologia	PHEV	100% EV	100% EV
Payback	t payback (anos)	8,59	0,93	1,13

Tabela 2. Tempo de *payback* por veículo

Verificou-se que o sistema é economicamente viável para aqueles que possuem veículos 100% elétricos, cujo tempo de *payback* fica em torno de um ano. Após esse período o utilizador começará a ter lucro efetivamente.

Para os VHEP, o retorno financeiro pode chegar a quase 9 anos, devido ao facto das suas baterias serem de muito menor capacidade que a dos veículos 100% elétricos.

Nesse caso, a utilização do VHEP seria vantajosa apenas para uso do veículo como um *nobreak*, no caso de uma falha elétrica da rede ou de algum equipamento interno à instalação do cliente.

#### 4.3. Diferentes perfis de condução

Para diferentes perfis de condução foi analisado qual VE, de entre os modelos de veículos pré-definidos, terá o menor tempo de *payback* e maiores lucros aos utilizadores.

Para tal, variou-se de 0 a 50 km a distância percorrida diariamente, utilizando-se um passo de 10 km. Para cada uma dessas distâncias variou-se também a distância de reserva de 0 a 30 km, com o mesmo passo de 10 km.

Será considerado rentável apenas aqueles casos em que o *payback* do sistema se dê em menos de 3 anos, ou seja, antes que o utilizador troque de veículo.

Os resultados foram compilados em diferentes tabelas. A Tabela 3 é referente ao Nissan Leaf.

A terceira coluna mostra a energia da bateria que está disponível para utilização na residência e a quarta informa de quanto será a economia bruta anual do usuário.

Por último está o tempo de *payback* do sistema. Mais uma vez foi considerado viável aqueles casos em que esse valor seja menor que 3 anos.

Para os VHEP é óbvio que a distância de reserva não afeta o tempo de *payback* do sistema, uma vez que pelo facto de possuir um motor a combustão, assume-se que nunca faltará gasolina em períodos de emergência, portanto não se deve constituir reserva da bateria. Os perfis vantajosos são aqueles que percorrem até 30 km diários, ou seja, do A ao I.

Já para os veículos elétricos, observa-se que quanto menor a soma das distâncias percorrida e reserva, menor o tempo necessário para *payback*. Para ambos modelos, o Leaf e o i3, independente da distância percorrida e da distância de reserva os veículos são recomendáveis, com *payback* dentro dos limites estabelecidos neste trabalho.

Perfil	Distância Percorrida	Reserva	Energia para residência (kWh)	Economia bruta anual (EUR)	Payback
A	10	10	15,89	662,40	0,64
B	10	20	15,00	625,40	0,68
C	10	30	14,11	588,39	0,72
D	20	10	15,00	625,40	0,68
E	20	20	14,11	588,39	0,72
F	20	30	13,23	551,39	0,77
G	30	10	14,11	588,39	0,72
H	30	20	13,23	551,39	0,77
I	30	30	12,34	514,38	0,83
J	40	10	13,23	551,39	0,77
K	40	20	12,34	514,38	0,83
L	40	30	11,45	477,37	0,89
M	50	10	12,34	514,38	0,83
N	50	20	11,45	477,37	0,89
O	50	30	10,56	440,37	0,97

Tabela 3. Tempo de *payback* para diferentes perfis de condução - Nissan Leaf

#### 4.4. Energia mínima da bateria para o utilizador

Para a última simulação variou-se a energia da bateria de forma a se obter um tempo de *payback* exato de 3 anos, obtendo a capacidade mínima da bateria para cada tecnologia.

Na Tabela 4, as quarta e quinta colunas indicam, respetivamente, qual a energia mínima necessária na bateria para cada tecnologia, de acordo com os perfis. Isso é útil, principalmente, para os veículos não mencionados aqui e também os VHEP, que no geral têm capacidades de bateria menores. Dessa forma, o condutor sabe, de acordo com seu perfil, qual a menor energia que a bateria do veículo deve possuir.

Perfil	Dist. Percorrida	Reservada	Energia mínima VE (kWh)	Energia mínima Híbrido (kWh)
A	10	10	7,13	6,88
B	10	20	8,38	6,88
C	10	30	9,63	6,88
D	20	10	8,38	9,13
E	20	20	9,63	9,13
F	20	30	10,88	9,13
G	30	10	9,63	11,38
H	30	20	10,88	11,38
I	30	30	12,13	11,38
J	40	10	10,88	13,63
K	40	20	12,13	13,63
L	40	30	13,38	13,63
M	50	10	12,13	15,88
N	50	20	13,38	15,88
O	50	30	14,63	15,88
P	45	32	14,25	14,75

Tabela 4. Capacidade mínima da bateria

#### 4.5. Resultados e análises dos resultados

Para o proprietário do veículo elétrico, a vantagem de utilizar o sistema de compensação de energia elétrica no horário de ponta seria a de otimizar o seu consumo de energia proveniente da rede.

Ao final de cada mês, além da economia na fatura de energia elétrica, o condutor teria também uma fonte de renda adicional.

Neste trabalho provou-se que a utilização da bateria de veículos elétricos para alimentar uma residência durante o horário de ponta é economicamente vantajosa. Para o cidadão médio português é obrigatória a utilização de veículos movidos 100% a energia elétrica para que haja economia perceptível na fatura de energia.

Quando se testou outros perfis de condução, os veículos 100% elétricos continuaram a ser uma opção financeiramente viável. Para os veículos híbridos é importante que o condutor não possua grandes necessidades de deslocamento diário. Para tal, o limite de distância percorrida é de 30 km para que o *payback* seja aceitável.

#### Referências

- [1] ANEEL. Resolução Normativa N° 479: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. [s. L.]: Aneel, 2012. 56 p. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf](http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf)>.
- [2] EDP. Horários Baixa Tensão Normal. 2014. Disponível em: <<http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosBTN.aspx>>. Acesso em: 22 dez. 2014.
- [3] INFAS. Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Berlin: Bundesministeriums Für Verkehr, Bau Und Stadtentwicklung, 2008. Disponível em: <[http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008\\_Abschlussbericht\\_I.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Abschlussbericht_I.pdf)>.
- [4] KEMPTON, Willett et al. Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California. California: California Air Resources Board And The California Environmental Protection Agency, 2001. 78 p. Disponível em: <[www.udel.edu/V2G/docs/V2G-Cal-2001.pdf](http://www.udel.edu/V2G/docs/V2G-Cal-2001.pdf)>.

- [5] MAGALHÃES, Daniel Filipe Pereira. Projeto De Um Sistema De Gestão De Baterias (BMS) Aplicadas Na Alimentação De Veículos Elétricos (EVs). 2012. 41 f. Dissertação (Mestrado em Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Automação) - Feup, Porto, 2012. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~ee05223/wp-content/uploads/2012/09/dissertação\\_1926\\_2012\\_provisória.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~ee05223/wp-content/uploads/2012/09/dissertação_1926_2012_provisória.pdf)>.
- [6] ROSOLEM, Maria de Fátima N. C. et al. Bateria de Lítio-Íon: Conceitos Básicos e Suas Potencialidades. Saber Eletrônica, São Paulo, v. 48, n. 464, p.56-66, set. 2012. Disponível em: <[http://www.sabereletronica.com.br/files/file/SE464\\_w eb.pdf](http://www.sabereletronica.com.br/files/file/SE464_w eb.pdf)>.
- [7] TELEFONICA. Connected Car Industry Report 2014. London, 2014. Disponível em: <[http://blog.digital.telefonica.com/wp-content/uploads/2014/07/Telefonica-Connected\\_Car\\_Report\\_2014-Final-en.pdf](http://blog.digital.telefonica.com/wp-content/uploads/2014/07/Telefonica-Connected_Car_Report_2014-Final-en.pdf)>.
- [8] WITTMANN, D; BERMANN, C; WITTMANN, T F. Análise Crítica da Integração em Larga Escala de Veículos Elétricos no Brasil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013, São Paulo. Proceedings... . São Paulo: International Workshop Advances In Cleaner Production, 2013. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/downloads/Artigo - Análise Crítica da Integração em Larga Escala de Veículos Elétricos no Brasil.pdf>>.

**Divulgação:**

**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



## IMPACTO DA INTRODUÇÃO DE BATERIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM *SMART GRIDS*

### Resumo

*De forma a não comprometer o conforto ou a qualidade de vida, nos dias de hoje, é obrigatório que a energia elétrica esteja presente. Sendo indispensável, torna-se necessário assegurar que a sua distribuição seja feita da forma mais eficiente possível.*

*Uma resposta rápida e eficaz a possíveis falhas que ocorram na rede, irá garantir a tal qualidade de serviço desejada. Para isso, a automatização dos processos é uma grande evolução e objetivo de concretização do setor elétrico.*

*Neste contexto surge o conceito de Smart Grid, que tem como principal objetivo a combinação entre o setor elétrico e a evolução da tecnologia. A par desta característica, estes tipos de redes vêm também trazer evoluções no âmbito ambiental, pois a produção de energia elétrica é feita, maioritariamente, por fontes de energia renovável.*

*Este projeto incide na análise das vantagens técnicas e económicas da inclusão de equipamentos que detêm capacidades de armazenamento de energia, as Baterias de Armazenamento de Energia (BAE), neste tipo de redes.*

*Neste estudo foi usado o método do Despacho Económico, que tem como principal objetivo a determinação dos níveis de produção de todas as unidades geradoras do sistema ao mais baixo custo de produção, satisfazendo a carga. Com recurso a este método, foram criados vários cenários de estudo com vista a validar o estudo apresentado neste artigo.*

*Neste artigo é também realizado um estudo de viabilidade económica destes equipamentos de armazenamento de energia.*

### I. Enquadramento geral

Tal como é de conhecimento geral, o desenvolvimento do setor energético tomou porções impensáveis, levando a uma enorme dependência do ser humano para com a energia elétrica. Desta forma, é de extrema importância garantir a qualidade de serviço no fornecimento de energia elétrica (menor número de falhas na alimentação possível), garantindo assim a satisfação e a comodidade dos clientes.

Para que a qualidade de serviço seja assegurada, é necessário que as redes para além de conseguirem responder corretamente à exigência da procura, se tornem mais eficientes e seguras.

A eficiência energética pode ser descrita como a relação entre a energia útil de um processo e a energia necessária para ativar esse mesmo processo. Para que esta relação seja cada vez melhor, isto é, para que haja pouco desperdício de energia, surgiram as *Smart Grids* (Figura 1), que integram a evolução da eletrónica e da Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) nos Sistemas Elétricos de Energia (SEE).

Apesar de já existirem certos mecanismos automatizados nas redes elétricas, grande parte das operações das entidades responsáveis são feitas de forma manual e não integrada. Assim, integrando estas recentes tecnologias, o “trabalho humano” reduziria substancialmente, fazendo com que as operações passassem a ser automatizadas, resultando numa utilização mais eficiente da energia [1].

A implementação deste tipo de redes, apesar de se refletir em ganhos claros, necessita de uma preparação prévia das infraestruturas, que por sua vez engloba custos para a sua realização [2]. Com isto, através de um programa europeu, o *Horizon 2020*, foram criados incentivos monetários para possibilitar a sua construção [3].

Para além do melhoramento da qualidade de serviço e da segurança que está adjacente à criação de *Smart Grids*, este tipo de redes tem ainda uma outra grande vantagem porque recorre a fontes de energia renováveis.

Para ser possível proceder ao armazenamento de energia foram criados alguns equipamentos tais como as Baterias de Armazenamento de Energia (BAE's). A sua recente incorporação em *Smart Grids*, veio ainda trazer mais benefícios, tanto a nível técnico como a nível económico [4].

Quanto à vertente económica, tal como sucede nas redes convencionais, os níveis de produção de cada unidade geradora e da própria BAE existente no sistema acarretam custos. Para isso, com a utilização de metodologias de cálculo, denominados por Despachos Económicos, tornou-se possível a minimização desses mesmos custos.

Utilizando essas metodologias, torna-se possível saber quais são os níveis de produção que cada unidade necessita de ter para satisfazer a procura, da forma mais eficiente do ponto de vista económico e técnico.

## II. Modelo do despacho económico aplicado a *Smart Grids*

O Despacho Económico para *Smart Grids* consiste em determinar a potência necessária proveniente das unidades geradoras, bem a potência de saída (ou de entrada) das BAE's e da rede principal em cada período de tempo, com vista à otimização (minimização) dos custos operacionais de geração de energia [5] [6].

A função objetivo da Formulação Matemática do Despacho Económico está representada pela equação (1):

$$\min C = \sum F_k(P_k) + F_{rede}(Prede) + F_{BAE}(P_{BAE}) \quad (1)$$

Relativamente às restrições:

$$\sum P_k + Prede + P_{BAE} - P_{trans} = P_{carga} \quad (2)$$

$$P_{kmin} \leq P_k \leq P_{kmax} \quad (3)$$

$$Prede_{min} \leq |Prede| \leq Prede_{max} \quad (4)$$

$$-P_{max\_car} \leq P_{BAE} \leq P_{max\_descar} \quad (5)$$

Como a *Smart Grid* se encontra interligada com a rede principal, esta inclui m unidades geradoras e uma BAE.

A equação (2) diz respeito à restrição do equilíbrio de carga e de produção. Na equação (3) está representada a restrição dos limites de produção das unidades geradoras existentes. A equação (4) é referente à restrição de transmissão de energia entre a rede principal e a *Smart Grid*. A restrição da potência da BAE é representada pela equação (5) [7].

Nota: ver Nomenclatura.

## III. Simulações e análises

De forma a se poder fazer uma análise prática deste conteúdo, serão apresentados diversos casos de estudo, entre os quais a *Smart Grid* interligada à rede principal e a *Smart Grid* interligada à BAE.

Para cada caso, foi desenvolvido um estudo relativo ao comportamento de cada unidade geradora face à aplicação do método do Despacho Económico (através da utilização de duas ferramentas computacionais – Excel e Matlab) e, no final, um estudo relativo à viabilidade económica da implementação de uma BAE num sistema.

### a) Rede de Estudo

Para a realização do problema, é então necessário definir a rede de estudo.

Foi selecionada uma rede de 6 barramentos, 4 unidades geradoras, 4 cargas e ainda uma ligação à rede principal.

A carga apresenta um comportamento dinâmico, isto é, sofre variações ao longo do tempo, mais precisamente ao longo do dia.

A figura 1 mostra a rede em estudo.

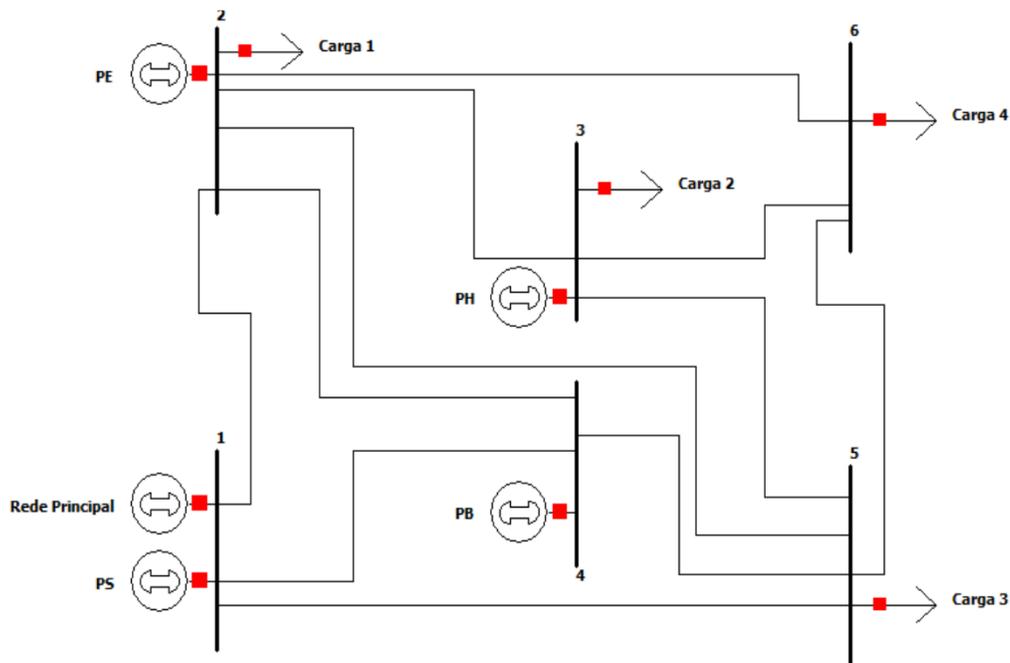


Figura 1. Rede de Estudo

Relativamente às unidades geradoras existentes, o sistema possui uma fonte de produção com base ao recurso Solar (PS), uma fonte de produção com base ao recurso Eólico (PE), uma fonte de produção com base ao recurso Hídrico (PH) e uma fonte de produção com base na cogeração a Biomassa (PB).

Cada unidade possui os respetivos limites, máximo e mínimos, de produção e custos de produção (Tabela 1) [8] [9].

Tabela 1. Características das Unidades da Rede

Unidades Geradoras			
Nome	Limite Mínimo (kW)	Limite Máximo (kW)	Custos de Produção (€)
PS	0	6	0,455
PE	0	12	0,65
PH	0	30	0,195
PB	0	30	0,195
Rede Principal	0	30	0,0231

A BAE, desenvolvida segundo [10], tem o respetivo perfil representado na Figura 2.

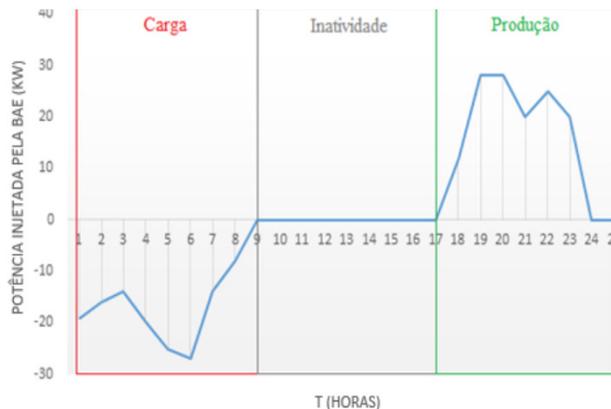


Figura 2. Perfil da BAE

Tal como se pode verificar, a BAE tem três estados possíveis: o período de carga, o período de inatividade e o período de produção.

O primeiro período – carga – refere-se ao período de tempo em que a BAE se encontra a carregar/armazenar energia.

O segundo período – inativo – refere-se ao período de tempo em que a BAE não se encontra nem a produzir nem a consumir.

Por fim, o terceiro período – produção – é para os instantes em que a BAE injeta energia na rede, ou seja, descarrega a energia anteriormente armazenada.

A nível económico, a produção de eletricidade a partir da BAE tem o custo apresentado na Tabela 2.

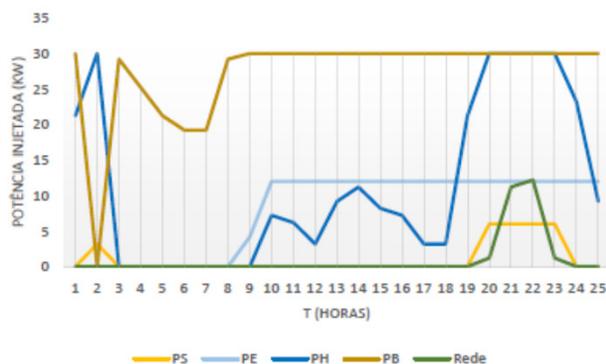
**Tabela 2. Custo de Produção da BAE**

Nome	Custos de Produção (€)
BAE	0,00407

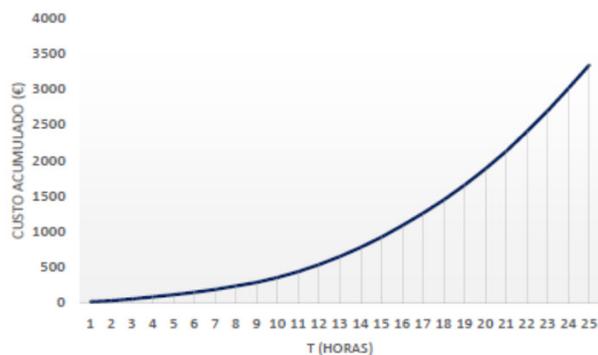
Com a definição de todos os componentes da rede já concluída, é agora possível proceder à resolução do problema do Despacho Económico, para os diferentes cenários.

As Figuras 3 e 4 representam, respetivamente, os valores de produção (em kW) de cada unidade geradora e os custos (em €) a si associados para o Cenário 1 – Smart Grid Ligada à Rede Principal.

Para este estudo, foi utilizada a ferramenta computacional *Excel*.



**Figura 3. Níveis de Produção das Unidades Geradoras da Smart Grid com ligação à Rede Principal**



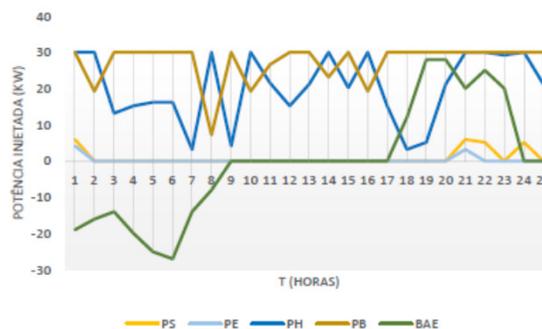
**Figura 4. Custos de Produção da Smart Grid com ligação à Rede Principal**

**Tabela 3. Resultados Obtidos no Cenário 1 - Excel**

Valores de Produção e Custos		
Nome	Produção (kW)	Custos (€)
PS	27,19	12,37
PE	196,19	127,53
PH	283,58	55,29
PB	683,19	133,22
Rede Principal	25,79	0,59

Para o Cenário 2 – *Smart Grid* Ligada à BAE, o processo foi maioritariamente igual ao anterior, destacando-se apenas a utilização de mais uma ferramenta, o *Matlab*, de forma a poder ser possível realizar um estudo comparativo entre ambas.

Os respetivos resultados estão apresentados nas Figuras 5 e 6 para a simulação em *Excel*...



**Figura 5. Níveis de Produção das Unidades Geradoras da Smart Grid com ligação à BAE – Simulação Excel**

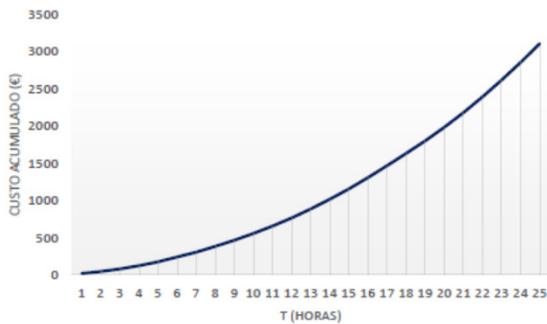


Figura 6. Custos de produção da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Excel*

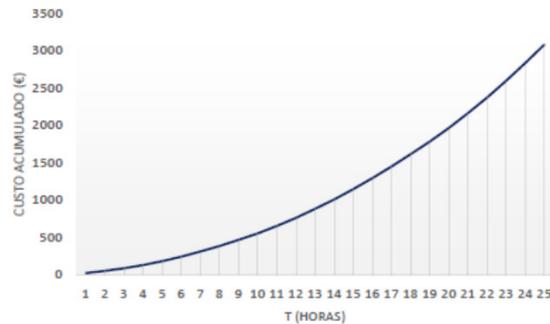


Figura 8. Custos de produção da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Matlab*

Tabela 4. Resultados Obtidos no Cenário 2 - *Excel*

Valores de Produção e Custos		
Nome	Produção (kW)	Custos (€)
PS	22,39	10,19
PE	7,39	4,81
PH	511,57	99,76
PB	684,59	133,49
BAE	Variável	-0,0407

Tabela 5. Resultados Obtidos no Cenário 2 - *Matlab*

Valores de Produção e Custos		
Nome	Produção (kW)	Custos (€)
PS	23,59	10,74
PE	7,39	4,81
PH	609,52	118,86
PB	576,79	112,47
BAE	Variável	-0,0407

... e nas Figuras 7 e 8 para a simulação em *Matlab*.

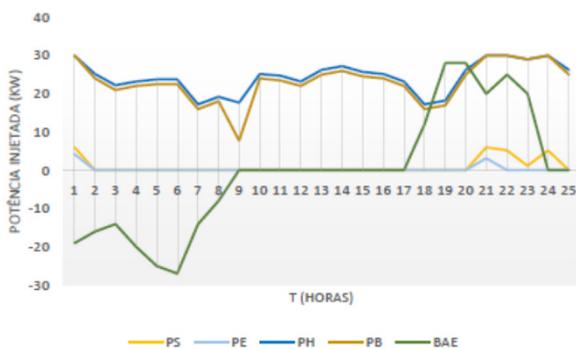


Figura 7. Níveis de produção das unidades geradoras da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Matlab*

**b) Comparação dos Valores Obtidos**

Pela análise das figuras 3 a 8, comprova-se que para o período inicial os níveis de produção do segundo cenário assumem valores maiores do que os observados no primeiro (isto devido à inclusão da BAE e esta estar na sua fase de carregamento). Por outro lado, quando a BAE entra na sua fase de descarregamento, dá-se uma diminuição brusca dos níveis de produção das unidades geradoras do sistema.

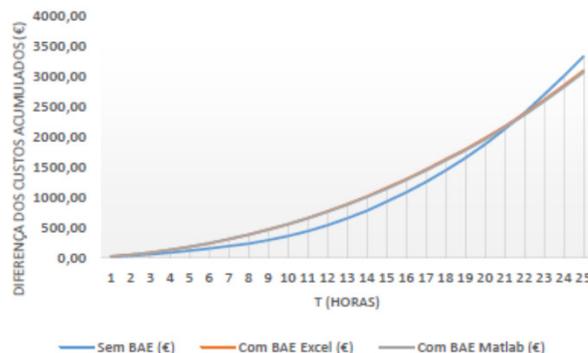


Figura 9. Custos de produção da *Smart Grid* com ligação à BAE – Simulação *Excel*

Numa análise comparativa, pode-se constatar que, tal como era de esperar, a inclusão de uma BAE resulta em custos de produção diários mais baixos (3099,84€/dia – Excel e 3071,99€/dia – Matlab) do que com a rede ligada à rede principal (3339,47€/dia). Em termos percentuais, houve um decréscimo de 7,18% para a simulação no Excel e um decréscimo de 8,01% para a simulação no Matlab.

Em termos dos valores das perdas de transmissão, a inclusão de uma BAE, para além da redução dos custos de produção, reduz ainda, de forma ligeira, as perdas da rede.

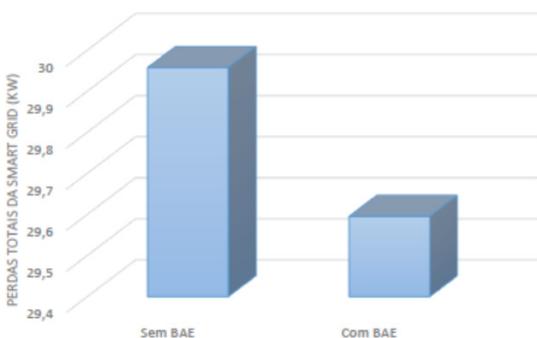


Figura 10. Comparação das Perdas de Transmissão

Analisando a nível numérico, a rede ligada à rede principal possui um valor de perdas de 29,56 kW, enquanto que com a BAE possui um valor de 29,53 kW (redução de 0,01%).

Outro estudo analisado, consiste na observação do comportamento das linhas ao longo de um dia.

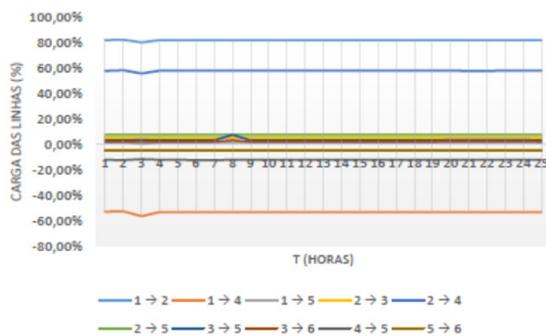


Figura 11. Comportamento das Linhas da Smart Grid com ligação à rede principal

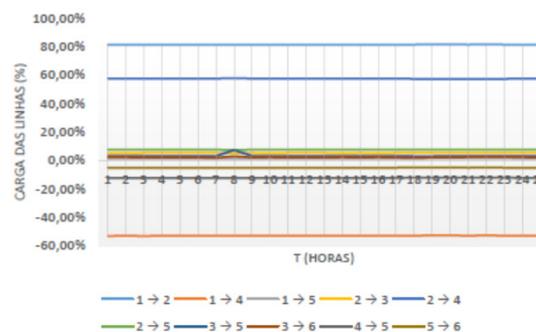


Figura 12. Comportamento das Linhas da Smart Grid com ligação à BAE

Como se pode comprovar, o número total de linhas que se encontra mais próxima da sobrecarga e que se encontra em operação normal de funcionamento, são iguais para os dois cenários, em que 3 delas se encontram acima dos valores médios estabelecidos e as restantes 7 se encontram dentro desses valores.

Relativamente às que se encontram em estado mais crítico, a linha 1-2 é a que apresenta um valor médio percentual mais elevado, de aproximadamente 81% de sobrecarga (tanto para um cenário como para o outro). A linha em melhores condições de funcionamento é a 3-6, com um valor médio de 2% de carga.

Em conclusão, pode-se confirmar que a condição do limite das linhas foi verificada em ambos os cenários, não sendo necessário uma reconfiguração dos componentes da rede.

### c) Viabilidade Económica

A viabilidade económica consiste numa análise baseada em projeções e número, que tem como finalidade conseguir saber o potencial de retorno de um projeto e saber, desta forma, se esse mesmo projeto deve ir adiante ou não [11].

Para este estudo foram utilizadas 3 baterias diferentes: uma bateria de chumbo ácido (A), um sistema de acumulador elétrico (B) e um sistema de ar comprimido (C).

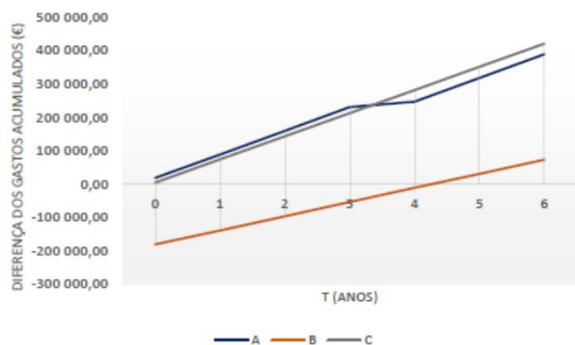


Figura 13. Viabilidade numa Visão de 6 anos

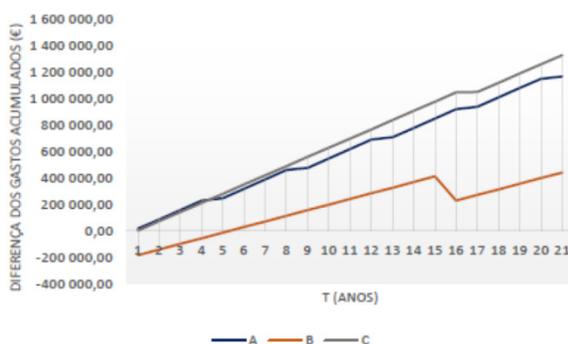


Figura 14. Viabilidade numa Visão de 20 anos

Tendo-se em consideração os respetivos custos dos equipamentos, de operação e manutenção e investimento de cada bateria, foi possível criar a função da diferença entre os gastos acumulados da *Smart Grid* ligada à BAE e da *Smart Grid* ligada à rede principal (para uma visão de 6 e 20 anos).

Como se pode verificar, pela análise da Figura 13 e 14, as baterias A e C são as que apresentam condições mais favoráveis de serem aplicadas. Contudo, a bateria C é a preferencial entre estas duas.

Em termos numéricos, tanto para a visão de 6 anos como para a visão de 20 anos, a bateria A e C apresentam viabilidade logo a partir do ano 0. Por outro lado, a bateria C só apresenta viabilidade a partir do ano 4.

#### IV. Conclusões

Neste relatório foram abordados aspetos teóricos sobre *Smart Grids* e Baterias de Armazenamento de Energia, com principal incidência nas vantagens técnicas e económicas da introdução deste equipamento neste tipo de redes. Tal estudo foi possível graças à utilização de técnicas de otimização, que foi executado na rede de estudo, sob a forma de diversos cenários, desde a conexão/desconexão da *Smart Grid* com uma rede elétrica principal e a inclusão/exclusão de uma Bateria de Armazenamento de Energia.

Através dos respetivos cálculos e simulações, tornou-se evidente que, com a integração destas baterias numa *Smart Grid*, os custos associados à produção de energia elétrica passam a ser mais baixos. A eficiência do sistema torna-se também a ser maior, pois através de uma comparação dos níveis das perdas de transmissão (apesar de não ter assumido grandes diferenças) sofreu uma redução.

Numa análise comparativa dos valores obtidos em cada software (*Excel* e *Matlab*), as diferenças numéricas não são relevantes, tendo-se verificado uma diferença de 27,85 €/dia, que se traduz em 10 165,25 €/ano de custos de produção, ou seja, um valor inferior a uma unidade percentual (0,90%) dos custos totais num ano.

#### Nomenclatura:

Pk Potência fornecida pela unidade geradora k

Prede Potência fornecida pela rede principal

PBAE Potência fornecida pela BAE

Fk Função do custo da unidade geradora k

Frede Função do custo da rede principal

FBAE Função do custo da BAE

Pcarga Cargas totais

Ptrans Perdas de transmissão

Prede\_min Limite inferior da potência da rede

Prede\_max Limite superior da potência da rede

Pmax\_car Potência máxima de carga da BAE

Pmax\_descar Potência máxima de descarga da BAE

**Referências**

- [1] Liu, X.P., Ding, M., Han, J., Peng, Y., “Dynamic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage”, 2nd IEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generating Systems, 2010.
- [2] Energia dos Sonhos, “Revista Controle e Instrumentação”, Edição nº 163, 2010.
- [3] Siemens, “Smart Grid – A Rede Elétrica Inteligente do Futuro”, 2015.
- [4] Horizon 2020, [www.ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/secure-clean-and-efficient-energy](http://www.ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/secure-clean-and-efficient-energy)
- [5] Quanta Technology, “Electric Energy Storage Systems”, 2014.
- [6] Ferreira, J., Vale, Z., Sousa, T., Canizes, B., Puga, J., “Transmission costs allocation based on optimal re-dispatch”, 2011.
- [7] Ferreira, J., Ramos, S., Vale, Z., Soares J., “Transmission expansion planning supported by data mining based methodology”, IEEE Intelligent Systems – AI in Power Systems, vol. 26, no 2, pág. 28-37, 2011.
- [8] Ding, M., Zhang, Y.Y., Mao, M.Q., Yang, W., Liu, X.P., “Operation optimization for microgrids under centralized control”, 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generating Systems, 2010.
- [9] <http://www.portal-energia.com/microgeracao-em-portugal/>
- [10] Liu, X.P., Ding, M., Han, J., Peng, Y., “Dynamic Economic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage”, 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generating Systems, 2010.
- [11] <http://windlift.wordpress.com/2008/03/01/kite-energy-storage-compressed-air-and-hydraulic-accumulators/>

**Curiosidade:**

## PREVISÃO DO DIAGRAMA DE CARGA DE SUBESTAÇÕES DA REN UTILIZANDO REDES NEURONAIS

### Resumo

A previsão de diagramas de carga é bastante utilizada por diversas empresas que lidam com o setor elétrico, o que torna este processo muito importante para a eficiência e qualidade. As Redes Neurais Artificiais (RNA) são uma técnica computacional com diversas áreas de aplicação, sendo uma delas a previsão de cargas.

Ao longo deste artigo está presente todo o processo realizado para alcançar as redes ideais de duas subestações da Rede Elétrica Nacional (REN), Prelada e Ermesinde, e posteriormente desenvolver um método de previsão eficaz para diagramas de carga e comprovar que a utilização de RNA são uma mais-valia no alcance de boas previsões.

### I. Introdução

Atualmente a energia elétrica desempenha um papel fundamental, tanto a nível económico do país, como a nível de conforto e satisfação individual.

Com o aumento dos produtores e a utilização de novas fontes primárias de energia os diagramas de carga têm sofrido modificações, devido ao carácter volátil de energias como o vento [1]. Deste modo, torna-se ainda mais importante o estudo de uma metodologia de previsão de diagramas de carga. Para tal, neste artigo utiliza-se as RNA, que são técnicas computacionais muito utilizadas em estudos de previsão, baseadas no funcionamento de uma rede neuronal biológica, e que têm como objetivo estimar valores de saída com base em vários dados de entrada.

### II. Redes neuronais artificiais

As RNA são constituídas por muitas unidades de processamento, designadas por neurónios artificiais, que estão ligadas a canais de comunicação que se encontram associados a um determinado peso.

Os neurónios artificiais consideram as várias entradas possíveis, realizam o processamento da informação multiplicando o sinal recebido na entrada pelo peso, que indica a sua influência na saída, realiza de seguida a soma ponderada dos sinais que produz um determinado nível de atividade e por fim se esse nível exceder um certo limite a unidade produz uma resposta [1][2][3].

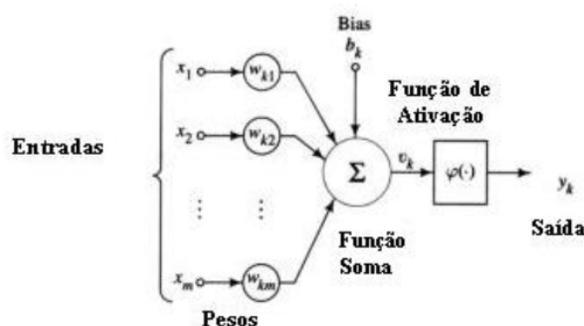


Figura 1. Modelo matemático utilizado pela RNA [3]

Um diagrama esquemático de uma RNA está presente na figura 2, geralmente a arquitetura destas redes é composta por uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas, e uma camada de saída. Regra geral, cada neurónio é ligado aos outros neurónios da camada anterior através de pesos adaptáveis [3][4].

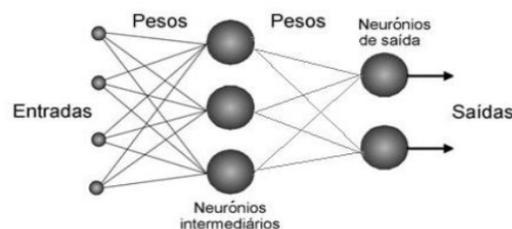


Figura 2. Esquema de uma RNA [2]

### III. Método desenvolvido para a aplicação

Para o desenvolvimento de uma rede neuronal utilizou-se a ferramenta *Neural Network Fitting Tool*, do *MATLAB*. Esta ferramenta resolve problemas de ajuste de input-output de uma rede neuronal *feedforward* de duas camadas, utilizando o algoritmo de *Levenberg-Marquardt backpropagation*.

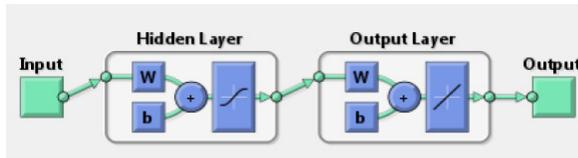


Figura 3. Esquema da arquitetura da RN

A arquitetura das redes treinadas é composta por dados de entrada (*Input*), uma camada oculta (*Hidden Layer*), com neurónios ocultos ativados pela função tangente hiperbólica, uma camada de saída (*Output Layer*), com neurónios de saída ativados pela função linear, e finalmente pelos dados de saída (*Output*).

#### Encontrar o melhor número de neurónios

A primeira fase do método desenvolvido para alcançar a melhor rede, para o processo de previsão, passou por efetuar 5 treinos para cada um dos quatro conjuntos diferentes de neurónios, 10, 20, 25 e 30, que foram estipulados com o intuito de alargar o campo de opções para chegar a melhores resultados.

Através da ferramenta utilizada, no *MATLAB*, e analisando os dados obtidos no fim do processo de aprendizagem para os diferentes números de neurónios, a melhor rede obtida foi para 30 neurónios alcançando um erro médio quadrático de 6,94868, no subconjunto do treino.

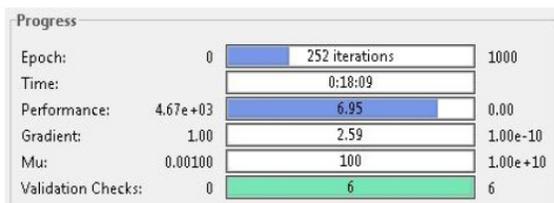


Figura 4. Progressos da melhor rede, com 30 neurónios

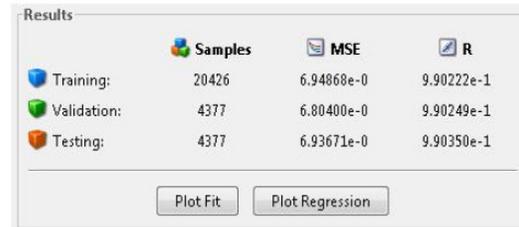


Figura 5. Resultados da melhor rede, com 30 neurónios

O treino terminou com um total de 252 iterações em 18min e 09s. Relativamente à melhor performance de validação, esta foi obtida na iteração 246, com um erro médio quadrático de 6,804.

#### Encontrar a melhor percentagem

Após obter o melhor número de neurónios a próxima fase passa por adquirir as melhores percentagens a utilizar em cada subconjunto (treino, validação e teste) da ferramenta.

Com a finalização de todos os treinos para os casos possíveis e a sua análise, verifica-se que a melhor opção de percentagens a utilizar é de 75% de Treino, 15% de Validação e 10% de Teste, tendo em consideração os resultados obtidos e o facto de subconjunto de Treino ser o mais relevante.

#### Impacto de diferentes conjuntos de dados na obtenção da rede ideal

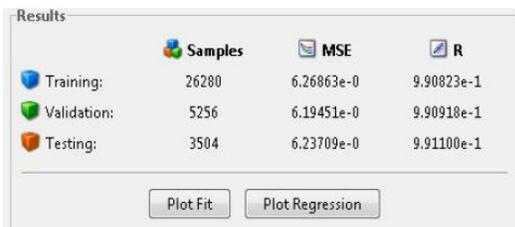
Com a definição da estrutura e parâmetros da rede é possível passar à realização de treinos para alcançar a rede com os resultados mais favoráveis. Nesta fase é importante analisar que tipo de dados causam um maior impacto na aprendizagem da rede e assim verificar a importância que têm no treino.

Ao longo dos vários treinos e sua análise, para os diferentes conjuntos de dados (Temperatura, Humidade, Vento, Luminosidade e Feriados) é possível comprovar que dados como Feriados são essenciais, neste tipo de estudo, para alcançar melhores resultados.

Têm um grande impacto na aprendizagem da rede, o que seria de esperar pois quando se trata de produção e/ou consumo de carga, neste tipo de dias, tem tendência a diminuir. No entanto, quando se utiliza todos os dados no mesmo treino é possível alcançar bons resultados, demonstrando que os dados em conjunto facilitam a aprendizagem e lhe permitem um maior conhecimento de comportamento passado.

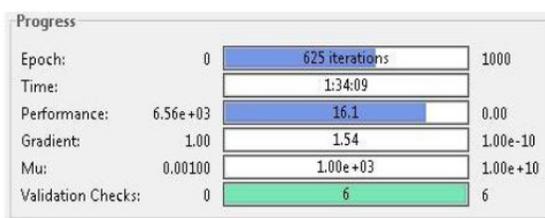


**Figura 6. Progressos da melhor rede, com todos os dados, da subestação da Prelada**

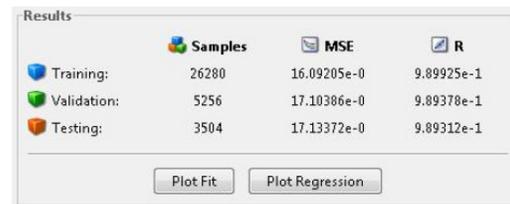


**Figura 7. Resultados da melhor rede, com todos os dados, da subestação da Prelada**

As figuras 6 e 7 demonstram os progressos e resultados obtidos na melhor rede encontrada, utilizando todos os dados disponibilizados pela REN, para a subestação da Prelada. A rede contém um erro de 6,26863 correspondente ao treino e um valor de regressão de 0,990823 para o mesmo subconjunto. A melhor performance obtida quanto à validação está presente na iteração 323 com um erro de 6,1945.



**Figura 8 - Progressos da melhor rede, com todos os dados, da subestação de Ermesinde**



**Figura 9. Resultados da melhor rede, com todos os dados, da subestação de Ermesinde**

As figuras 8 e 9 demonstram os progressos e resultados da melhor rede obtida para a subestação de Ermesinde. Esta rede atingiu um erro médio quadrático de 16,09205 no subconjunto de treino, alcançando a sua melhor performance de validação na iteração 619, com um erro de 17,1039.

#### IV. Previsão do diagrama de carga

A previsão dos diagramas de carga foi feita para dois dias e duas semanas, escolhidos aleatoriamente, do mês de Março de 2015, para as subestações da Prelada e de Ermesinde.

A realização da previsão consistiu em utilizar a melhor rede encontrada no processo de aprendizagem, através da ferramenta *Neural Network Fitting Tool*, para cada uma das subestações em análise, e o conjunto de Inputs, com todos os dados disponíveis correspondentes ao dia ou semana que se pretende efetuar a previsão, e utilizar a função criada para calcular saídas.

```

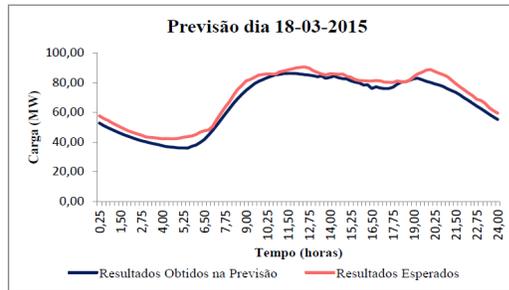
1 function saidas = calcular_saidas(net,inputs)
2
3     saidas = sim(net,inputs);

```

**Figura 10. Função calcular saídas (Outputs)**

#### Previsão de Diagrama de Carga do dia 18 de Março de 2015, da subestação da Prelada

Utilizando a função presente na figura 10 e a respetiva rede e Inputs, obteve-se o gráfico representado na figura 11.

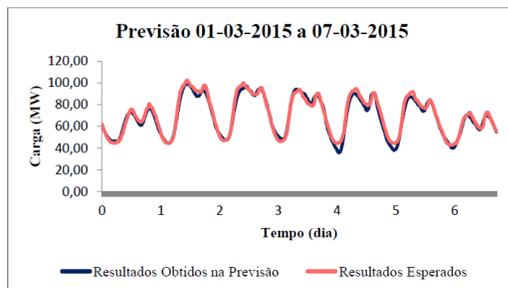


**Figura 11. Gráfico de Previsão de Diagrama de Carga do dia 18 de Março de 2015**

Através da análise da figura 11 verifica-se que os valores obtidos através da previsão são próximos dos valores reais, no entanto têm tendência a serem ligeiramente inferiores. Realizando a diferença entre os valores representados no gráfico de previsão obtém-se o erro existente entre eles que é, em média, 4,28, tendo uma variação entre 8,70 e 0,04.

#### Previsão de Diagrama de Carga da 1ª semana de Março de 2015, da subestação da Prelada

Novamente utilizando a função presente na figura 10 e a respetiva rede e *Inputs*, obteve-se o seguinte gráfico.

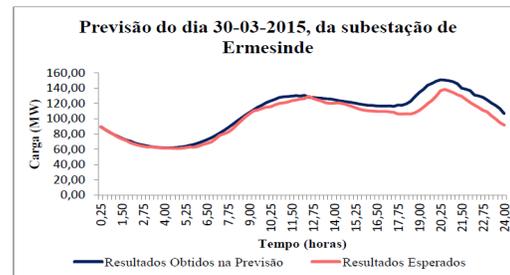


**Figura 12. Gráfico de Previsão de Diagrama de Carga da 1ª semana de Março de 2015**

Analisando o gráfico é possível afirmar que a utilização de redes neuronais pode ser uma ajuda na previsão de diagramas de carga uma vez que os resultados obtidos são muito próximos dos resultados reais, no entanto deve ser tido em atenção o erro presente no processo de aprendizagem, que nunca chega a ser nulo e neste caso tem um valor de 2,49 (erro médio). A variação de erro ocorre entre os valores 9,88 e 0,01.

#### Previsão de Diagrama de Carga do dia 30 de Março de 2015, da subestação de Ermesinde

Mais uma vez utilizando a função presente na figura 10 e a respetiva rede e *Inputs*, obteve-se o gráfico de previsão do dia 30 de Março, neste caso para a subestação de Ermesinde.

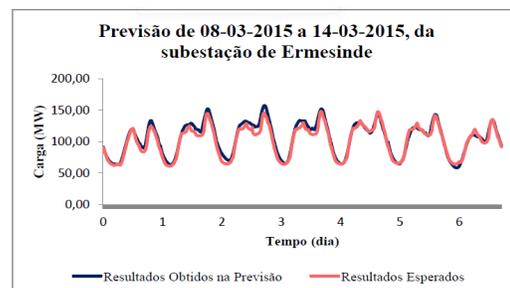


**Figura 13. Gráfico de Previsão de Diagrama de Carga do dia 30 de Março de 2015**

Pode-se verificar que os valores obtidos na previsão têm tendência a serem superiores aos valores esperados, contrariamente ao que acontecia na subestação da Prelada. Pode-se verificar ainda um aumento do erro entre os dois conjuntos de dados à medida que o tempo aumenta, principalmente a partir das 17h, aproximadamente. O erro médio atingido, neste dia, foi de 7,17, existindo uma variação entre um erro máximo de 24 e um mínimo de 0,01.

#### Previsão de Diagrama de Carga da 2ª semana de Março de 2015, da subestação de Ermesinde

Através da função presente na figura 10 e a respetiva rede e *Inputs*, obteve-se o seguinte gráfico.



**Figura 14. Gráfico de Previsão de Diagrama de Carga da 2ª semana de Março de 2015**

Pode-se verificar que, mais uma vez, os valores alcançados na previsão tendem a ser ligeiramente superiores aos dados reais, no entanto seguem a linha dos resultados esperados. A variação do erro, nesta situação, ocorreu entre 19,75 e 0,005 o que calculou um erro médio de 5,01.

## V. Conclusões

Analisando o comportamento dos dados obtidos nas previsões em comparação com os dados reais é possível concluir que as redes neuronais permitem obter previsões credíveis e satisfatórias. Conseguem seguir sempre a tendência do comportamento dos valores reais. No caso das previsões realizadas para a subestação da Prelada os valores obtidos têm tendência a serem inferiores aos valores reais, enquanto na subestação de Ermesinde acontece o oposto.

Quanto ao valor médio dos erros obtidos, no processo de previsão, são um pouco elevados, este valor devia ser mais próximo de zero e para que tal seria necessário aumentar o número de treinos realizados e utilizar dados meteorológicos próprios de cada localização, diminuindo as variações.

Pode-se concluir que as RNA são realmente um bom método para conseguir boas previsões. Na previsão de diagramas de carga pode ser uma mais-valia, pois é possível ter uma noção

de qual ser o comportamento que a carga terá num determinado espaço de tempo e uma aproximação da quantidade de carga que será utilizada.

Para concluir este artigo, um especial agradecimento à REN e seus engenheiros, pelo apoio e disponibilização de dados que tornou possível a elaboração deste estudo.

## VI. Referências

- [1] RODRIGUES, Ricardo. “Previsão dos consumos na RNT considerando a produção distribuída – Desenvolvimento de um procedimento de apoio à decisão do Gestor do sistema”. FEUP, 2014.
- [2] BARROS, Tiago. “Previsão de carga – Comparação de técnicas”. FEUP, 2014.
- [3] HAYKIN, Simon. “Neural Networks – A comprehensive Foundation”. 2ª Edição. Pearson Education, Canadá, 1999.
- [4] KALOGIROU, Soteris A.; BOJIC, Milorad. “Artificial neural networks for the prediction of the energy consumption of a passive solar building”. Department of Mechanical and Marine Engineering, Higher Technical Institute, Cyprus, e University of Kragujevac, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy and Process Engineering, Yugoslavia. Elsevier Science Ltd., 2000.

## Notas soltas:

Fator	Prefixo	Símbolo
$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	K
$10^2$	hecto	h
$10^1$	deca	da

Fator	Prefixo	Símbolo
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y

### 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)



## INTERRUPTORES (MECÂNICOS) PARA INSTALAÇÕES ELÉTRICAS FIXAS, DOMÉSTICAS E ANÁLOGAS

### 1. Aspetos gerais

Um interruptor (mecânico) é definido como um aparelho mecânico de conexão capaz de estabelecer, de suportar e de interromper correntes nas condições normais do circuito, incluindo, eventualmente, as condições especificadas de sobrecarga em serviço.

É um aparelho que é ainda capaz de suportar, num tempo especificado, correntes nas condições anormais especificadas para o circuito, tais como as resultantes de um curto-circuito.

Pode ser capaz de estabelecer correntes de curto-circuito mas não de as interromper.

Os interruptores de baixa tensão são divididos nos seguintes tipos principais:

- Interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas;
- Interruptores de uso industrial.

Os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas observam o disposto na norma NPEN60669.

A Norma EN 60669 aplica-se a interruptores de comando manual de uso comum para corrente alternada, de tensão estipulada igual ou inferior a 440 V e de corrente estipulada igual ou inferior a 63 A, destinados a instalações elétricas fixas, domésticas e análogas, interiores ou exteriores.

### 2. Classificação quanto às ligações possíveis

Quanto às ligações possíveis, os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas são classificados nos tipos indicados na Tabela 1.

### 3. Classificação quanto à distância de abertura dos contactos

Quanto à distância de abertura dos contactos, os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas podem ser classificados nos seguintes tipos:

- Interruptores de distância normal de abertura dos contactos;
- Interruptores de pequena distância de abertura dos contactos;
- Interruptores de muito pequena distância de abertura dos contactos;
- Interruptores sem distância de abertura dos contactos.

Designação	Número de função
Interruptores unipolares	1
Interruptores bipolares	2
Interruptores tripolares	3
Interruptores tripolares com corte de neutro	03
Comutadores de escada	6
Comutadores de lustre	5
Comutadores de escada com posição de desligar	4
Comutadores de escada bipolares	6/2
Inversores de grupo	7

Poderão montar-se vários interruptores, com funções idênticas ou diferentes, numa base comum.

O número de função em que existe uma posição de desligar é também aplicável a botões de pressão e a interruptores de contato momentâneo.

Tabela 1. Classificação quanto às ligações possíveis dos interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas

#### 4. Classificação quanto ao grau de proteção contra os efeitos prejudiciais devidos à penetração de água

Quanto ao grau de proteção contra os efeitos prejudiciais devidos à penetração de água, os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas são classificados nos seguintes tipos:

- IPX0;  
Interruptores sem proteção contra a penetração de água;
- IPX4;  
Interruptores protegidos contra a projeção de água;
- IPX5.  
Interruptores protegidos contra jatos de água.

#### 5. Classificação quanto ao grau de proteção contra o acesso a partes perigosas e contra os efeitos prejudiciais devido à penetração de corpos sólidos estranhos

Quanto ao grau de proteção contra o acesso a partes perigosas e contra os efeitos prejudiciais devidos à penetração de corpos sólidos estranhos os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas são classificados nos seguintes tipos:

- IP2X;  
Interruptores protegidos contra o acesso às partes perigosas com um dedo e contra os efeitos prejudiciais devidos à penetração de corpos sólidos estranhos de diâmetro igual ou superior a 12,5 mm;
- IP4X;  
Interruptores protegidos contra o acesso às partes perigosas com um fio e contra os efeitos prejudiciais devidos à penetração de corpos sólidos estranhos de diâmetro igual ou superior a 1,0 mm;
- IP5X.  
Interruptores protegidos contra o acesso às partes perigosas com um fio e protegidos contra a penetração de poeira.

#### 6. Classificação quanto ao processo de manobrar o interruptor

Quanto ao processo de manobra os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas são classificados nos seguintes tipos:

- Interruptores rotativos;
- Interruptores de alavanca;
- Interruptores de tecla basculante;
- Interruptores de botão de pressão;  
Interruptor de comando em que o órgão de manobra é acionado através de uma força exercida por uma parte do corpo humano, geralmente o dedo ou a palma da mão, tendo capacidade para armazenar a energia necessária para regressar ao seu estado inicial, utilizando por exemplo uma mola.
- Interruptores de cordão.  
Interruptor manobrado por meio de um cordão que altera o estado dos contactos, quando tracionado.

#### 7. Classificação quanto ao tipo de montagem

Quanto ao tipo de montagem os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas são classificados nos seguintes tipos:

- Interruptores para montagem saliente;  
Interruptor que depois de ser instalado se encontra completamente acima da superfície de instalação.
- Interruptores para montagem embecida;  
Interruptor que se destina principalmente a ser instalado numa caixa de aparelhagem para instalação embecida.
- Interruptores para montagem semi-embecida;  
Interruptor que se destina principalmente a ser instalado numa caixa de aparelhagem para instalação semiembecida.
- Interruptores para montagem em painel;  
Interruptor que se destina principalmente a ser instalado num painel que possui uma abertura através da qual o interruptor fica acessível.
- Interruptores para montagem em ombreira de porta.
- Interruptor com um espelho de dimensões que permitem a sua instalação numa ombreira de porta.

**8. Classificação quanto ao método de instalação**

Quanto ao método de instalação, como consequência da conceção os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas são classificados nos seguintes tipos:

- Interruptores cuja tampa ou espelho pode ser retirado sem deslocamento dos condutores (conceção A);
- Interruptores cuja tampa ou espelho não pode ser retirado sem deslocamento dos condutores (conceção B).

**9. Classificação quanto ao tipo de ligadores**

Quanto ao tipo de ligadores os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas são classificados nos seguintes tipos:

- com ligadores roscados, que são ligadores em que o aperto das almas de um ou vários condutores exteriores rígidos ou flexíveis é feito por meio de elementos roscados;
- com ligadores não roscados exclusivamente para condutores rígidos;
- com ligadores não roscados para condutores rígidos e flexíveis.

**10. Características estipuladas**

**- Tensão estipulada**

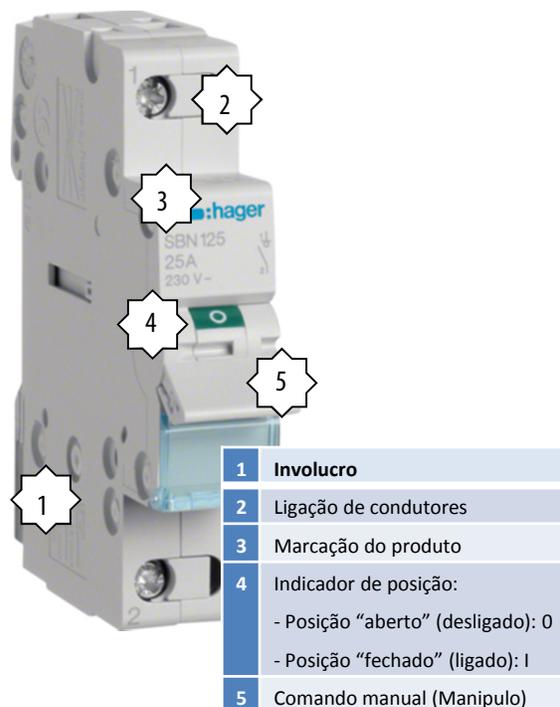
Os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas devem ter, de preferência, as tensões estipuladas de 250 V e 400 V.

**- Corrente estipulada**

Os interruptores para instalações elétricas fixas, domésticas e análogas devem ter, de preferência, valores de corrente estipulada de 6 A, 10 A, 16 A, 20 A, 25 A, 32 A, 40 A, 45 A, 50 A e 63 A.

**11. Principais elementos constituintes**

A Figura 1 mostra os principais elementos constituintes de um interruptor para instalações elétricas fixas, domésticas ou análogas, de alavanca, para montagem em painel (calha simétrica).



**Figura 1. Principais elementos constituintes de um interruptor para instalações elétricas fixas, domésticas ou análogas de alavanca, de montagem em painel**

A Figura 2 mostra os principais elementos constituintes de um interruptor para instalações elétricas fixas, domésticas ou análogas, de tecla basculante, de montagem embebida.



**Figura 2. Principais elementos constituintes de um interruptor para instalações elétricas fixas, domésticas ou análogas de tecla basculante, de montagem embebida**

## RESPEITO PELA NATUREZA



## ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS COM MINIPRODUÇÃO



### Resumo

*A qualidade da energia como pilar do sistema elétrico nacional é um fator de elevada exigência quanto à sua gestão. Com a implementação da microgeração numa 1.ª fase (DL 363/2007) e a miniprodução numa 2.ª fase (DL 34/2011), a gestão da qualidade de energia na rede elétrica tornou-se ainda mais complexa, dificultando a ação dos players do SEN, desde a produção à entrega no cliente final.*

### 1. Enquadramento

Com a necessidade de cumprimento das metas de Quioto, Portugal tornou-se um exemplo na concretização das mesmas, sendo vanguardista quer na criação de parques eólicos quer na conceção de empresas capazes de se posicionarem nos lugares cimeiros na disputa da sustentabilidade a nível global (como é o caso da EDP Renováveis). Na cauda da produção eólica, seguiu-se a produção de energia através do sol, tendo sido criados mecanismos de promoção e bonificação para implementação de produção de energia através de fontes renováveis junto dos locais de consumo, inicialmente em habitações com pequenos sistemas até 3,68 kVA, promovidos pela Lei da microprodução (DL 363/2007) e mais

tarde alargados ao setor Terciário através da Lei da miniprodução (DL 34/2011) com sistemas de maior dimensão e complexidade até 250 kVA. Atualmente já existe a Lei do autoconsumo (DL 153/2014) que promove a instalação de sistemas até 1 MVA. Apesar dos Decretos permitirem a utilização das várias fontes renováveis, a tecnologia fotovoltaica destacou-se na escolha dos produtores pela sua simplicidade e custo, quer na instalação e na exploração, quer na previsão de produção ao longo do contrato de compra e venda de energia, permitindo o cálculo e dimensionamento das centrais de forma técnico-financeiramente fiável.

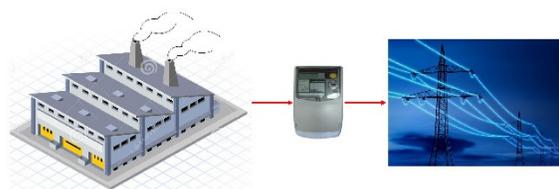
No entanto, a elevada expansão destes sistemas na rede elétrica fez com que surgissem várias anomalias técnicas quer para o distribuidor, quer para o produtor, sendo que na sua maioria, o produtor é a entidade mais afetada pela imposição normativa e regulamentar existente desde a produção de equipamentos à instalação e exploração, que protegem em primeiro lugar a rede elétrica e a segurança da mesma em detrimento da continuidade de serviço das instalações de miniprodução, o que afeta diretamente a rentabilidade destas instalações mas que, não existe ainda

contornar sem que algumas exceções sejam abertas nomeadamente no Regulamento de Qualidade de Serviço e na EN 50160. Por outro lado, o panorama das instalações elétricas particulares em Portugal, na sua maioria, são de dois tipos, envelhecidas, que foram crescendo sem planeamento e sem regra e que por isso possuem canalizações desgastadas, com fugas de isolamento, máquinas com pouca eficiência, sem manutenção e com um risco de avaria elevados, ou então, são instalações elétricas recentes com eletrónica de potência, abundantes em cargas não lineares. Num caso ou no outro, a qualidade da energia nestas instalações é por si só um fator preocupante para elas mesmas, quando instalamos centrais fotovoltaicas de miniprodução neste tipo de instalações elétricas, a qualidade de energia afeta o rendimento das centrais fotovoltaicas de forma preocupante. Até à data, as paragens de serviço das centrais de produção em regime de miniprodução, eram associadas à qualidade dos equipamentos instalados, má configuração do sistema e em muitos casos sem razão aparente. O presente artigo pretende elucidar para o facto de que a má qualidade das instalações elétricas e consequente má qualidade da energia que nelas transita, afeta diretamente e com grande impacto a rentabilidade das centrais de miniprodução associadas ao mesmo ponto de interligação.

## 2. Anomalias Frequentes

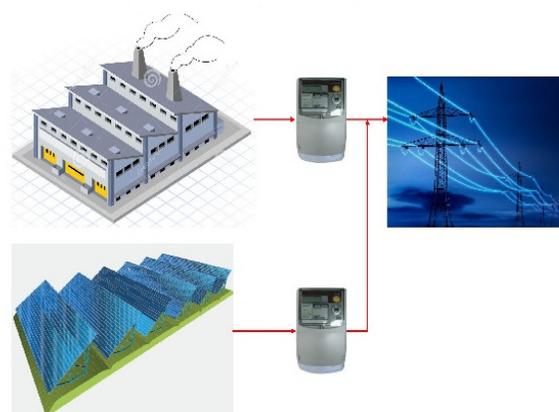
A rentabilidade de uma central fotovoltaica de minigeração, está diretamente relacionada com o número de horas de funcionamento. As horas de funcionamento têm como base vários fatores, entre os quais, a radiação solar que depende da zona geográfica, sombreamentos e manutenção, etc. Estes fatores incidem sobre o gerador fotovoltaico (lado DC da central a montante do inversor), no entanto existem fatores do lado AC (a jusante do inversor) que também afetam as horas de funcionamento da central fotovoltaica sendo esse o nosso objeto de estudo. Toda a rede elétrica a jusante do inversor (lado AC) respeita as Normas de Segurança e Qualidade de Energia impostas pela Norma EN 50160 que apesar de exigente, possui algumas lacunas onde cabalmente aparecem as anomalias que provocam a

descontinuidade de serviço das centrais fotovoltaicas de Minigeração. Numa instalação elétrica particular (figura 1), a má qualidade de energia intrínseca não se fazia notar de forma evidente, visto que é no ponto de interligação com a Rede pública que se fazem notar os seus efeitos, e como a rede pública possui uma potência muito superior à instalação de utilização particular, as anomalias não tendo dimensão suficiente, são absorvidas pela rede pública de forma discreta.



**Figura 1. Instalação de utilização particular ligada à rede pública de eletricidade**

Se ao ponto de interligação adicionamos uma central de produção fotovoltaica (figura 2) em que a sua potência é inferior à potência da instalação de utilização particular, as anomalias tendem para a central de produção, afetando as suas proteções, medições e rendimentos, resultando em grandes perdas de produção e envelhecimento precoce dos equipamentos e canalizações, colocando em causa a sua esperança de vida e o retorno do investimento.



**Figura 2. Instalação de utilização particular com miniprodução ligada à rede pública de eletricidade**

### 2.1. Sub e Sobretensões

Tem sido verificado já desde a microgeração um efeito elevatório na amplitude da tensão sempre que existe uma central fotovoltaica instalada num mesmo ponto de interligação de uma instalação de utilização particular com a RESP. Este efeito verifica-se essencialmente em instalações elétricas de baixa potência com central de produção, ligadas em fim de linha a redes elétricas do tipo radial. As sobretensões em situações deste tipo, verificam-se sempre que a carga na rede é baixa, quando por sua vez a produção da central é alta. Neste caso a amplitude da corrente elétrica que percorre a rede radial no sentido “rede – ponto de consumo” é de tal forma pequena que a queda de tensão entre a subestação e o ponto de interligação com a miniprodução é também ela pequena.

Posto isto, com uma diferença de potencial quase nula entre a central de produção e a subestação e a impedância da rede sendo ela também elevada, o nível de tensão no ponto de interligação tende a subir chegando a valores extrarregulamentares, provocando a saída de serviço do inversor fotovoltaico por máximo de tensão. O mesmo acontece se o cenário for o inverso, se o consumo na rede for de tal forma elevado e a produção de tal forma baixa que a queda de tensão entre a subestação e o ponto de interligação da produção for de tal forma elevada que o nível da tensão atinge valores inferiores ao limite mínimo regulamentar provocando a saída de serviço do inversor fotovoltaico por mínimo de tensão.

Posto isto, as paragens de serviço provocadas por sub ou sobretensões nas centrais fotovoltaicas de miniprodução, e porque na sua maioria acontecem nos períodos de maior rendimento fotovoltaico, são anomalias sem impacto técnico, visto que não provocam qualquer efeito nefasto nos equipamentos e canalizações, mas com grande impacto económico na rentabilidade financeira da central pela redução das horas de produção.

### 2.2. Cavas de Tensão

As cavas de tensão (figura 3) são de igual forma anomalias

verificadas na amplitude da tensão, no entanto ocorrem de forma brusca com descida da tensão para valores inferiores a 10% e períodos inferiores a 1s.

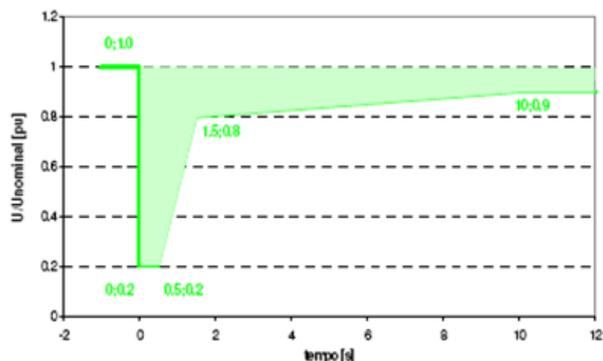


Figura 3. Cava de tensão

Estas ocorrências, frequentes em toda a rede elétrica, desde a baixa à alta tensão, têm mais influência em centrais fotovoltaicas de Minigeração interligadas à RESP em Média tensão. Se por um lado as cavas de tensão ocorrem também em baixa tensão, mas de forma tão rápida que os inversores fotovoltaicos não são capazes de ler a quebra de tensão, por outro, em centrais ligadas em Média tensão, que são protegidas no ponto de interligação pelo relé de proteção configurado pelo distribuidor para atuação igual a 1s, as cavas de tensão, provocam a saída de serviço da central fotovoltaica por disparo do relé de proteção da interligação (figura 4). Este tipo de anomalias provoca saídas de serviço da central de miniprodução que na prática traduzem-se mais uma vez em custos por falta de produção, agravados neste caso pela necessidade de deslocação de equipas técnicas habilitadas para a manobra de quadros de média tensão.

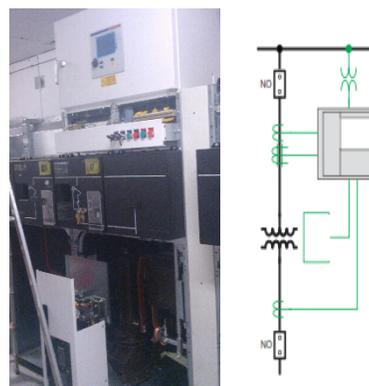


Figura 4. Relé de proteção da interligação

### 2.3. Harmónicos

Cada vez mais, as instalações elétricas particulares, principalmente em edifícios de serviços e industriais, possuem cargas não lineares. Os edifícios de serviços possuem cargas predominantemente do tipo, computadores, impressoras, iluminação com balastros eletrônicos, servidores informáticos, etc, também os edifícios industriais possuem cada vez mais máquinas com controladores eletrônicos do tipo variadores de velocidade, quadros de comando com fontes comutadas, sistemas de climatização com variador de velocidade, são também cada vez mais informatizados e por consequência necessitam também estes de grandes servidores informáticos. Todas estas cargas, são a receita ideal para que a corrente elétrica consumida por estas cargas nas instalações particulares possua uma distorção relativamente à tensão que a RESP disponibiliza à entrada da instalação. A este efeito chama-se distorção harmónica. A distorção harmónica provocada na rede interna das instalações elétricas particulares, provocada pelas cargas dessas mesmas instalações promove a circulação de correntes harmónicas no sentido da fonte de energia que é a RESP, no entanto, quando aplicamos uma central de miniprodução no ponto de interligação dessas instalações com a RESP, as correntes harmónicas tendem para a fonte de produção com menor impedância, sendo esta a miniprodução. Quando uma instalação elétrica possui uma distorção harmónica elevada, as correntes harmónicas que tendem para a miniprodução podem atingir valores de tal forma elevados que as anomalias verificadas, são bastante preocupantes e colocam em risco o funcionamento e a segurança da central de miniprodução. São muitas vezes verificadas as seguintes anomalias:

#### - Disparo intempestivo das proteções

A presença de correntes harmónicas na canalização elétrica de uma miniprodução inserida numa instalação elétrica com distorção harmónica, possui um efeito destrutivo nas proteções e nas respetivas canalizações, essencialmente se estivermos na presença de harmónicos de 3.<sup>a</sup> e 5.<sup>a</sup> ordem, visto que o valor eficaz da corrente (RMS) que percorre a canalização e respetiva proteção cresce exponencialmente

provocando aquecimento e consequente fadiga térmica tanto na canalização como na proteção, originando disparos intempestivos das proteções e a médio prazo a rotura da capacidade de isolamento das canalizações e da própria alma condutora.

#### - Subdimensionamento do condutor de neutro

A presença de correntes harmónicas múltiplas de 3 aparecem somadas no condutor de neutro, chegando muitas vezes a valores superiores ao condutor de fase. Tendo normalmente o condutor de neutro metade da secção do condutor de fase, visto que a miniprodução na sua maioria é de configuração trifásica e de produção equilibrada nas três fases, na presença de correntes harmónicas no condutor de neutro, este estará sub dimensionado face à corrente que o atravessa, originando a curto prazo fadiga térmica e decréscimo da resistência de isolamento.

#### - Interferência nas medições

A corrente harmónica presente nas canalizações elétricas da miniprodução, pode afetar a capacidade de leitura dos equipamentos de medição, visto que a medição se baseia na leitura da tensão e na leitura da corrente. Portanto, se existir uma distorção entre a corrente e a tensão, o cálculo será distorcido, causando deficiência no funcionamento dos equipamentos. Esta anomalia provoca dificuldade na entrada em funcionamento dos inversores, e desgaste acentuado na eletrónica de potência dos mesmos devido ao trabalho excessivo de comutação. Os equipamentos de contagem de energia exportada para a RESP podem também eles ser afetados e influenciar a contagem.

#### - Ressonância

Numa grande parte das instalações elétricas particulares, a compensação de energia reativa ou não existe ou, mais grave ainda, é deficiente, sendo por isso verificado uma linha média do fator de potência abaixo do valor desejado (entre 0,97 a 1), este fator associado à presença de harmónicos na instalação elétrica provoca ressonância LC tendo como efeito a amplificação da corrente harmónica que por sua vez tende para a miniprodução provocando as anomalias já referidas.

A compensação do fator de potência deficiente provoca ainda em algumas situações sobre elevação da tensão para valores extrarregulamentares.

Todas estas anomalias, possuem um efeito nefasto na central de miniprodução, provocando saídas de serviço, dificuldade na entrada em serviço, desgaste e destruição das canalizações e proteções e adulteração das medições de energia exportada para a RESP, causando graves perdas financeiras e afetando gravemente a rentabilidade da miniprodução.

### 3. Casos de estudo

Existem alguns casos de estudo como suporte a este artigo, alguns dos quais iremos apresentar para que seja perceptível o impacto real destas anomalias na rentabilidade das centrais fotovoltaicas de miniprodução e a influência da qualidade de energia no ponto de interligação com a RESP.

#### 3.1. Instalação industrial com miniprodução

A figura 5 mostra a instalação com miniprodução.



Figura 5. Central de miniprodução

Neste caso prático pretende-se demonstrar o impacto das cavas de tensão com origem na RESP. Como o nível de contagem do consumo é em Média tensão (figura 6), o ponto de interligação da miniprodução com a RESP é em Média tensão, o que por si só, elimina possibilidade de interferência da instalação de consumo na miniprodução, no entanto e devido à necessidade de instalação do relé de proteção da interligação e à sua regulação muito exigente

pelo distribuidor, esta instalação apresenta saídas de serviço sempre que ocorre uma cava de tensão na rede elétrica de média tensão.



Figura 6. Posto de transformação de miniprodução

Caraterização da Instalação			
Tipo de Ligação:	Ligação em Média Tensão através de Posto de Transformação de 1200kVA		
Nível da Contagem:	A Contagem de Energia Consumida é em Média Tensão		
Tipo de Instalação	Tipo de cargas	Estado de Conservação da Instalação Elétrica	Compensação da Energia Reativa
Indústria Metalomecânica	Máquinas de Corte de Chapa	Em excelente estado.	O quadro de compensação de Energia Reativa é atual e bem dimensionado
	Desenroladores Industriais		
	Pontes Rolantes	Sujeita a manutenção preventiva.	
	Iluminação Fluorescente com balastro eletrónico	Bem dimensionada	
	Variadores de Velocidade		

Quadro 1: Quadro de caraterísticas da instalação elétrica particular de consumo

Caraterização da miniprodução	
Tipo de Ligação:	Ligação em Média Tensão através de Posto de Transformação de 250kVA
Nível da Contagem:	A Contagem de Energia Exportada é em Média Tensão
Potência Instalada:	315 kVA - Fotovoltaico
Potência de Ligação:	250 kVA (Transformador Seco) (248 kVA em Inversores)
Quantidade de Inversores	17 Inversores de Rede (16 un de 15 kVA e 1 un de 8 kVA)

Quadro 2: Quadro de caraterísticas da instalação elétrica de miniprodução

## 4. Análise Técnico-económica

The screenshot shows the 'Fault Recorder' application window. On the left, a table lists events with columns for No., Ev. No., Event name, Date, and Time. Event 1059 is highlighted. On the right, the 'General' tab shows details for event 1059, including Description, Event number, Event name, Date, Time, Pickup source, Fault phase, Protection step, and Protection set. Below this, there are sections for Voltages, Currents, and Additional data.

No.	Ev. No.	Event name	Date	Time
15	9998	Manual trigger	11.03.2014	16:07:01.053
16	9998	Manual trigger	11.03.2014	16:06:58.893
17	1059	ANSI27-1 trip	28.02.2014	06:10:46.454
18	1059	ANSI27-1 trip	10.02.2014	12:25:45.767
19	1059	ANSI27-1 trip	09.02.2014	23:27:00.565
20	1059	ANSI27-1 trip	07.02.2014	00:36:43.510
21	1059	ANSI27-1 trip	27.01.2014	07:20:38.785
22	1059	ANSI27-1 trip	22.01.2014	15:13:02.137
23	1258	ANSI81-1 trip	10.01.2014	15:56:59.419
24	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	16:51:39.011
25	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	16:51:37.325
26	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	16:22:50.674
27	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	16:22:36.188
28	1059	ANSI27-1 trip	00.00.0	00:00:00.999
29	1059	ANSI27-1 trip	00.00.0	00:00:00.999
30	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	12:05:27.840
31	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	12:00:47.066
32	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	12:00:47.064
33	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	11:52:19.257
34	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	11:51:50.958
35	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	11:51:25.812
36	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	11:51:01.368
37	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	11:44:43.877
38	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	11:44:30.407
39	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	11:44:18.621
40	1376	ANSI59N-G-1 trip	08.01.2014	11:43:12.688
41	1266	ANSI81-2 trip	08.01.2014	11:39:39.459
42	1266	ANSI81-2 trip	08.01.2014	11:39:31.237
43	1266	ANSI81-2 trip	08.01.2014	11:39:23.765
44	1266	ANSI81-2 trip	08.01.2014	11:39:18.485
45	1059	ANSI27-1 trip	08.01.2014	11:37:57.283
46	1266	ANSI81-2 trip	08.01.2014	11:37:57.077

Description	Value
Event number	1059
Event name	ANSI27-1 trip
Date	28.02.2014
Time	06:10:46.464
Pickup source	PT1
Fault phase	L1, L2, L3
Protection step	1
Protection set	1

	PT1	PT2	PT3	PT-GND1	Unit
U1	4770.112	0.000	0.000		V
U2	4946.735	0.000	0.000		V
U3	4683.973	0.000	0.000		V
U12	8501.252	0.000	0.000		V
U23	8392.841	0.000	0.000		V
U31	8055.932	0.000	0.000		V
UG				410.633	V
f	50.028	0.000	0.000		Hz

	CT1	CT2	CT-GND1	Unit
I1	0.081	0.000		A
I2	0.084	0.000		A
I3	0.079	0.000		A
IG			0.000	A

Description	Value	Unit
U (SV)	12750.000	V
DT (SV)	0.100	s

Figura 7. Cava de tensão registada pelo relé de proteção da interligação

2014	
Mês	N.º de Dias de Não Produção
Janeiro	2
Fevereiro	4
2015	
Mês	N.º de Dias de Não Produção
Janeiro	3
Abril	1
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

Quadro 3. Número de dias sem produção devido às cavas de tensão

Quantificados os dias de Não Produção registados no quadro 3, para calcular o prejuízo financeiro, é necessário consultar a tabela de produção prevista que serviu de base de cálculo ao investimento.

Fixed system: inclination=30°, orientation=0°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	736.00	22800	3.13	97.1
Feb	812.00	22700	3.52	98.5
Mar	1150.00	35800	5.17	160
Apr	1160.00	34700	5.28	158
May	1300.00	40200	5.95	185
Jun	1380.00	41400	6.43	193
Jul	1380.00	42900	6.48	201
Aug	1390.00	43100	6.56	203
Sep	1230.00	36900	5.72	172
Oct	992.00	30800	4.46	138
Nov	713.00	21400	3.09	92.6
Dec	610.00	18900	2.59	80.3
<b>Yearly average</b>	<b>1070</b>	<b>32600</b>	<b>4.87</b>	<b>148</b>
<b>Total for year</b>	<b>391000</b>	<b>1780</b>		

Quadro 4. Quadro de produção prevista

Mês	N.º de Dias de Não Produção	Produção Estimada/Dia (kWh)	Produção Estimada Perdida/Mês (kWh)	Tarifa Contratada (€/kWh)	Produção Estimada Perdida/Dia (€)
jan/14	2	736	1472	0,25 €	367,85 €
fev/14	4	812	3248		811,68 €
jan/15	3	736	2208		551,78 €
abr/15	1	1160	1160		289,88 €
<b>TOTAL</b>	10	Total Não Produção (MWh)	8		

Quadro 5. Quadro de cálculo de perdas de produção

Somado a estes custos a mão de obra das deslocações para reposição de serviço, obtemos para este caso de estudo uma penalização de cerca de 3% na recuperação do investimento (quadro 6).

	Custo (€)	Rendimento Estimado (€)	Peso Parcial (%)	Total de Perdas (%)
Não Produção	1 179,00 €	97 750,00 €	1,21%	2,87%
Mão-de-obra	1 630,00 €		1,67%	

Quadro 6. Total das perdas referentes a esta anomalia

**Soluções**

A resolução prática desta anomalia, passa por alterar o tempo de análise do relé de proteção de interligação, no entanto esta medida não é aceite pelo distribuidor, posto isto, de forma a minimizar o impacto, inibiu-se o disparo da proteção da interligação do lado da média tensão, permitindo com isto eliminar a necessidade de deslocação de uma equipa especializada para religação da central, diminuindo de forma expressiva as perdas por não produção.

**3.2. Instalação de Serviços com miniprodução**

Neste tipo de instalações, e no caso de estudo em particular, a instalação de utilização é bastante antiga, não existindo manutenção preventiva nem melhoria continua. Esta instalação possui graves problemas de qualidade de energia, que por sua vez interferiram gravemente com o funcionamento e exploração da central fotovoltaica de minigeração a ela interligada.



Figura 8. Central fotovoltaica de minigeração em edifício de serviços (Ensino)

Caraterização da Instalação			
Tipo de Ligação:	Ligação em Baixa Tensão através de Posto de Transformação de 430kVA		
Nível da Contagem:	A Contagem de Energia Consumida é em Baixa Tensão		
Tipo de Instalação	Tipo de cargas	Estado de Conservação da Instalação Elétrica	Compensação da Energia Reativa
Industria Metalomecânica	Servidores Informáticos	Bastante degradada Não sujeita a manutenção preventiva Canalizações antigas e sobrecarregadas	O quadro de compensação de Energia Reativa é bastante antigo e não se encontra ajustado à realidade atual da instalação
	Computadores		
	UPS		
	Iluminação Fluorescente com balastro eletrónico		
	Impressoras		

Quadro 7. Quadro de caraterísticas da instalação elétrica particular de consumo

Caraterização da miniprodução	
Tipo de Ligação:	Ligação em Baixa Tensão
Nível da Contagem:	A Contagem de Energia Exportada é em Baixa Tensão
Potência Instalada:	154,25 kVA - Fotovoltaico
Potência de Ligação:	116 kVA
Quantidade de Inversores	8 Inversores de Rede (7 un de 15 kVA e 1 un de 11 kVA)

Quadro 8. Quadro de caraterísticas da instalação elétrica de miniprodução

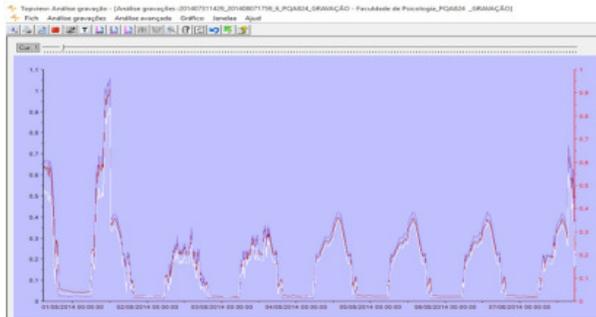


Figura 9. Harmônicos de corrente de 3.ª ordem

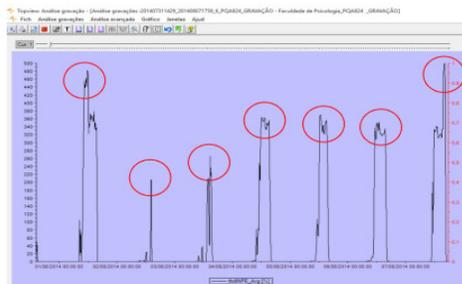


Figura 10. THDI no condutor de neutro

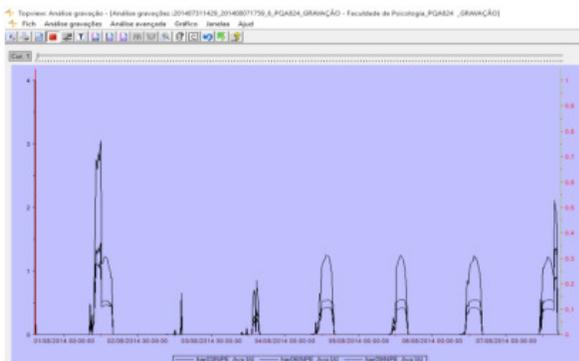


Figura 11. harmônicos múltiplos de 3 no condutor de neutro

Mês	N.º de Dias de Não Produção
Maio	0
Junho	30
Julho	27
Agosto	26
Setembro	7
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>

Quadro 9. Número de dias sem produção devido aos disparos intempestivos provocados pela poluição harmónica

Quantificados os dias de Não Produção registados no quadro 9, para calcular o prejuízo financeiro, é necessário consultar a tabela de produção prevista que serviu de base de cálculo ao investimento.

Fixed system: Inclination=30°, orientation=20°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	180.00	5590	3.26	101
Feb	197.00	5510	3.63	102
Mar	282.00	8740	5.29	164
Apr	282.00	8460	5.38	161
May	314.00	9740	6.03	187
Jun	331.00	9940	6.50	195
Jul	342.00	10600	6.75	209
Aug	336.00	10400	6.66	207
Sep	300.00	9000	5.89	177
Oct	248.00	7670	4.72	146
Nov	175.00	5250	3.28	98.5
Dec	163.00	5040	2.98	92.4
<b>Yearly average</b>	<b>263</b>	<b>8000</b>	<b>5.04</b>	<b>153</b>
<b>Total for year</b>		<b>95900</b>		<b>1840</b>

Quadro 10. Quadro de produção prevista

Penalizações	Custo (€)	Reendimento Estimado (€)	Peso Parcial (%)	Total de Perdas (€)	Total de Perdas (%)
Não Produção	7 497,00 €	23 750,00 €	31,57%	9 924,13 €	41,79%
Equipamentos	1 577,13 €		6,64%		
Mão-de-obra	850,00 €		3,58%		

Quadro 11. Quadro de cálculo de perdas de produção

Somado a estes custos a mão de obra das deslocações para reposição de serviço e os materiais de substituição necessários para repor os danificados, obtemos para este caso de estudo uma penalização de cerca de 41.79% na recuperação do investimento (quadro 12).

Mês	N.º de Dias de Não Produção	Produção Estimada/Dia (kWh)	Produção Estimada Perdida/Mês (kWh)	Tarifa Contratada (€/kWh)	Produção Estimada Perdida/Mês (€)
Maio	0	314	0	0,2499 €	0,00 €
Junho	30	331	9930		2 481,51 €
Julho	27	342	9234		2 307,58 €
Agosto	26	336	8736		2 183,13 €
Setembro	7	300	2100		524,79 €
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>Total Não Produção (MWh)</b>	<b>30</b>		<b>7 497,00 €</b>

Quadro 12. Quadro de cálculo de perdas de produção

### Soluções

Na prática a resolução destas anomalias passa por investimentos avultados, pois requerem um estudo mais profundo da instalação elétrica de consumo, obriga a reconfigurações da instalação e investimento em equipamentos tecnológicos e soluções de engenharia que transformariam o investimento em prejuízo a curto prazo.

De forma a minimizar a interferência da poluição harmónica na central fotovoltaica, numa primeira ação deveríamos substituir as proteções do tipo disjuntor para proteções do tipo fusível, isto porque o fusível não possui circuito magnético (bobine), como tal apresenta um elevado grau de imunidade à ação dos harmónicos de corrente. No entanto seria obrigatório, aumentar a secção das fases e igualar a secção do neutro de forma a garantir as condições de compatibilidade eletromagnética e isolamento da canalização elétrica a longo prazo. Seria importante ainda, neste caso em concreto, ajustar a compensação do fator de potência de forma evitar a ressonância e consequente amplificação dos harmónicos de corrente na instalação elétrica particular.

### 4. Conclusão

É importante sublinhar que, instalar uma miniprodução numa qualquer instalação de consumo, não devem ser analisadas apenas as condições de instalação, como se percebe neste artigo, existe um risco elevado de quebras de produção provocadas pela má qualidade da rede elétrica da instalação de consumo e também, apesar de ser em menor escala, da rede elétrica de distribuição, quebras essas que afetam técnico-financeiramente a rentabilidade das instalações e podem até colocar em risco a segurança das instalações e utilizadores. Posto isto é importante retirar deste estudo a necessidade de avaliar estes riscos aquando da análise prévia da instalação, precavendo tecnicamente o projeto e desenvolvimento da solução a instalar, tendo em conta o tipo de instalação de consumo e o seu estado de exploração.

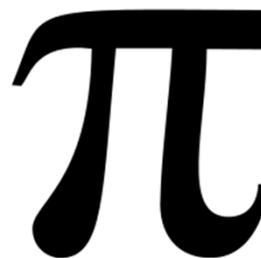
Neste tipo de soluções, qualquer percentagem mínima afeta a rentabilidade da miniprodução, sendo uma solução com esperança de vida de 25 anos, torna-se primordial a sua exploração em harmonia com a instalação de consumo.

### Bibliografia

- [1] TAVARES, Hugo—ISEP, Regimes de Neutro em Média Tensão em Subestações de Distribuição de Energia Elétrica. Porto, 2013.
- [2] ENERGIA, Portal—Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação. União Europeia, 2004.
- [3] DGEG—Guia Técnico das Instalações de Produção Independente de Energia Elétrica. Lisboa, 2009.
- [4] SCHNEIDER—Qualidade de Energia, Harmónicas. Brasil, 2003.
- [5] XU, Xiao-yan, HUANG, Yue-hui, LIU, Chun, WANG, Wei-sheng—Impact of Dispersed PV Generation on Voltage Rise of Distribution Grid, 2010.
- [6] ERSE —Manual de Procedimentos da Qualidade de Serviço do Setor Elétrico, 2013.
- [7] EDP, ISR—Manual da Qualidade da Energia Elétrica, 2005.
- [8] ISE—Aspetos Gerais da Qualidade de Energia, 2012
- [9] ERSE — Regulamento da Qualidade de Serviço do Setor Elétrico, 2013.

---

### Notas soltas:



$\pi = 3,14159\ 26535\ 89793\ 23846\ 26433\ 83279\ 50288\ 41971\ 69399\ 37510\ 58209\ 74944\ 59230\ 78164\ 06286\ 20899\ 86280\ 34825\ 34211\ 70679\ 82148\ 08651\ 32823\ 06647\ 09384\ 46095\ 50582\ 23172\ 53594\ 08128\ 48111\ 74502\ 84102\ 70193\ 85211\ 05559\ 64462\ 29489\ 54930\ 38196\ 44288\ 10975\ 66593\ 34461\ 28475\ 64823\ 37867\ 83165\ 27120\ 19091\ 45648\ 56692\ 34603\ 48610\ 45432\ 66482\ 13393\ 60726\ 02491\ 41273$

(Aproximação do número pi até a tricentésima casa decimal)

**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)



## ITED 3 – DIMENSIONAMENTO DAS REDES DE CABOS COAXIAIS

### 1. Introdução

Em Setembro de 2014 foi editada a 3ª Edição do Manual das Infraestruturas de Telecomunicações em edifícios (ITED), que veio responder à necessidade de uma atualização técnica, bem como dar resposta à questão do paradigma do setor imobiliário.

Essa 3ª Edição apresentou algumas alterações face à edição anterior, designadamente no que toca ao dimensionamento de redes de cabos coaxiais (CC).

Com este artigo, pretende-se apresentar as alterações mais significativas entre a 2ª e 3ª Edição do Manual ITED, nomeadamente no que toca ao dimensionamento de redes de cabos coaxiais.

Pretende-se, também, apresentar uma aplicação informática que foi desenvolvida no âmbito do curso da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, evidenciando os vários aspetos no domínio do dimensionamento de redes coaxiais em redes coletivas e individuais.

Por fim, apresenta-se um caso de estudo, que pretende ao mesmo tempo demonstrar a forma como a aplicação informática funciona, bem como a sua fiabilidade.

### 2. 3ª Edição do Manual ITED

Com o passar dos anos, as tecnologias de radiodifusão vão evoluindo, permitindo ir mais longe, no que toca à qualidade e quantidade de informação, bem como na fiabilidade e eficiência dos sistemas.

Com estas evoluções, os profissionais de telecomunicações, projetistas e instaladores, têm de se adaptar a estas novas realidades, de forma a garantirem o cumprimento cada vez mais exigente das prescrições e especificações técnicas dos manuais que regulam estas práticas.

Estas especificações e prescrições surgem em resposta à legislação que gere o setor das telecomunicações nomeadamente o Decreto-Lei nº 123/2009 de 21 de Maio de 2009, com a redação dada pela Lei nº 47/2013 de 10 de Julho de 2013.

Importa salientar que a 1ª Edição do Manual ITED data de Julho de 2004, sendo a 2ª Edição de Novembro de 2009 e a 3ª Edição de Setembro de 2014. Com a 3ª Edição, alguns aspetos foram alterados, sendo:

- Obrigatoriedade de cálculo dos valores de tilt, e respetiva inclusão desses valores no projeto;
- Diminuição dos valores máximos de tilt entre o RG-CC/SMATV e as tomadas terminais;
- Instalação de 2 tipos de antenas, sendo uma antena para UHF, que assegure a captação de sinais nas zonas digitais A e antena parabólica que assegure a captação do sinal da TDT nas zonas digitais B;
- Introdução de valores máximos das atenuações das ligações permanentes para 862 e 2150 MHz;

Existem outras alterações no que diz respeito às prescrições mínimas das redes de cabos coaxiais para edifícios de diferentes tipos.

Outra grande alteração é o facto de esta Edição dar grande importância à nova realidade do setor imobiliário, em que a prioridade está não na construção de edifícios novos, mas sim na reabilitação de edifícios já existentes.

Desta forma, o manual indica o procedimento a ser utilizado para o dimensionamento de redes coaxiais nestes edifícios já construídos.

### 3. Aplicação Informática

Para dar resposta ao mercado foi desenvolvida uma aplicação informática, de forma a apoiar os projetistas no dimensionamento de redes de cabos coaxiais em redes coletivas e individuais. Aquando deste desenvolvimento, as soluções existentes no mercado estavam limitadas no que toca aos equipamentos passíveis de ser utilizados. A implementação proposta possibilita o dimensionamento para 2 marcas distintas: a TEKA e TELEVES.

Pretendeu-se que a ferramenta fosse versátil e simples, do ponto de vista do utilizador, e que fosse também prática e intuitiva. Concomitantemente, esta ferramenta confere ao projetista um leque de opções para que este possa efetuar um correto e completo dimensionamento.

Esta aplicação foi desenvolvida em folha de *Excel* e recorrendo também ao suplemento VBA.

Basicamente, a aplicação informática desenvolvida efetua o cálculo das atenuações das ligações permanentes bem como os respetivos valores de tilt, quer para uma rede coletiva, quer para uma rede individual. Possibilita, ainda, a inserção de equipamentos ativos e passivos para a correção de valores de atenuação e de tilt. Por fim, e de forma automática, a ferramenta devolve o intervalo de valores em que devem estar compreendidos os níveis de sinal na CR para MATV (*Master Antenna Television*) e SMATV (*Satellite Master Antenna Television*).

Esta ferramenta funciona de mesma forma, quer a rede seja constituída por 1 ou 2 fogos como para 50 ou mais fogos.

O ficheiro está portanto constituído por cinco folhas de cálculo:

1. Cálculos Rede Coletiva;
2. Cálculos da Rede Individual;
3. Rede Coletiva + Rede Individual;
4. Rede Individual;
5. Base de dados de equipamentos.

A aplicação informática efetua o cálculo das atenuações e *tilt* para a zona correspondente à rede coletiva de um edifício, permitindo a compensação do mesmo. O projetista deverá introduzir o número de saídas do secundário do RG-CC (nº de fogos).

Seguidamente, apenas terá que escolher os equipamentos que achar mais adequados e introduzir os comprimentos das ligações permanentes.

O cálculo de atenuação é então efetuado de acordo com a fórmula constante da 3ª Edição do Manual ITED:

$$Alp = Acabo + ADR + n + Ac + ATT \quad (1)$$

Sendo:

- ALp** atenuação da ligação permanente (dB);
- Acabo** atenuação do cabo em função do comprimento (dB);
- ADR** atenuação dos dispositivos de repartição, ou derivação, se aplicável (dB);
- N** número de conetores considerados;
- Ac** atenuação por conetor (dB);
- ATT** atenuação da tomada terminal, se aplicável (dB).

Após os valores de atenuações e de tilt estarem calculados, verificam-se se estes estão dentro dos limites exigidos. Caso não estejam o utilizador poderá compensar estes valores com equipamentos ativos e passivos que permitam precisamente a compensação destes. Para isso, terá que introduzir os valores da compensação na respetiva célula, conforme caso de estudo da próxima secção. Com o cálculo das atenuações e tilt, e no caso de não estarem dentro do limite, o programa retorna, também, um valor mínimo necessário para a respetiva compensação.

A aplicação permite também o “Cálculos da Rede Individual”, sendo realizado o cálculo das atenuações e tilt para a parte da rede correspondente à rede individual. O utilizador deverá escolher o repartidor de cliente a ser usado. Terá, ainda, que escolher uma tomada terminal (TT) dentro de uma lista pendente composta por 2 equipamentos, um da marca TEKA e outro da marca TELEVES.

Após o cálculo e se os valores estiverem fora dos limites, o programa dá sugestões para a respetiva compensação. São, ainda, assinaladas as tomadas + e – favoráveis de cada fração bem como da rede completa. Para tal, o programa soma as atenuações da rede coletiva com as atenuações das respetivas ligações permanentes da rede coletiva, e então encontra as referidas tomadas.

Na aplicação denominada “Rede Coletiva + Rede Individual”, são calculados os valores correspondentes ao mínimo e máximo de sinal em que os níveis de sinal devem estar compreendidos na cabeça de rede (CR), para MATV e SMATV, tal como é indicado no Manual ITED 3ª Edição.

Foi criada uma outra funcionalidade denominada: “Rede Individual”, onde o utilizador poderá efetuar o dimensionamento de uma rede composta apenas pela parte individual. Desta forma deverá preencher uma célula com o nº de tomadas terminais da rede a dimensionar. Escolhendo, então, os equipamentos a utilizar os valores das atenuações e de tilt são automáticas calculados. Também aqui é indicado se os valores estão dentro dos limites, e caso não estejam, são dadas sugestões para a respetiva compensação.

Por fim a funcionalidade: “Base de dados de equipamentos”, encontram-se os vários modelos de cabos, repartidores de cliente e tomadas terminais alusivos às duas marcas usadas. A aplicação informática foi desenvolvida em conformidade com os requisitos do Manual ITED 3ª Edição.

**3. Aplicação Informática**

Afim de testar as capacidades e fiabilidade da aplicação, será

apresentado de seguida um exemplo prático que segue os valores do exemplo prático do Manual ITED 3ª Edição.

Para o efeito foi considerada uma rede constituída por 4 frações com 8 tomadas cada.

Seguindo o procedimento do ponto anterior, os valores resultantes do cálculo das atenuações da Rede Coletiva são os constantes na Figura 1.

Estes valores estão próximos dos valores do Manual, sendo que os respetivos desvios explicam-se com o facto de que os valores de atenuações de equipamentos que aqui foram utilizados são ligeiramente diferentes, tendo sido neste caso utilizados valores reais de equipamentos existentes no mercado.

No caso da rede individual foi considerado que as 4 frações têm a mesma tipologia, ou seja o mesmo comprimento para as ligações permanentes, entre o repartidor de cliente e das tomadas terminais. Assim, a Figura 2 apresenta os resultados referentes ao cálculo apenas para cada uma das frações.

Ainda na Figura 2 pode-se verificar que os resultados são aproximados aos valores do exemplo do Manual ITED.

Verifica-se que existem valores que estão fora dos valores limites, e que o programa dá sugestão do valor mínimo para a compensação destes. Neste caso, a seleção de um outro cabo com menores valores de atenuações corrigiu estes valores.

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Rede Coletiva	Número de ATI				4															
2																					
3	ALp Col @ fMHz = Acabo@fMHz + n x AC @ fMHz																				
4	Nº da saída do RG	Compensação TILT (47 - 862 MHz)	Compensação TILT (950 - 2150 MHz)	Comprimento [m]	Acabo [dB]				Conectores [n]	Ac [dB]				Tilt [dB]				ALp Col [dB]			
5					TEKA RG6 N46V3																
6					47	862	950	2150		47	862	950	2150	47 - 862		950 - 2150		47	862 (<18 dB)	950	2150 (<26 dB)
7					Tilt (<-7) [dB]		Comp.		Tilt (<-9) [dB]		Comp.										
8	RG-CC 1	0	0	15,0	0,63	2,87	3,02	4,65	2	0,01	0,17	0,19	0,43	-2,40	0,00	-1,88	0,00	0,64	3,04	3,21	5,08
9	RG-CC 2	0	0	30,0	1,26	5,73	6,03	9,30	2	0,01	0,17	0,19	0,43	-4,63	0,00	-3,51	0,00	1,27	5,90	6,22	9,73
10	RG-CC 3	0	0	35,0	1,47	6,69	7,04	10,85	2	0,01	0,17	0,19	0,43	-5,38	0,00	-4,06	0,00	1,48	6,86	7,23	11,28
11	RG-CC 4	0	0	44,0	1,85	8,40	8,84	13,64	2	0,01	0,17	0,19	0,43	-6,72	0,00	-5,04	0,00	1,86	8,58	9,03	14,07

**Figura 1. Exemplo de cálculo da rede coletiva de CC**

Rede Individual		Preencher		Apagar		ALp Ind (e) fMHz = Acabo@fMHz + ADR@fMHz + n x ACE@fMHz + ATT@fMHz																														
Nº da saída do RG	Nº de saídas do RG	Codigo da Tomada	Ganho (47 - 862 MHz)	Ganho (950 - 862 MHz)	Compensação	TILT (47 - 862 MHz)	TILT (950 - 2150 MHz)	Acabo [dB]				ADR [dB]				Conectores [n]				Ac [dB]				ATT [dB]				Tilt [dB]				ALp Ind [dB]				
								47	862	950	2150	47	862	950	2150	47	862	950	2150	47	862	950	2150	47	862	950	2150	47	862	950	2150	47	862	950	2150	47
RG-CC1	TEKARC-CC8290747	1	0	0	0	0	23	0,97	4,39	4,62	7,13	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-3,58	0,00	-5,45	0,00	14,78	13,37	0,37	19,61	25,06	0,00		
		2	0	0	0	0	20	0,84	3,82	4,02	6,20	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-3,14	0,00	-5,12	0,00	14,85	17,79	0,00	19,01	24,13	0,00		
		3	0	0	0	0	3	0,13	0,57	0,60	0,93	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-0,61	0,00	-3,27	0,00	13,94	14,55	0,00	15,53	18,86	0,00		"+"
		4	0	0	0	0	12	0,50	2,29	2,41	3,72	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-1,95	0,00	-4,25	0,00	14,31	16,26	0,00	17,40	21,65	0,00		
		5	0	0	0	0	15	0,63	2,87	3,02	4,65	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-2,40	0,00	-4,58	0,00	14,44	16,84	0,00	18,01	22,58	0,00		
		6	0	0	0	0	8	0,34	1,53	1,61	2,48	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-1,36	0,00	-3,81	0,00	14,15	15,50	0,00	16,60	20,41	0,00		
		7	0	0	0	0	22	0,92	4,20	4,42	6,82	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-3,44	0,00	-5,34	0,00	14,73	15,17	0,17	19,41	24,75	0,00		
		8	0	0	0	0	5	0,21	0,96	1,01	1,55	12,80	12,80	12,80	15,50	2	0,01	0,17	0,19	0,43	1	1	2	2	-0,91	0,00	-3,49	0,00	14,02	14,93	0,00	16,00	19,48	0,00		

Figura 2. Exemplo de cálculo da rede individual de CC

Na Figura 3 encontram-se os valores em que devem estar compreendidos os níveis de sinal na CR para MATV e SMATV. Caso o utilizador queira dimensionar uma rede constituída apenas por parte individual, deverá utilizar a respetiva funcionalidade da aplicação para o efeito.

Para a escolha das marcas o critério de consideração foi a sua presença e posicionamento no mercado. Com efeito, estas duas marcas são, atualmente, na opinião dos autores, as marcas de referência no mercado das comunicações eletrónicas.

Rede Coletiva + Rede Individual		Níveis de sinal na CR - Edifício com partes coletivas e partes individuais.																	
		Tomada - F		RG-CC 1				1		Tomada +F		3							
		47 MHz		862 MHz		950 MHz		2150 MHz		47 MHz		862 MHz		950 MHz		2150 MHz			
ALp Col [dB]		0,64		3,04		3,21		5,08		ALp Col [dB]		0,64		3,04		3,21		5,08	
ALp Ind [dB]		14,45		16,78		17,82		22,35		ALp Ind [dB]		13,89		14,34		15,36		18,51	
A(-F) [dB]		15,09		19,82		21,02		27,43		A(+F) [dB]		14,53		17,38		18,56		23,59	
Stt min [dB µV]		45,0		45,0		47,0		47,0		Stt max [dB µV]		74,0		74,0		77,0		77,0	
Scr min [dB µV]		60,09		64,82		68,02		74,43		Scr max [dB µV]		88,53		91,38		95,56		100,59	
SINAL MATV		64,82		e		88,53		(dBµV)											
SINAL SMATV		74,43		e		95,56		(dBµV)											

Figura 3. Níveis de Sinal na Cabeça de Rede (CR)

#### 4. Conclusões

A aplicação informática implementada demonstra ser prática, simples e fiável, permitindo ao utilizador um correto dimensionamento de redes de cabos coaxiais, sendo uma mais-valia para os profissionais do setor, que agora dispõem de uma ferramenta que dá a possibilidade de escolha de equipamentos de, pelo menos, duas marcas (TEKA e TELEVES).

Não obstante o facto de que ainda assim estar algo limitada no que diz respeito à sua base de dados, futuramente existe a possibilidade de adicionar mais equipamentos, para que esta ferramenta se torne ainda mais completa e abrangente.

Este trabalho foi desenvolvido de acordo com o programa da Unidade Curricular de Projeto/Estágio de Sistemas Eléctricos de Energia, da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia. Sérgio Ramos e Marco Silva como orientadores e José Saavedra estudante do Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal (e-mail: 1110096@isep.ipp.pt).

O próximo trabalho foi desenvolvido de acordo com o programa da Unidade Curricular de Projeto/Estágio de Sistemas Eléctricos de Energia, da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia. Sérgio Ramos e Marco Silva como orientadores e Sérgio Vieira estudante do Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal (e-mail: 1110096@isep.ipp.pt).

## ITUR 2 – DIMENSIONAMENTO DAS REDES DE CABOS COAXIAIS

### 1. Introdução

No último século, o sector das comunicações passou de um estado inicial de simples curiosidade tecnológica até um dos mais dinâmicos pilares económicos de vários países por todo o mundo.

A procura por mais e melhores serviços de televisão e internet levaram à necessidade de evoluir as tecnologias existentes de modo a conseguir cumprir com a elevada procura ao mesmo tempo que apresentam um serviço mais rápido, mais fiável e de melhor qualidade.

A União Europeia (EU) colocou como objetivo a conversão de todo o seu território de radiodifusão analógica para a tecnologia digital. Deste modo, não só se conseguiu uma mais eficiente utilização do espectro radioelétrico, como se conseguiu aumentar o número de canais a transmitir, sendo estes de melhor qualidade que a tecnologia analógica, pois deu a possibilidade de várias emissoras poderem emitir em *High Definition (HD)*.

Não foi apenas na televisão que se deram grandes avanços, mas também na internet. Nos últimos anos foi verificado um

grande aumento nas velocidades atingidas por estas ligações, sendo que hoje, a maior parte das ligações são incorporadas com serviços de televisão.

Em Portugal também se verificou uma grande prosperidade para o dia-a-dia das populações e empresas, como pode ser verificado na Figura 1, que compara a evolução do PIB com a evolução do número de subscritores de diferentes serviços de telecomunicações tais como telefone fixo, móvel, internet e televisão paga.

Para levar estas tecnologias aos lares da população com a mais alta qualidade de serviço, são necessárias várias infraestruturas, sendo as ITUR (infra estruturas de telecomunicações em urbanizações, loteamentos e conjunto de edifícios) parte integrante dessas infraestruturas tornando-se assim a sua qualidade e regulação pelas normas de extrema importância, sendo que estas são hoje em dia regulamentadas pelo Manual de ITUR 2ª Edição, que é no fundo um conjunto de normas e diretrizes a seguir no projeto, dimensionamento e execução deste tipo de infraestruturas de modo a poder levar à casa dos utilizadores.

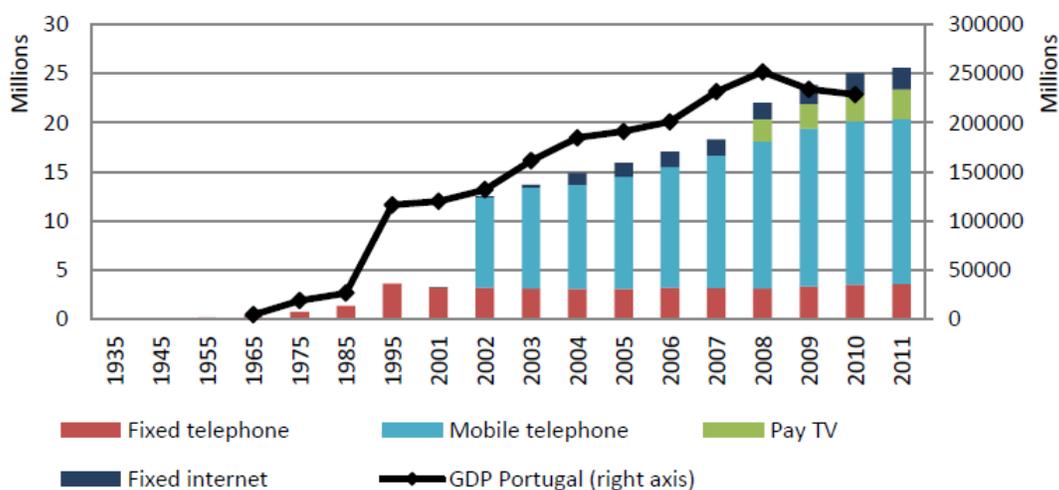


Figura 1. Evolução da penetração de telecomunicações (eixo da esquerda) versus evolução do PIB em Portugal (eixo da direita) de 1965 a 2011 [Fonte: ANACOM, INE e World Bank]

Uma ITUR Privada tem que prever o alojamento das 3 tecnologias previstas pelo manual de ITUR em vigor, o Par de Cobre, a Fibra Ótica e o cabo Coaxial, contudo neste artigo vamos-nos focar apenas na tecnologia de cabo Coaxial, que apesar de ser uma tecnologia com alguns anos, tem ainda os seus pontos fortes. Uma grande vantagem desta tecnologia é a imunidade a interferências externas aliadas ao seu baixo custo o que faz dele uma tecnologia ainda muito usada apesar de ser o que apresenta maiores atenuações por unidade de comprimento.

## 2. Surgimento das ITUR

O desenvolvimento das atividades económicas e sociais, os enormes progressos tecnológicos, verificados e as novas exigências decorrentes do ambiente concorrencial estabelecido em Portugal, impuseram a necessidade de formular novas regras técnicas para o projeto, instalação e gestão das Infraestruturas de Telecomunicações, com suporte as tecnologias de cabo de pares de cobre, cabo coaxial e fibra ótica.

Com a publicação do Decreto-Lei n.º123/2009, de 21 de maio, iniciou-se um conjunto de alterações em todo o enquadramento de atividade relativa às infraestruturas de telecomunicações em edifícios, as chamadas ITED, assim como nas infraestruturas de telecomunicações em Loteamentos, Urbanizações e Conjunto de Edifícios.

Alguns dos aspetos que a nova legislação introduziu foram:

- Inscrição dos técnicos de projeto e de instalação nas associações profissionais e a necessidade de formação;
- A criação do ITUR (Infra estruturas de telecomunicações em urbanizações e conjunto de edifícios);
- Necessidade de novos regulamentos;
- Acrescidas responsabilidades para os projetistas e instaladores assim como para os donos de obra.

O manual de ITUR – 1ª Edição foi aprovado por deliberação CA, da ANACOM, de 25 de Novembro de 2009 sendo que a sua entrada em vigor foi a 1 de Janeiro de 2010.

O regime jurídico aplicável às Infraestruturas de Telecomunicações em Loteamentos, Urbanizações e Conjunto de edifícios, consagra a obrigatoriedade de construção das ITUR em duas realidades distintas, ITUR Públicas e ITUR Privadas.

As ITUR Públicas exigem o dimensionamento da rede de tubagens ou tubagem para instalação de cabos, equipamentos e outros dispositivos, incluindo armários de telecomunicações, caixas e câmaras de visita. São integrantes do domínio público municipal, o proprietário e titulares dos direitos reais cedem gratuitamente ao município as ITUR instaladas, sendo que a sua gestão e conservação cabem aos municípios.

As ITUR Privadas, além do exigido pelas ITUR Públicas, exigem ainda a cablagem em par de cobre, cabo coaxial e fibra ótica para ligação às redes públicas de comunicações eletrónicas, bem como instalações elétricas de suporte a equipamentos e sistemas de terra. São de propriedade privada e a sua gestão é feita pela administração.

### - ITUR 2ª Edição

A 20 de Novembro de 2014 foi aprovada por decisão da ANACOM a 2ª edição do Manual de ITUR - Prescrições e especificações técnicas das infraestruturas de telecomunicações em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios.

Esta 2.ª edição do Manual ITUR resulta de alterações introduzidas no Manual ITED (3.ª edição), bem como da normal evolução normativa europeia, que consequentemente conduziram à necessidade de adaptação das regras técnicas aplicáveis às infraestruturas exteriores aos edifícios, nomeadamente as existentes em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios e, assim, à revisão do Manual ITUR.

#### - Partes constituintes de uma rede coaxial de uma ITUR Privada

Uma ITUR privada pode ter origem na rede pública ou numa ITUR Pública, sendo que o seu ponto de fronteira em ambos os casos é dado no ATU. O final de uma ITUR privada é dado nos primários dos repartidores gerais (RG) no caso de edifícios e nos primários dos repartidores de cliente (RC) no caso de moradias unifamiliares.

Para uma rede de cabos coaxiais o manual de ITUR 2ª Edição obriga à garantia de que em cada ATE, ou ATI, exista a possibilidade de ligação, como mínimo, de uma rede de distribuição de CATV. O projetista pode considerar a existência de uma outra rede, para distribuição do sistema de S/MATV.

Uma rede de cabos coaxial numa ITUR privada terá início no secundário do repartidor de urbanização de cabo coaxial (RU-CC) e finda no primário do repartidor geral de cabo coaxial de um edifício coletivo (RG-CC) ou repartidor de cliente de cabo coaxial (RC-CC) no caso de se tratar de um único fogo, local onde terá início a rede ITED.

São parte integrante da rede de cablagem coaxial os cabos da rede principal, os cabos de distribuição, os conectores, repartidores, derivadores e amplificadores.

O cabo da rede principal é utilizado na ligação entre amplificadores e na ligação destes a outros dispositivos, nomeadamente derivadores e repartidores. O cabo da rede de distribuição é destinado à ligação aos repartidores gerais (RG-CC) e repartidores de cliente (RC-CC), fazendo a ligação destes à rede principal.

#### - Projeto da rede

Deve ser prevista no mínimo uma rede de coaxial CATV que, dependendo da dimensão da ITUR, pode ser híbrida (coaxial e fibra), devendo ser desenvolvida a partir do ATU, servindo todos os fogos e o seu dimensionamento deve considerar e ter em conta os limites previstos para a distribuição de sinais de TV e de dados (DOCSIS).

O projetista para as redes de coaxial deve adotar as soluções que melhor se adaptem às necessidades da ITUR, podendo projetar as seguintes topologias:

- **Estrela** – chegada ao ATE, ou ATI, de um cabo coaxial de classe TDC-C-H proveniente do ATU por cada fogo (aplicável essencialmente em ITUR de reduzida dimensão), embora seja a mais adequada pois permite a ligação de vários operadores em simultâneo.
- **Árvore** – chegada ao ATE, ou ATI, de um cabo coaxial de classe TDC-C-H para repartição (no primário do RG ou RC) por todos os fogos;
- **Mista** – combinação das topologias anteriores.

A rede de cabos coaxiais pode ser dividida em dois troços distintos:

- **Rede principal** – troço limitado a montante pelo ATU e a jusante pelos amplificadores de distribuição. Dependendo da dimensão da ITUR e das condições referidas anteriormente, este troço pode ser suportado por uma ligação em fibra ótica;
- **Rede de distribuição** – troço limitado a montante pela rede principal sendo destinado à ligação da rede principal aos repartidores gerais (RG-CC) e repartidores de cliente (RGCC).

Poderá ainda ser considerado o transporte e distribuição de sinais S/MATV (sinais do tipo B – via satélite) e sinais MATV (tipo A – via hertziana terrestre) na mesma rede, caso se garanta a necessária compatibilidade de espectro, ou ser efetuado em redes independentes.

#### 4. Aplicação informática desenvolvida

Os requisitos previstos para uma infraestrutura de cabo coaxial pelo manual de ITUR são sem dúvida os mais exigentes, deste modo foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo destinada ao auxílio do dimensionamento das redes de cabos coaxiais das ITUR Privadas.

Como foi visto anteriormente uma rede de cabos coaxiais numa ITUR Privada é composta por certos equipamentos chave, tais como o ATU de onde sairão todas as cablagens a ser distribuídas, os próprios cabos e seus conectores, sejam da rede principal ou da rede de distribuição, repartidores e derivadores e finalmente, se necessário, amplificadores.

A ferramenta foi desenvolvida de modo a ter em conta todos estes componentes e suas características, tendo para isso sido utilizados dados referentes a duas marcas presentes no mercado das telecomunicações, a TEKA e a TELEVES.

**- Modo de Funcionamento**

Assim que se abre o ficheiro Excel a única informação que pode ser vista é o cabeçalho (Figura 2) do que virá a ser a nossa tabela.

Tudo foi desenvolvido de modo a aumentar a simplicidade e facilidade de uso ao seu utilizador, contudo, é necessário possuir conhecimentos de ITUR para a correta utilização da ferramenta. Antes de mais é necessário termos previamente um rascunho de como estará distribuída a nossa rede de cablagem, por exemplo, quantos derivadores ou repartidores vamos ter, quantos lotes iremos alimentar, etc.

Para exemplificar o funcionamento da ferramenta vamos dimensionar a seguinte rede, bastante simples com apenas 1 saída do ATU e dois derivadores, que vai alimentar 6 lotes de moradias unifamiliares.

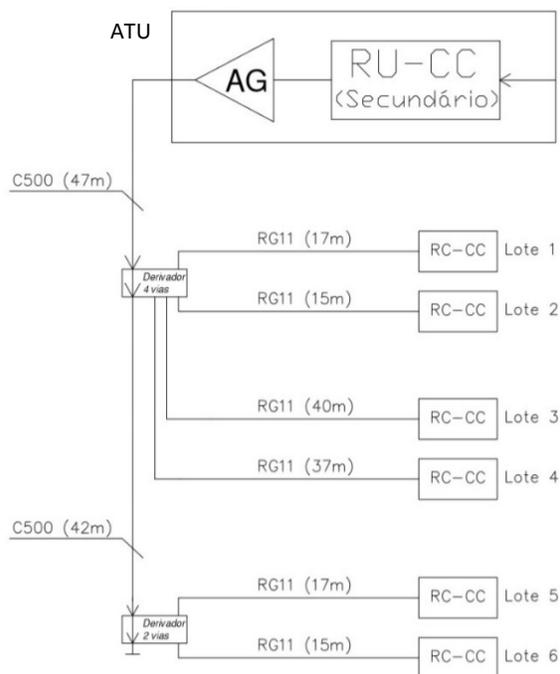


Figura 3. Exemplo de uma arquitetura de rede ITUR

Para iniciarmos o desenvolvimento da rede, deve ser selecionada a opção “Adicionar Saída ATU” seguindo posteriormente as instruções para definir toda a rede de uma vez. Ao selecionar esta opção deve certificar-se que não comete erros, uma vez que esta ação é irreversível, ou seja, uma vez acionada não é possível voltar atrás com a mesma, sendo para isso necessário fazer *reset* a toda a rede já definida. Assim sendo, a primeira coisa que a ferramenta faz é adicionar uma linha à tabela que será a primeira saída do ATU.

Adicionar Saída ATU

Nível sinal ATU (dB) 70

Dimensionamento da rede de cabo Coaxial																
Saída ATU	Início	Fim		Comp. cabo (m)	Cabo	Atenuação total do cabo (dB)		Derivador/Repartidor		Amplificador		SNR	Atenuação Total do Troço (dB)		Tilt	Sinal (dB)
		Descrição	Tipo			Referência	Perdas	Ref.	47 MHz	862 MHz	47 MHz		862 MHz			
						47 MHz	862 MHz	Referência	Perdas	Ref.	47 MHz	862 MHz	47 MHz	862 MHz		862 MHz

Figura 2. Formatação inicial das funcionalidades da aplicação informática proposta

Dimensionamento da rede de cabo Coaxial																
Saída ATU	Início	Fim		Comp. cabo (m)	Cabo	Atenuação total do cabo (dB)		Derivador/Repartidor		Amplificador		SNR	Atenuação Total do Troço (dB)		Tilt	Sinal (dB)
		Descrição	Tipo			Referência	Perdas	Ref.	47 MHz	862 MHz	47 MHz		862 MHz			
1	ATU				C500 Teka	0	0			N/A			1	1		0

Figura 4. Saída 1 do ATU selecionada

Seguidamente deve ser escolhido o destino da primeira saída do ATU, se um repartidor ou um derivador. Um repartidor deve ser apenas usado no caso de ser necessário repartir a rede, seguindo a rede principal dois caminhos distintos. Em todos as restantes situações devem ser utilizados derivadores.

Neste caso será escolhido um derivador, sendo logo de seguida feita a escolha do número de saídas pretendidas. As soluções previstas permitem derivadores de 2 e 4 vias, ou seja, 4 vias de derivação (Entrada-Derivação) e uma via de inserção.



Figura 5. Exemplo da funcionalidade “Adicionar Derivador”

Logo de seguida o utilizador é proposto com várias opções, podendo adicionar outro derivador em série com o anterior, fazer uma repartição, criar uma nova saída do ATU ou terminar a rede.

Se inicialmente se adicionar um derivador de 4 vias, seguido de um derivador de 2 vias, surge a opção terminar rede, resultando daí a seguinte tabela.

A partir deste momento tudo o que o utilizador necessita de fazer é introduzir o comprimento dos cabos e todas as atenuações serão imediatamente calculadas dando como resultado o nível de sinal no local de chegada na última coluna. Por motivos de organização e melhor perceção o utilizador deverá escrever na coluna “Descrição” o local onde termina a cablagem, contudo, não é obrigatório.

A coluna “Tipo” é composta por uma “Drop-Down List” onde se pode escolher o tipo de chegada, se um Edifício, se uma Moradia unifamiliar ou “N/A” no caso da saída do derivador não estar atribuída.

Início	Fim	Cabo
Descrição		Tipo
ATU	D1	
D1	Saída 1	Moradia
	Saída 2	Moradia
	Saída 3	Moradia
	Saída 4	Edifício
Inserção	D2	N/A
D2	Saída 1	Edifício
	Saída 2	Edifício
	Inserção	

Figura 6. Exemplo do tipo de chegada

A coluna “Cabo” também é composta por uma Drop-Down List onde se pode escolher o tipo de cabo que se quer utilizar.

Saída ATU	Início	Fim	Comp. cabo (m)	Cabo	Atenuação total do cabo (dB)		Derivador/Repartidor		Amplificador			SNR	Atenuação Total do Troço (dB)		Tilt	Sinal (dB)
					47 MHz	862 MHz	Referência	Perdas	Ref.	47 MHz	862 MHz		47 MHz	862 MHz		
1	ATU	D1		C500 Teka	0	0			N/A				1	1		70
D1	Saída 1	Moradia		RG11 Teka	0,00	0,00	Teka [J-4T/11]	11					13,00	13,00	0,00	57,00
	Saída 2	Moradia		RG11 Teka	0,00	0,00		11					13,00	13,00	0,00	57,00
	Saída 3	Moradia		RG11 Teka	0,00	0,00		11					13,00	13,00	0,00	57,00
	Saída 4	Moradia		RG11 Teka	0,00	0,00		11					13,00	13,00	0,00	57,00
	Inserção	D2		C500 TEKA	0	0	4,8	N/A				6,80	6,80		63,20	
D2	Saída 1	Moradia		RG11 Teka	0	0	Teka [J-2T/8]	8					15,80	15,80	0,00	54,20
	Saída 2	Moradia		RG11 Teka	0	0		8					15,80	15,80	0,00	54,20
	Inserção			C500 Teka	0	0	5,2	N/A				13,00	13,00		57,00	

Relação Sinal Ruído total da saída 1

Figura 7. Exemplo do dimensionamento da rede de cabos coaxial definida

O mesmo acontece na coluna “Derivador/Repartidor” onde se pode escolher um dos vários modelos disponíveis de acordo com a atenuação pretendida e com o seu fabricante tendo a possibilidade de utilizar derivadores da TEKA e da TELEVES.

Derivador/Repartidor	
Referência	Perdas
	17
Teka [J-4T/11] 11dB	17
Teka [J-4T/14] 14dB	17
Teka [J-4T/17] 17dB	17
Teka [J-4T/20] 20 dB	17
Televes [4613] 11dB	2,2
Televes [4614] 14dB	10,7
Televes [4615] 17dB	
Televes [4616] 20dB	

Figura 8. Seleção da atenuação e fabricante do derivador

Também é possível escolher um ganho de amplificação que afetará todos os componentes que estejam a jusante desse ponto. Apenas está prevista a utilização de amplificadores na linha principal.

A Figura 9 ilustra um exemplo de uma rede definida, onde se pode ver as condições de sinal à chegada assim como o valor de Tilt e SNR.

Caso as condições previstas no ITUR não sejam cumpridas a célula em questão ficará vermelha, o que indica que o utilizador terá que jogar com o valor das atenuações dos derivadores e com o ganho dos amplificadores de modo a cumprir todos os requisitos.

Podem ser adicionadas tantas saídas do ATU quantas forem necessárias, sendo que estas serão totalmente independentes umas das outras, à exceção do sinal de entrada do ATU que é definido no botão “Sinal entrada ATU” no topo da página, e esse será o sinal que alimenta o Repartidor de Urbanização de Cabo Coaxial (RU-CC).

Ao criar uma nova saída do ATU é necessário que se defina todos os componentes dessa saída. Assim como no caso de se adicionarem repartidores, será pedido ao utilizador para definir todos os componentes que ligarão a cada uma das saídas visto não ser possível adicionar mais componentes posteriormente.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo destinada ao auxílio do dimensionamento de redes de cabo coaxial nas ITUR Privadas prevendo para o efeito soluções técnicas de dois fabricantes distintos, sendo para isso necessário efetuar uma pesquisa de equipamentos de redes de cabo coaxial disponíveis no mercado.

A aplicação foi desenvolvida com recurso ao *software Microsoft Excel* tomando partido das suas avançadas funções possibilitadas pelo uso do *Visual Basic for Applications*.

Esta ferramenta poderá constituir uma ajuda aos projetistas para dimensionamento das redes coaxiais das ITUR privadas.

Dimensionamento da rede de cabo Coaxial																					
Saída ATU	Início	Fim		Comp. cabo (m)	Cabo	Atenuação total do cabo (dB)		Derivador/Repartidor		Amplificador		SNR	Atenuação Total do Troço (dB)		Tilt	Sinal (dB)					
		Descrição	Tipo			47 MHz	862 MHz	Referência	Perdas	Ref.	47 MHz		862 MHz	47 MHz			862 MHz				
1	ATU	D1		47	C500 Teka	0,8084	3,3934			Teka	18	20	-74,75	-16,192	-15,607		90				
		D1	Saída 1	Lote 1	Moradia	17	RG11 Teka	0,44	2,06	Teka [J-4T/14] 14dB	14						-0,75	1,45	-2,20	68,55	
			Saída 2	Lote 2	Moradia	15	RG11 Teka	0,39	1,82		14							-0,80	1,21	-2,01	68,79
			Saída 3	Lote 3	Moradia	40	RG11 Teka	1,04	4,84		14							-0,15	4,23	-4,39	65,77
			Saída 4	Lote 4	Moradia	37	RG11 Teka	0,96	4,48		14							-0,23	3,87	-4,10	66,13
			Inserção	D2		42	C500_TEKA	0,7224	3,0324	3,2	N/A						-11,27	-8,37		78,37	
		D2	Saída 1	Lote 5	Moradia	17	RG11 Teka	0,442	2,057	Teka [J-2T/11] 11dB	11						1,17	5,68	-4,51	64,32	
			Saída 2	Lote 6	Moradia	15	RG11 Teka	0,39	1,815		11							1,12	5,44	-4,32	64,56
			Inserção					C500_Teka	0		0	3	N/A						-7,27	-4,37	
												Relação Sinal Ruído total da saída 1		-74,75							

Figura 9. Tabela preenchida onde se pode ver as condições de Nível de Sinal e Tilt

**NFPA 850:*****FIRETRACE E OS FOGOS EM TURBINAS DE VENTO*****Resumo**

*As Turbinas de Vento ou Aerogeradores podem Atingir 90 metros de altura e custar mais de 1 milhão de euros.*

*As condições críticas do seu funcionamento, como o ambiente atmosférico com ventos fortes e relâmpagos; as vibrações; as poeiras; as grandes alturas e o difícil acesso para manutenção, tornam a ocorrência de incêndio muito provável.*

*O que será melhor, ver pacientemente um fogo destruir até à exaustão a turbina ou, ter instalado um sistema que o elimina logo na origem?*

**1. Introdução**

As turbinas de vento ou Aerogeradores estão sujeitas a condições muito adversas de funcionamento que podem levar à ocorrência frequente de incêndios.

As causas mais prováveis são:

- A existência de óleos inflamáveis, fluidos hidráulicos e elementos elétricos no mesmo compartimento;
- Curto circuitos nos equipamentos elétricos.
- Sobrecargas e Picos de tensão nos equipamentos devido a relâmpagos.

A 90 m de altura quando se dá um incêndio, não há muito a fazer senão esperar que o fogo consuma todo o material. Se considerarmos que o custo de uma turbina é de cerca de 1 milhão euro por MW e que há turbinas de 2 MW então um incêndio pode ter custos brutais!

Em Portugal, a indústria tinha em 2012 cerca de 2200 turbinas eólicas, com uma capacidade total de 4300MW (cerca de 1,3% da capacidade instalada na Europa nessa altura ) ou seja, o equivalente a mais de 3 centrais térmicas a carvão como a de Sines.



Do total da energia renovável produzida, a energia eólica ocupa a 2ª posição (com 20% do total das energias renováveis) a seguir à energia hídrica e em que a energia fotovoltaica representa apenas 1% do total. As energias renováveis são responsáveis por 65 % do consumo total de eletricidade.

Nos Estados Unidos da América, em 2012, a energia eólica atingiu o seu record até então com uma capacidade de 13100 MW (de acordo com a AWEA), enquanto no Brasil a capacidade era de cerca de 1800MW no mesmo ano.

A quantidade enorme de parques eólicos em todo o mundo, a tendência para o seu crescimento e a frequência com que os incêndios acontecem nas turbinas, levou ao aparecimento da normas como a *NFPA 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations*, que identifica os pontos

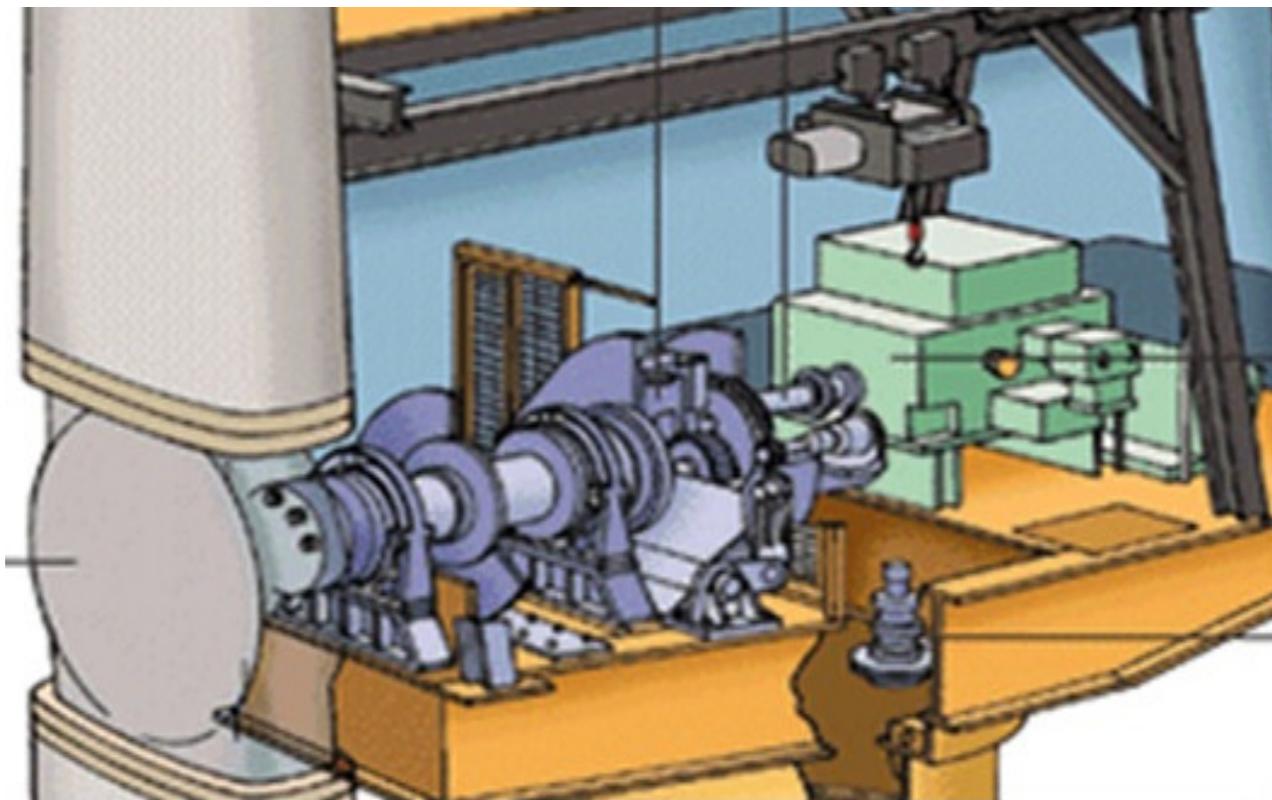
mais perigosos da turbina e as recomendações para a sua proteção.

Mas, os sistemas de proteção existentes com a sua elevada dimensão, o preço, as possibilidades de avarias e falsos alarmes devido a poeiras e picos de tensão, tornavam impraticável a aplicação da extinção de incêndios nas turbinas.

## 2. Sistema **FIRETRACE**

O sistema *FIRETRACE* fornece a solução ideal porque protege de forma individual os compartimentos, não dá falsos alarmes devido a poeiras, é insensível a picos de tensão e funciona sem alimentação elétrica.

Outra grande vantagem é o baixo custo de investimento, quando comparado com os sistemas de inundação total por gás ou por água.



O sistema *FIRETRACE* é uma solução completa para extinção de incêndios na célula superior e na base da turbina nos pontos seguintes identificados pela NFPA850:

- Armário de controlo
- Armário do conversor
- Estação hidráulica
- Transformador
- Sistema de travagem
- Armário do condensador

O *FIRETRACE* protege estes microambientes de forma individual e com baixo investimento.

Está instalado em mais de 700 aplicações em Portugal e em cerca de 100 000 em todo o mundo.



### Notas soltas:

**Unidade de controlo e sinalização:** Um componente de um sistema de deteção e de um sistema de alarme de incêndio através do qual o detetor pode ser alimentado e que:

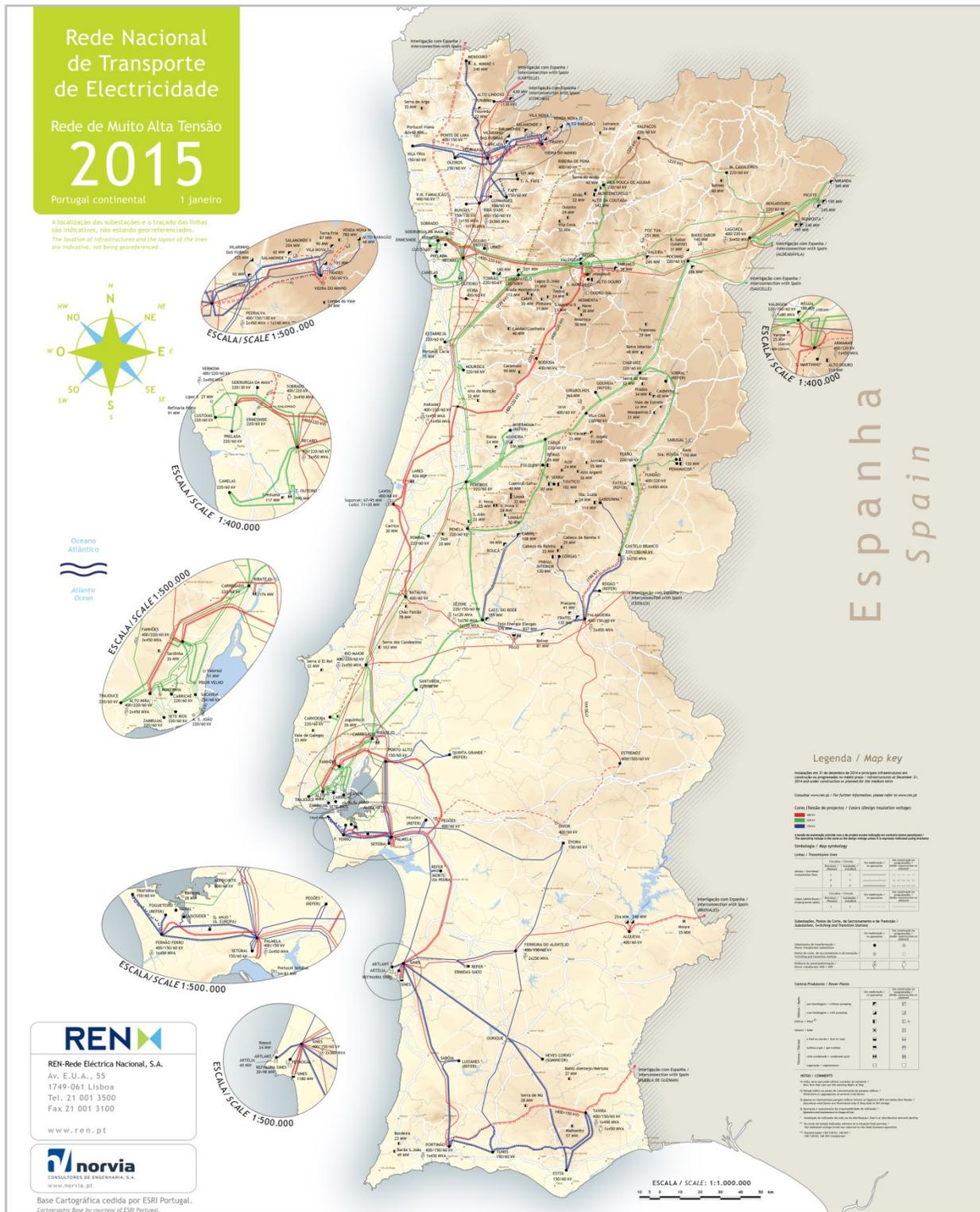
- É utilizada: Para receção de sinais de detetores à mesma ligados; para determinar quais desses sinais correspondem a uma condição de alarme de incêndio; para informar sonora e visualmente qualquer condição de alarme de incêndio; para informar a localização do perigo; para possibilitar o registo de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

**Detetor de incêndio:** 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.

# MAPA DA REDE NACIONAL DE TRANSPORTE

## LOCALIZAÇÃO DAS LINHAS, SUBESTAÇÕES E CENTROS ELECTROPRODUTORES DE POTÊNCIA SUPERIOR A 20 MVA

[HTTP://WWW.CENTRODEINFORMACAO.REN.PT/PT/INFORMACAO TECNICA/PUBLISHINGIMAGES/MAPA\\_REN-2015.JPG](http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/INFORMACAO TECNICA/PUBLISHINGIMAGES/MAPA_REN-2015.JPG)



## TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE FRIO:

### ESTUDO E ANÁLISE DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

#### 1. Introdução

Ao longo dos últimos anos tem sido crescente a preocupação com os consumos energéticos, sendo necessário intervir de forma a reduzir os consumos e assim manter a sustentabilidade do planeta.

A indústria alimentar é dos setores mais importantes, sendo os sistemas de refrigeração os seus principais consumidores de energia elétrica (EE), ocupando assim a maior parte da fatia do consumo da instalação cerca de 75% [1]. Desta forma surge o presente artigo que pretende identificar oportunidades de eficiência energética na indústria alimentar, nomeadamente, no setor das carnes. Foram estudadas duas instalações e identificadas possíveis medidas de redução dos consumos de EE.

#### 2. Sistemas de refrigeração

A refrigeração é o ato de arrefecer, trata-se da remoção de calor em que os seus princípios básicos assentam fundamentalmente nas leis da física e da termodinâmica.

Para a compreensão da refrigeração e dos seus ciclos começamos por analisar o ciclo de Carnot. Trata-se de um ciclo teórico ideal em que a máquina térmica é o mais eficiente possível entre dois níveis distintos de temperatura.

Os componentes são: o compressor, um motor e dois permutadores de calor.

Na prática este ciclo torna-se impossível de aplicar, pois é difícil efetuar a compressão até ao ponto de vapor saturado e a sua expansão. Assim, o ciclo mais amplamente utilizado nos sistemas de refrigeração é o de compressão a vapor como ilustra a Figura 1.

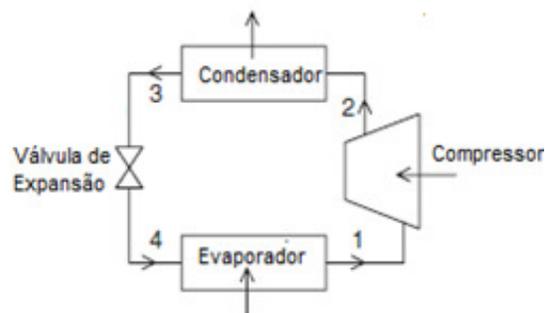


Figura 1. Diagrama do ciclo de compressão a vapor

Os processos deste ciclo são os seguintes [2]:

- (1-2): Compressão adiabática reversível. Um fluido a baixa pressão é comprimido o que leva ao aumento da sua pressão e temperatura;
- (2-3): Rejeição reversível de calor a pressão constante. Durante este processo é libertado calor;
- (3-4): Expansão irreversível a entalpia constante. O fluido refrigerante ao atravessar a válvula de expansão vê reduzida a sua pressão e temperatura;
- (4-1): Absorção reversível de calor a pressão constante. Com o fluido a baixa pressão e temperatura, o calor à sua volta é absorvido.

#### 2.1. Componentes dos Sistemas de Refrigeração

São vários os componentes mecânicos necessários num sistema de refrigeração. Os principais são:

- Compressor;
- Condensador;
- Evaporador;
- Válvula de expansão.

**Compressor:**

No ciclo de refrigeração, o compressor tem duas funções principais: uma é promover a movimentação do fluido frigorífero no evaporador, de modo que a temperatura e pressão desejada possam ser mantidas. A segunda função é aumentar a pressão do fluido através da compressão o que leva ao aumento da temperatura. Devido a este aumento de pressão o fluido refrigerante sobreaquecido flui através do sistema.

**Condensador:**

A finalidade do condensador num ciclo de compressão de vapor é fazer a permutação de calor, entre o fluido frigorífero e o fluido absorvedor, em que normalmente é o ar ou água [3]. Os tipos de condensadores utilizados na refrigeração são de três tipos: arrefecido a ar, arrefecido a água ou evaporativo. No ar condicionado utiliza-se maioritariamente condensadores arrefecidos a ar enquanto que na refrigeração são os evaporativos os mais utilizados.

**Evaporador:**

O evaporador é um permutador de calor que promove a transferência de calor entre o fluido frigorífero e o meio que se pretende arrefecer. A função do evaporador é arrefecer o ar ou o líquido, que por sua vez arrefece a carga. Os tipos de evaporador são arrefecidos a ar ou a água. Um evaporador arrefecido a ar é constituído por serpentinas com alhetas, tendo instalado um ou mais ventiladores, no arrefecido a água as serpentinas encontram-se submersas em água.

**Válvula de Expansão:**

As válvulas de expansão surgem no circuito para reduzir a pressão do fluido frigorífero e controlar a quantidade de fluido que entra no evaporador. Classificam-se de acordo com o método de controlo, as principais são: válvulas termostáticas, válvulas eletrónicas e tubos capilares.

**Outros Componentes:**

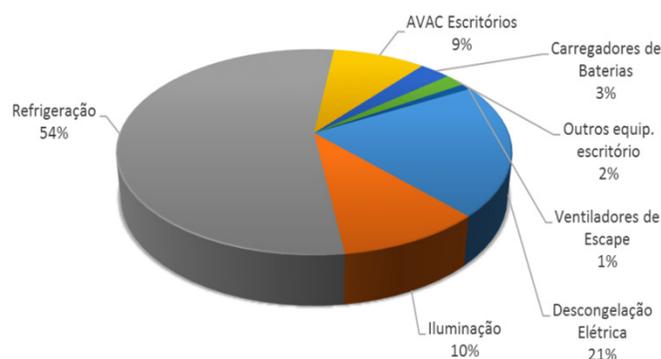
Ao longo do circuito de refrigeração existem ainda outros componentes, destacando-se os sistemas de controlo, que

permitem controlar os vários componentes do circuito e promover a comunicação entre eles de forma a dar resposta às necessidades da instalação.

**2.2. Consumos de Energia**

Relativamente aos consumos energéticos na refrigeração, na indústria alimentar, estes ocupam mais de 50%, o que globalmente é cerca de 15% a 17% do total de energia elétrica produzida [4].

Para uma melhor noção de como se distribuem os consumos nas instalações de refrigeração, nomeadamente num armazém de refrigeração, segue-se a Figura 2 que mostra o consumo de energia elétrica correspondente aos vários componentes presentes nas instalações de frio [2]. É possível verificar a grande fatia da refrigeração, 54%, que aliada à descongelação atingirá os 75% [1].



**Figura 2. Distribuição dos consumos elétricos num armazém de refrigeração**

**2.3. Medidas de Eficiência Energética**

Na área da refrigeração podem ser implementadas várias medidas ao nível da eficiência energética. Algumas destas medidas passam por: utilizar equipamentos mais eficientes, reparar os isolamentos das portas e fazer as devidas manutenções.

Com base numa pesquisa pelas várias oportunidades de eficiência energética com seus os respetivos valores percentuais da possível poupança energética, foram encontrados alguns documentos.

Para os variadores de velocidade estes valores foram obtidos a partir de: [4]; [5] e [6]. Os valores da iluminação foram através de [7] e as restantes oportunidades com base em [6]. Através dos estudos referidos e de forma a sintetizar os tipos de medidas de eficiência energética apresenta-se a Tabela 1.

**Tabela 1. Oportunidade de Eficiência Energética nos Sistemas de Refrigeração**

Oportunidade de Eficiência Energética	Poupança de Energia (%)
Variadores de Velocidade nos Motores e Ventiladores	15-40%; 34%; 7-17%
Controlo dos Ventiladores dos Condensadores	14 %
Controlo dos Ventiladores dos Evaporadores	16 %
Limpeza e Manutenção	20%
Isolamento	14 %
Proteções das portas	16 %
Iluminação LED	8%
Iluminação T5 de alta eficiência	5 %
Controlo da descongelação	30 %
Controlo de sobreaquecimento	5 %
Controlo de subarrefecimento	4%
Válvula de expansão	5%
Temperatura do produto	12%
Ajustes da temperatura da câmara	5%

### 3. Metodologia de auditoria aos sistemas de refrigeração

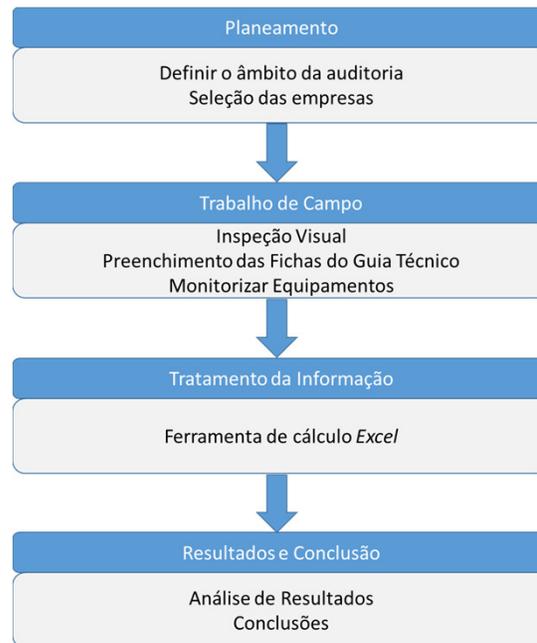
Para o desenvolvimento da metodologia de auditorias aos sistemas de refrigeração, partiu-se de métodos já existentes bem como da reflexão de ideias sobre como se prevê que as auditorias decorram e todos os passos necessários ao seu sucesso.

De uma forma geral são quatro as fases principais a ter em linha de conta.

A primeira, fase de planeamento, consiste em preparar todo o desenvolvimento das auditorias, inicia-se com a definição

do âmbito e objetivos das auditorias, serão escolhidas as instalações a serem estudadas. Concluída toda a fase de planeamento segue-se a fase crucial do trabalho, a fase campo, em que consiste fundamentalmente na deslocação à instalação e recolha de toda a informação. Com toda a informação obtida no trabalho de campo segue-se a fase de organização da informação, tratamento e o seu estudo. Por último com todos os dados obtidos e tratados é feita a sua análise e são retiradas as devidas conclusões de forma a dar resposta ao objetivo inicial da auditoria.

O diagrama da Figura 3 representa todas as fases necessárias e uma breve descrição do que compreende a cada fase.



**Figura 3. Diagrama da metodologia desenvolvida**

Para este tipo de auditorias é indispensável a utilização de algum equipamento que facilitará e auxiliará nas tarefas no momento do trabalho de campo (segunda fase da metodologia). Idealmente o equipamento necessário será:

- Medidor de distâncias laser;
- Termómetro;
- Câmara termográfica;
- Luxímetro;
- Pinça amperimétrica;

- Voltímetro;
- Analisador/monitorizador de energia;
- Câmara fotográfica;
- Caudalímetro;
- Medidor de pressão e temperatura do circuito de refrigeração.

Da informação a recolher na fase de campo destaca-se a apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2. Informação a recolher nas instalações**

Informação a recolher	Descrição
Dados genéricos sobre a empresa	Setor; Ano; Renovações; Atividades internas; Quantidade de produto (t); Faturas de Energia Elétrica.
Informação das câmaras frigoríficas	Dimensões (m <sup>3</sup> ); Equipamentos: Evaporador, Iluminação, Ventiladores; Tipo de câmara (refrigeração/congelamento).
Hábitos de utilização	Tempo de abertura das portas; Quantidade de produto nas câmaras; Temperatura do produto quando colocado.
Inspeção visual aos equipamentos	Isolamentos; Gelo; Sujidade.
Manutenções	Planos de manutenção; Técnicos responsáveis.
Monitorizar equipamentos	Condensador, Evaporador, Compressor, Sistema total de frio.

Para implementar a metodologia desenvolvida é assim necessário começar por identificar o âmbito e o objetivo das auditorias. Para o presente trabalho o âmbito foi identificar oportunidades de eficiência energética nos sistemas de refrigeração.

Começa-se por selecionar as empresas a serem alvo deste estudo, após esta seleção fez-se um primeiro contacto no sentido de explicar o objetivo deste estudo. De seguida segue-se a visita à instalação, aqui destaca-se a utilização de todo o material anteriormente referido bem como registar toda a informação. Por último com toda a informação faz-se uma análise técnica da instalação e são obtidas as melhorias de eficiência energética passíveis de implementar.

#### 4. Casos de estudo

São apresentados dois casos de estudo de duas instalações do mesmo setor, em que são mostrados os principais resultados obtidos das auditorias e as respetivas propostas de melhoria.

##### 4.1. Instalação (A)

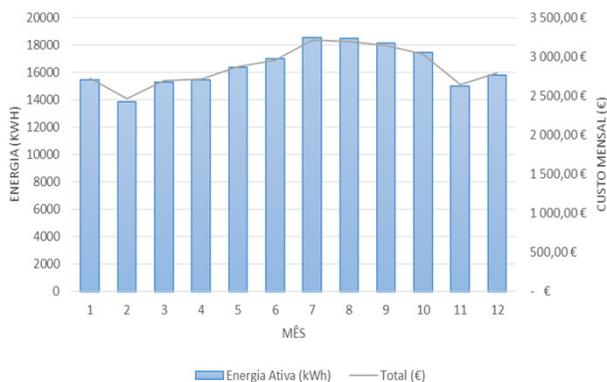
Esta primeira instalação insere-se no setor de abate de gado, onde é feito o seu armazenamento e sua comercialização.

Ao nível de câmaras de refrigeração possui nove câmaras sendo uma delas de congelação. O ciclo termodinâmico é o de compressão a vapor. Sabe-se que ao longo dos anos a instalação sofreu várias melhorias e viu o seu número de câmaras aumentar. A data de construção das câmaras bem como do seu equipamento é do início dos anos 90. Mais tarde foram feitas melhorias, no ano 2000 e mais recentemente em 2005. Esta instalação tem a sua alimentação em baixa tensão especial (BTE). Os equipamentos de frio instalados datam sensivelmente do ano de 2000 e 2005.

##### 4.1.1 Resultados

A área total a refrigerar é de cerca de 1600 m<sup>3</sup>. As temperaturas das câmaras de refrigeração são de 0 a 2 °C e a da congelação é da ordem dos -18 °C. A potência instalada referente aos compressores é de 46 kW, sendo que a potência total instalada acrescentando os compressores, os motores dos ventiladores e a iluminação perfaz um total de 53,8 kW.

Relativamente à fatura energética a instalação apresenta um custo total anual de EE de 34 441,18 € e um consumo anual de energia de 196 705 kWh (Figura 4).



**Figura 4. Evolução dos consumos e custo ao longo de um ano na instalação (A)**

Do gráfico da figura 4 conclui-se que os meses de maior consumo são os meses de verão, já os de menor consumo são novembro e fevereiro, o mês de dezembro apresenta um valor relativamente elevado comparativamente a novembro, este facto deve-se à época festiva natalícia e de ano novo.

Além da energia ativa esta instalação apresenta valores significativos de energia reativa, o valor total anual de reativa foi de 31 359 kVarh e o respetivo custo de 714,66 €. Dada a quantidade de motores e de iluminação fluorescente é notório o valor elevado da energia reativa.

Após recolhida a informação durante a auditoria, fez-se o seu tratamento e obteve-se a Tabela 3, que apresenta os dados gerais da instalação. Partindo dos valores da Tabela 3 foram calculados os valores dos indicadores que se apresentam na Tabela 4.

Os indicadores da instalação tem utilidade quando comparados com outros valores de instalações semelhantes, assim é possível perceber onde se encontram os maiores desvios e desenvolver uma base de dados.

**Tabela 3. Dados gerais da instalação**

Descrição	Valor
Consumo Total Anual de EE	196 705 kWh
Quantidade de Produto Anual	3120 t
Volume Total das Câmaras	1 605,02 m <sup>3</sup>
Potência Total dos Compressores	45,93 kW
Potência Instalada de Frio	53,76 kW
Custo Anual EE	34 441,18 €

**Tabela 4. Indicadores da instalação**

Indicador	Valor
Consumo Especifico de EE	63,05 kWh/t
Consumo de EE por Volume das Câmaras	122,56 kWh/m <sup>3</sup>
Quantidade de Produto por Volume	1943,90 kg/m <sup>3</sup>
Potência Instalada por volume	33,49 W/m <sup>3</sup>
Potência dos compressores por volume	28,62 W/m <sup>3</sup>
Custo de EE por Tonelada	11,04 €/t
Custo médio anual do kWh	0,1751 €/kWh

Da inspeção visual e com auxílio da câmara termográfica verificaram-se alguns pontos no interior das câmaras com possíveis perdas, nomeadamente nos isolamentos das portas e nos carris de entrada das carcaças para as câmaras. Relativamente à presença de gelo verificou-se um bloco de gelo assente no evaporador localizado na câmara de congelação. A iluminação no interior das câmaras é feita automaticamente e o tipo de lâmpadas utilizadas são fluorescentes do tipo T5 de 49W com balastros ferromagnéticos. No exterior, ao nível dos compressores estes apresentavam alguma ferrugem, os isolamentos encontravam-se degradados e reparou-se ainda numa fuga de óleo num dos compressores. Uma das unidades de refrigeração do exterior encontrava-se com a ventilação obstruída por parte de um muro, o que se encontrava assim a funcionar em esforço.

Relativamente aos hábitos de utilização, os funcionários da instalação não têm grandes cuidados com as portas de cais, mantendo as abertas por períodos prolongados em momentos sem necessidade. Os motores dos ventiladores não possuem qualquer tipo de controlo de velocidade, estando apenas ligado ou desligado. Um aspeto positivo foi a existência de cortinas de lamelas na câmara de congelação.

#### 4.1.2 Soluções Sugeridas

Com base nos resultados e sua análise, reparou-se que a instalação pode ser alvo de várias melhorias. Das várias melhorias a fazer sugerem-se as seguintes:

- Isolamentos nas tubagens que ligam os compressores aos evaporadores;
- Manutenções;
- Variadores de velocidade;
- Substituição de balastros ferromagnéticos por eletrónicos;
- Corrigir o fator de potência;
- Melhorar os hábitos na gestão da abertura das portas de cais;
- Alterar a localização da unidade de refrigeração;
- Estudar a possibilidade de instalar uma central de frio;
- Estudar a possibilidade de substituição da iluminação fluorescente por LED.

Destas soluções, algumas apresentam custos relativamente baixos com melhorias significativas, tais como fazer uma revisão dos isolamentos e manutenções ao nível dos vários equipamentos, como compressores e evaporadores. Controlar melhor o tempo em que as portas de cais se encontram abertas também será uma medida interessante na medida em que diminui as variações de temperatura o que, reduzirá o número de arranques do sistema de refrigeração.

#### 4.2. Instalação (B)

À semelhança da instalação (A) esta insere-se no mesmo setor, já ao nível das suas funções para além da comercialização e armazenamento, esta instalação efetua

abate de gado, tendo assim uma área dedicada ao matadouro. A alimentação é feita em Média Tensão (MT) havendo um transformador de 630 kVA. O sistema de refrigeração é centralizado, composto por dois compressores com controlo de carga. O ciclo termodinâmico é o de compressão a vapor, tendo como fluido refrigerante o amoníaco.

#### 4.2.1 Resultados

A instalação possui 18 câmaras, sendo as mais pequenas com volume na ordem dos 37 m<sup>3</sup> e as maiores de 250 m<sup>3</sup>, o somatório do volume de cada câmara perfaz um total de 2460 m<sup>3</sup>. Tratam-se todas de câmaras de refrigeração sendo o seu valor de temperatura interior compreendido entre 0 a 2 °C. Relativamente aos componentes consumidores de EE no interior das câmaras, os ventiladores dos evaporadores têm uma potência de 370 W e a iluminação é do tipo T5 de 49 W, utilizando balastros ferromagnéticos.

A potência instalada dos principais equipamentos da instalação de frio apresenta-se distribuída por componente e com a sua respetiva potência total como pode ser verificado na Tabela 5.

**Tabela 5. Potência de frio instalada**

Equipamento	Potência (kW)
Compressores	90
Ventiladores	15,17
Torre de refrigeração	8,25
Iluminação	3,97
Total	117,40

O consumo total de EE anual é de 747 081 kWh e o respetivo custo total de 85 355,11 €. Tal como na instalação (A) o perfil de consumo segue a mesma tendência, verificando-se os meses de maior consumo no verão e o de menor fevereiro e novembro, como ilustra a Figura 5.

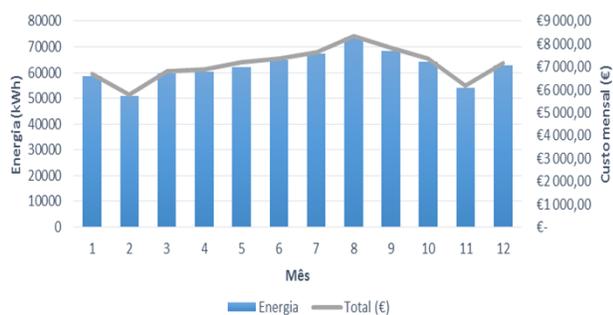


Figura 5. Evolução dos consumos e custo ao longo de um ano na instalação (B)

A relação entre o consumo de EE e quantidade de produto em toneladas que passa pelas instalações, representa-se no gráfico da Figura 6.

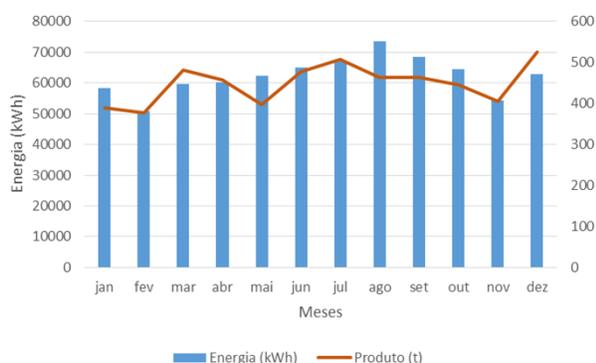


Figura 6. Relação entre o consumo de EE e quantidade de produto em toneladas

Daqui observa-se, de modo geral, uma evolução coincidente dos consumos com a quantidade de produto, com exceção do mês de agosto e dezembro em que esta tendência não se verifica, como são os meses de extremos ou seja o mais quente e mais frio conclui-se o que a temperatura exterior tem uma maior influência nos consumos do que a quantidade de produto, neste caso a carne e derivados, presentes no interior das câmaras.

Com os dados recolhidos é possível obter indicadores acerca das instalações. A Tabela 6 resume os valores totais para cálculo dos indicadores apresentados na Tabela 7.

Tabela 6. Dados gerais da instalação

Descrição	Valor
Consumo Total Anual de EE	747 081 kWh
Quantidade de Produto Anual	5394,80 t
Volume Total das Câmaras	2 460,33 m <sup>3</sup>
Potência Total dos Compressores	90 kW
Potência Total de Frio	117,40 kW
Custo Anual EE	85 355,11 €

Tabela 7. Indicadores da instalação

Indicador	Valor
Consumo Especifico de EE	138,5 kWh/t
Consumo de EE por Volume das Câmaras	303,7 kWh/m <sup>3</sup>
Quantidade de Produto por Volume	2193 kg/m <sup>3</sup>
Potência Instalada por volume	47,7 W/m <sup>3</sup>
Potência dos compressores por volume	36,6 W/m <sup>3</sup>
Custo de EE por Tonelada	15,82 €
Custo médio anual do kWh	0,1143 €/kWh

Ao nível dos isolamentos, verificou-se a existência de gelo em torno das tubagens. A empresa apresenta preocupações e grandes exigências ao nível de uma boa gestão da abertura e fecho de portas, tanto das câmaras como as portas de cais.

Um problema verificado foi com a descongelação, que não está implementada de forma automática. As câmaras de refrigeração não possuíam isolamentos secundários.

#### 4.2.2 Soluções Sugeridas

Apresentam-se as melhorias propostas para a instalação (B): Isolamentos;

- Manutenções;
- Variadores de velocidade;
- Substituição de balastros ferromagnéticos por eletrónicos;

- Estudar a possibilidade de substituição da iluminação fluorescente por LED;
- Automatizar a descongelação;
- Atualizar o sistema de gestão da refrigeração para um mais atual.

Como observado na instalação (A) aqui a questão dos isolamentos e manutenções também seria uma possível medida de melhoria. A instalação de variadores de velocidade também passa por ser uma medida interessante, no sentido que permitirá ajustar a velocidade dos ventiladores conforme as suas necessidades, ao invés de se encontrar ligado, à velocidade máxima, ou desligado.

## 5. Conclusões

Partindo do histórico dos consumos de EE ao longo de um ano e da quantidade de produto da instalação (B), verificaram-se que as condições ambientais, nomeadamente a temperatura externa, tem um maior impacto nos consumos do que a quantidade de produto que passa pelo interior das instalações. Dos indicadores para cada instalação são notórias as diferenças ao nível dos consumos específicos, verificando-se assim que a instalação (B) tem valores superiores ao da (A), pois deve-se o facto dos processos internos serem de certa forma distintos, pois a instalação (B) faz abate de gado. O custo médio do kWh é inferior na instalação (B) onde aqui entram valores de tarifário relativos à MT, já na instalação (A) o custo é superior pois é alimentada em BTE.

Das medidas sugeridas destaca-se uma melhoria na gestão comportamental, sendo esta uma medida de custo nulo ou reduzido que poderá ter grande influência nos consumos, pois a abertura e fecho de portas permite infiltrações de ar a temperaturas superiores que conduzem à necessidade de maior consumo de energia do sistema de refrigeração para manter a temperatura da câmara.

De uma forma geral e com base nestas duas instalações conclui-se que a área a refrigeração tem bastante margem de aumento de eficiência energética.

Para finalizar, este trabalho apresenta assim uma metodologia de auditorias orientada para os sistemas de refrigeração, o que poderá servir como base para eventuais trabalhos futuros.

## Referências

- [1] Alexander, B. Lekov, Thompson Lisa, T. McKane Aimee, Alexandra Rockoff, and Piette Mary Ann. Opportunities for Energy Efficiency and Automated Demand Response in Industrial Refrigerated Warehouses in California, 2009.
- [2] Dinçer, I., and M. Kanoglu. 2010. Refrigeration Systems and Applications. Wiley, 2ª ed., 2010
- [3] Hundy, G. F. , A. R. Trott , and T.C. Welch. 2008. Refrigeration and Air Conditioning. BH, 4ª ed., 2010.
- [4] Mulobe, N. J., and Z. Huan. 2012. Energy efficient technologies and energy saving potential for cold rooms. Paper read at Industrial and Commercial Use of Energy Conference (ICUE), 2012 Proceedings of the 9th, 15-16 Aug. 2012.
- [5] Mulobe, N.J. Huan, Z. "Optimal Energy Saved Using Variable Air Ventilation for Cold Rooms." IEEE, 2014
- [6] Evans, J. A., E. C. Hammond, A. J. Gigiel, A. M. Fostera, L. Reinholdt, K. Fikiin, and C. Zilio. 2014. "Assessment of methods to reduce the energy consumption of food cold stores." Applied Thermal Engineering, vol. 62, pp. 697-705, 2014.
- [7] Trust, Carbon. Refrigeration Systems - Guide to key energy saving opportunities, 2011

---

## Notas soltas:

### Portaria n.º 252/2015, de 19 de agosto

Procede à alteração da Portaria n.º 949-A/2006, de 11 de setembro, que aprovou as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT), nos termos previstos no artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 226/2005, de 28 de dezembro, por aditamento da secção 722 – Alimentação de veículos elétricos, à parte 7 das RTIEBT - Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

## REDUÇÃO DE CONSUMOS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

### 1. Introdução

A iluminação pública (IP) é um serviço essencial para o bem-estar das populações. Quer seja em espaço urbano ou rural ela desempenha papéis fulcrais em áreas como a segurança rodoviária, a segurança pessoal dos cidadãos ou mesmo o embelezamento de espaços.

Em Portugal, a Iluminação Pública é responsável por 3% do consumo energético. A tendência desta parcela é para aumentar (cerca de 4 a 5% por ano), o que representa custos muito elevados para os Municípios [1]. Portanto, torna-se fundamental definir um conjunto de medidas direccionadas para o aumento da eficiência energética no parque de IP, sem que isso afete a qualidade de vida nos espaços públicos.

Esta iniciativa terá um dos seus pilares na aplicação de tecnologias mais eficientes em detrimento de tecnologia corrente, permitindo assim reduzir o consumo de energia elétrica, mantendo o mesmo nível de serviço.

Algumas intervenções demonstram que a Eficiência Energética ao nível da IP são já uma realidade:

- Instalação de reguladores do fluxo luminoso;
- Substituição de luminárias e balastos ineficientes ou obsoletos;
- Substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por fontes de luz mais eficientes;
- Instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da IP;
- Substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões por tecnologia LED;

Para garantir ganhos de eficiência energética ao nível da IP será futuramente criado um Regulamento que permitirá uma análise, controlo e monitorização rigorosa deste tipo de sistemas, contribuindo assim para uma melhoria da sustentabilidade económica e ambiental dos municípios [1].

### 2. Consumo de energia

O consumo de energia elétrica esta intimamente relacionado com o aumento de qualidade de vida das populações. Podem-se tirar algumas conclusões deste aumento de consumo, nomeadamente o maior poder de compra e a maior disponibilidade de bens de consumo, como eletrodomésticos ou equipamentos audiovisuais, ou até mesmo o crescimento económico do País. Pode-se afirmar então que o aumento no consumo de energia na iluminação de vias públicas é diretamente proporcional ao consumo total de energia visto que resulta de uma maior preocupação com a segurança das populações, do aumento das áreas comerciais, de lazer e da melhoria das vias rodoviárias. Na Figura 1 apresenta-se um gráfico com o andamento comparativo destes dois consumos.

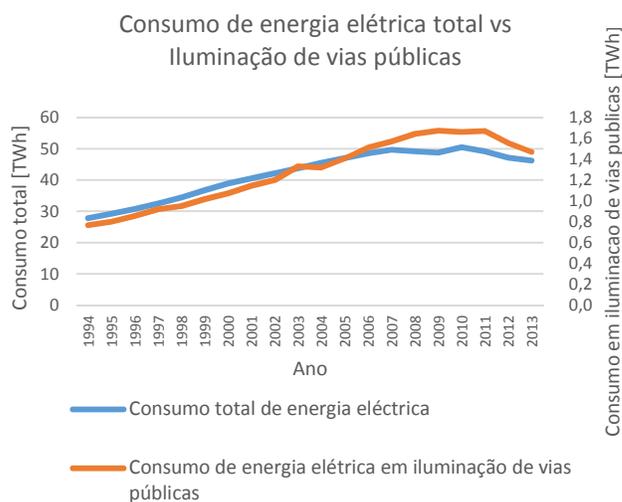
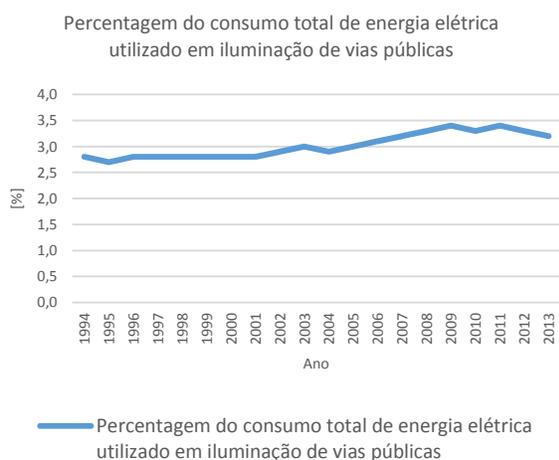


Figura 1. Histórico do consumo total de energia elétrica vs iluminação de vias públicas [2]

Pode-se observar que em 2005 o consumo total de energia sofre uma estagnação acabando depois por descer ligeiramente até ao ano de 2013. Pelo contrário, a iluminação de vias públicas sofre um aumento a partir desse mesmo ano, até ao ano de 2011, existindo depois um decréscimo até 2013.

A estas constatações podem aliar-se diversas causas. No caso da diminuição do consumo total de energia elétrica devem identificar-se alguns fatores essenciais: o aparecimento de uma crise financeira e consequente contração económica que leva a um esforço na redução de gastos, aliando-se também uma crescente consciencialização para a disponibilidade de equipamentos com melhores níveis de eficiência, permitindo manter os níveis de conforto mas obtendo uma redução do consumo com consequências positivas ambiental e financeiramente. O aumento do preço da energia será também um fator essencial na medida em que para manter os custos associados ao consumo de energia passou a ser necessária uma diminuição do seu consumo. A iluminação pública como é visível no gráfico da Figura 2 segue a mesma tendência dos outros setores, forçando os municípios juntamente com a EDP a fazer ajustes com vista a reduzir o consumo.



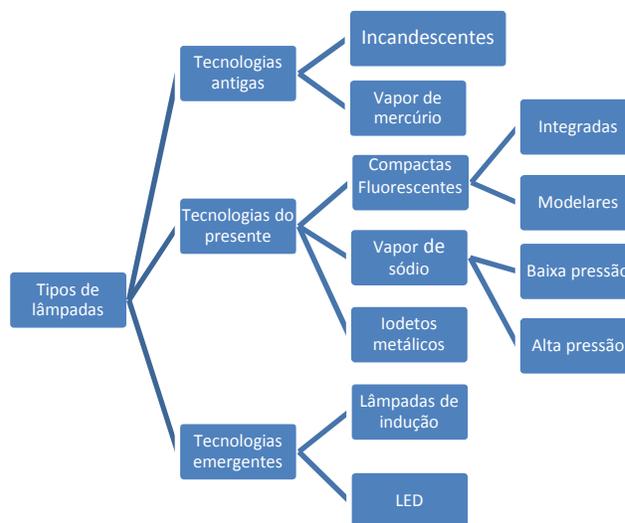
**Figura 2. Percentagem do consumo total de energia elétrica utilizado em iluminação de vias públicas [2]**

### 3. Tecnologias utilizadas na iluminação pública

Os tipos de lâmpadas usados atualmente são numerosos e podem ser usados para diversos tipos de aplicação. No entanto cada tipo de lâmpadas possui características diferentes que devem ser tidas em conta para a sua escolha. As principais características luminotécnicas de uma lâmpada são:

- Rendimento luminoso;
- Temperatura de cor;
- Índice de restituição de cor;
- Luminância;
- Duração de vida média.

Na Figura 3 pode observar-se os tipos de lâmpadas utilizados em iluminação pública.



**Figura 3. Tipos de lâmpadas**

### 4. Estudo de um caso prático

Numa primeira fase irá fazer-se uma análise da situação existente numa rua de uma cidade da zona metropolitana do Porto. Seguidamente irão aplicar-se medidas que visem a redução dos consumos de energia, nomeadamente através da aplicação de tecnologia capaz de efetuar a regulação de fluxo e uma outra medida será a de propor a substituição das luminárias existentes por luminárias LED. Por fim de modo a verificar o proveito económico da aplicação das luminárias LED, foi a realizada uma análise económica.

#### a) Caracterização do local

O local de estudo é uma rua situada numa cidade da Zona Metropolitana do Porto. Para o estudo luminotécnico do local foi necessário recolher os dados relativos ao perfil da via e material existente, de modo a que fosse possível calcular os parâmetros luminotécnicos existentes, isto é, a situação atual.

A rua em questão apresenta duas faixas de rodagem, em sentidos opostos e tem um comprimento total de 180 metros. A largura da faixa de rodagem é de 5,5 metros, enquanto que os passeios apresentam uma largura de 0,75 metros cada um. Na Figura 4 pode-se observar o aspeto da rua.

A iluminação desta rua é composta por 17 luminárias, colocadas em poste de betão armado de forma quadrada com uma altura de 9 metros e com a luminária instalada em braço como se pode ver na Figura 5. As lâmpadas que atualmente se encontram em funcionamento são de vapor de sódio de alta pressão com uma potência de 250 W. A potência instalada tem o valor de  $17 \times 250 \text{ W}$  e este circuito de IP funciona cerca de 4288,75 horas por ano. Deste cenário descrito anteriormente resulta um consumo anual de 25603,55 kWh. Esta seria a situação ideal visto que assim este circuito de IP estaria a funcionar na sua plenitude, mas a situação atual é um pouco diferente devido aos cortes que a iluminação pública tem sofrido no sentido de obter uma maior poupança na fatura energética.

A situação atual conta apenas com 11 luminárias ligadas das 17 existentes, passando assim para uma potência de  $11 \times 250 \text{ W}$ .

O consumo anual, como era espectável diminui para os 16567 kWh. De seguida vão ser sugeridas duas alternativas para este cenário de forma a se obter uma poupança na fatura energética.



Figura 5. Tipo de poste existente



Figura 4. Local do estudo

## b) Soluções Propostas

### - Regulação de fluxo

Nesta primeira medida pretende-se instalar um regulador de fluxo e verificar qual a poupança que se pode obter. O regulador de fluxo escolhido para além de regular o fluxo este aparelho também tem a capacidade de estabilizar a tensão. A estabilização da tensão tem um papel muito importante na poupança de energia visto que na iluminação pública, as variações na tensão podem ultrapassar os 10%, o que faz com que o consumo seja cerca de 21% superior. Visto que o regulador de fluxo faz a regulação através da tensão, cada lâmpada tem um limite mínimo tensão para funcionar. Neste caso o limite mínimo de tensão para as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, especificado por este fabricante, é de 180 V. A IP funciona através de um relógio astronómico, ou seja segue um horário pré-definido. Na Tabela 1 pode-se ver esse horário juntamente com mais alguns pormenores necessários para o cálculo que vai ser efetuado. De seguida na Tabela 2 temos também as horas de funcionamento da IP.

**Tabela 1. Horário do relógio astronómico**

Relógio astronómico	Horas/dia	Período	Dias
Horário de verão	21h - 6:30h	9,5	6 Meses
Horário de inverno	18h - 8h	14	6 Meses

**Tabela 2. Horas de funcionamento da IP**

Horas de funcionamento da IP	Total
Horário de verão	1733,75
Horário de inverno	2555
	4288,75

**Tabela 3. Horários de funcionamento do regulador de fluxo**

Horário de funcionamento a potência nominal	Horas/dia a potência nominal		Horas/ano a potência nominal
21:30h – 1:00h	Horário de verão	4	730
18:00h – 00:00h	Horário de inverno	6	1095
	Total		1825
Horário de funcionamento a potência reduzida	Horas/dia a potência reduzida		Horas/ano a potência reduzida
1:00h – 6:30h	Horário de verão	5,5	1003,75
00:00h – 8:00h	Horário de inverno	8	1460
	Total		2463,75

O regulador de fluxo estabelece dois períodos de funcionamento, o período em que a IP funciona a potência nominal e o período em que a IP funciona a potência reduzida. Esse horário foi definido e pode ser visível na Tabela 3.

Na Tabela 4 pode-se observar o funcionamento do regulador de fluxo. Por fim, já com todos os detalhes definidos passamos ao cálculo final exposto na Tabela 5.

**Tabela 4. Funcionamento do regulador de fluxo**

Funcionamento do regulador de fluxo			
Estabilizando a tensão nos 220V	Poupança de 24%	19458,69	kWh
Regulando a tensão para 180 V	Poupança de 14%	16734,48	kWh
Consumo obtido com a regulação	16734,48		kWh

**Tabela 5. Poupança obtida**

Situação atual				
Luminárias	Consumo		Custo de exploração	
11 Ligadas	16567	kWh/ano	1928,69	€
Situação normal				
17 Ligadas	25603,55	kWh/ano	2980,69	€
Com regulação de fluxo				
17 Ligadas	16734,48	kWh/ano	1948,18	€
Poupança anual	8869,07	kWh	1032,51	€
Poupança mensal	739,09	kWh	86,04	€
Poupança por dia	24,30	kWh	2,83	€

Analisando a Tabela 5 e tendo em conta os cortes na iluminação já referidos anteriormente, a situação atual expõe um consumo anual de 16567 kWh, com um custo de exploração associado de 1928,69 €. Fazendo a religação das luminárias que se encontram desligadas e aplicando a regulação de fluxo de modo a não diminuir a qualidade de iluminação, consegue-se obter um custo de exploração próximo do atual. Esse objetivo foi alcançado visto que recorrendo à regulação de fluxo das 17 luminárias, obteve-se um consumo anual de 16734,48 kWh com um custo de exploração de 1948,18 €. Com as 17 luminárias a funcionar sem qualquer tipo de regulação obtém-se um consumo anual de 25603,55 kWh, com um custo de exploração associado de 2980,69 €. Comparando estes dois últimos cenários, com as 17 luminárias reguladas e sem regulação, obtém-se uma poupança no custo de exploração de 1032,51 €. Conclui-se que esta solução é bastante viável, não só pelo seu custo mas também no que toca à sua instalação.

#### - Solução LED

Outra das soluções sugeridas passa por substituir as 17 luminárias existentes por luminárias LED. Para isso foi necessário selecionar um fabricante e juntamente com o mesmo procurar uma solução adequada para fazer a substituição das luminárias. O fabricante escolhido foi a SONERES. Depois de fornecidos à empresa os detalhes necessários para escolha da luminária, a mesma indicou que a luminária mais adequada a este cenário seria a LUSA N/E x36, visível na Figura 6.



Figura 6. Luminária LUSA N/E x36

Na tabela 6 encontra-se o resumo do estudo económico desta solução.

Tabela 6. Poupança com luminárias LED

Situação atual				
Luminárias	Consumo		Custo de exploração	
11 Ligadas	16567	kWh/ano	1928,69	€
Situação normal				
17 Ligadas	25603,55	kWh/ano	2980,69	€
Com luminárias LED				
17 Ligadas	6627,41	kWh/ano	771,54	€

Ao analisar-se a Tabela 6 pode-se concluir que as luminárias LED vão ter um grande impacto ao nível do consumo/custo de exploração.

Com o circuito de IP a funcionar normalmente, ou seja com os 25603,55 kWh de consumo anual, ao passar para luminárias LED esse consumo anual/custo de exploração decai para cerca de quatro vezes menos. Mesmo com os cortes que este circuito sofreu, estando só onze luminárias ativas, ao passar para as dezassete luminárias LED ainda se obtém uma descensão no consumo anual/custo de exploração próxima de três vezes menos.

## 5. Análise económica

#### - Solução LED

Para análise económica desta solução, foi considerado um tempo de vida útil da placa de LED superior a 60.000 horas de funcionamento, logo há que prever a substituição destas de 15 em 15 anos. O investimento inicial será de aproximadamente 473,01 € por armadura.

A Tabela 7 mostra os valores utilizados para o estudo, apresentando uma utilização anual de 4288,75 horas.

Tabela 7. Consumos energéticos anuais

Nº de horas de funcionamento num ano (h)	4288,75
Potência Instalada (W)	17 x 250W
Tarifa energética (€/kWh)	Ciclo Bi-horário
Consumos Energéticos Anuais (kWh)	25603,55
Custos Energéticos anuais (€)	2980,69
Redução dos custos Energéticos anuais (€)	2209,15
Taxa de atualização (%)	5
Tempo de vida da instalação (anos)	15

Ao analisar-se a Tabela 8 pode-se concluir que o investimento em luminárias LED é economicamente viável. Tem um *payback* relativamente reduzido, ou seja os capitais investidos são recuperados num curto período de tempo. Num tempo de vida útil de 15 anos para este projeto existe um VAL de 16 132,54 €, o que significa que o investimento pagou-se a si mesmo e ainda gerou uma receita de aproximadamente o dobro do valor inicial. A TIR deste projeto é também bastante favorável visto que supera em 18% a taxa de atualização.

Tabela 8. Indicadores económicos

VAL	TIR	Payback
16 132,54 €	23%	4,85 Anos

#### - Regulação de fluxo

O investimento inicial para a montagem do regulador de fluxo será de aproximadamente 7000 €. A Tabela 9 mostra os valores utilizados para o estudo, apresentando uma utilização anual de 4288,75 horas.

Tabela 9. Consumos energéticos anuais

Nº de horas de funcionamento num ano (h)	4288,75
Potência Instalada (W)	17 x 250W
Tarifa energética (€/kWh)	Ciclo Bi-horário
Consumos Energéticos Anuais (kWh)	25603,55
Custos Energéticos anuais (€)	2980,69
Redução dos custos Energéticos anuais (€)	1032,51
Taxa de atualização (%)	5
Tempo de vida da instalação (anos)	15

Ao analisar-se Tabela 10 pode-se concluir que o investimento na regulação de fluxo é também economicamente viável. Os seus indicadores económicos não são tão favoráveis comparativamente ao investimento em luminárias LED, mas como vantagem tem um investimento inicial menor. O *payback* é bastante mais extenso, visto que a poupança também é bastante menor. A TIR mantém-se acima da taxa de atualização, o que juntamente com os outros indicadores torna este investimento viável.

Tabela 10 – Indicadores económicos

VAL	TIR	Payback
6 472,36 €	10%	9,64 Anos

## 6. CONCLUSÃO

Ao analisar-se as três situações que foram anteriormente apresentadas, pode-se concluir que do ponto de vista técnico-económico tanto a regulação de fluxo, como as luminárias LED são soluções viáveis. Ao adotar-se a substituição das luminárias existentes por luminárias LED, o consumo/custo de exploração vai baixar bastante. Como desvantagem vai requerer um investimento maior, algo que hoje em dia poderá ser um pouco mais difícil para as autarquias. A regulação de fluxo irá trazer também uma poupança bastante significativa, e como vantagem um investimento menor. Além do investimento ser menor, a regulação de fluxo permite poupar sem prejudicar a qualidade da iluminação. A terceira alternativa que passa por desligar alternadamente algumas luminárias encontra-se atualmente em vigor. Do ponto de vista económico esta solução é vantajosa, mas do ponto de vista técnico não, porque prejudica a qualidade de iluminação. Com a regulação de fluxo consegue-se uma poupança praticamente igual sem que haja essa diminuição na qualidade da iluminação.

## Referências

- [1] ADENE - Agência para a energia. Disponível em <http://www.adene.pt/iluminacao-publica>. Visitado em 02/05/2015.
- [2] PORDATA. Disponível em <http://www.pordata.pt/Home>. Visitado em 04/05/2015.

## SMART PANEL:

### MEDIÇÃO, CONTROLO E MONITORIZAÇÃO NUM CLIQUE

#### Resumo

*Na sociedade atual, a preocupação com o ambiente, por um lado, e com o conforto e a segurança, por outro, faz com que a sustentabilidade energética se assuma como uma forma de intervenção adequada às exigências de qualidade de vida e à eficiência no âmbito da economia. Nesta conformidade, é incontornável a mais-valia do Smart Panel, um quadro elétrico inteligente criado pela Schneider-Electric com vista à consecução daqueles desideratos.*

*Iremos abordar, neste artigo, a gama de produtos que perfazem esta tecnologia, fazendo uma breve descrição de cada um deles, expondo de seguida um exemplo de aplicação desta tecnologia. Numa fase posterior apresentaremos as vantagens do Smart Panel face à tecnologia tradicional (até hoje a mais comum) no que respeita ao controlo de um quadro elétrico, Sistema de Gestão Técnica Centralizada.*

#### I. Smart Panel

*Smart Panel*, um novo conceito de quadro elétrico desenvolvido pela Schneider-Electric, visa a otimização da sua funcionalidade na gestão dinâmica e pragmática das instalações elétricas, nomeadamente no que respeita ao controlo, monitorização e atuação sobre os dispositivos, quer in loco quer, sobretudo, à distância através de protocolos de comunicação. É passível de ser aplicada a qualquer tipo de edifício, seja ele de habitação, comércio, serviços ou indústria. Dado o potencial desta tecnologia e das funções que os seus componentes incorporam, é mais usual a instalação do *Smart Panel* em edifícios destinados a atividades industriais e comerciais, uma vez que estes contêm espaços de grandes dimensões, máquinas em permanente laboração, grandes sistemas de climatização e de iluminação. O elevado consumo de energia associado a estas situações impõe a necessidade de monitorização e

controlo constantes. O objetivo é, portanto, a consecução de maior eficiência no consumo energético.

Para a introdução desta tecnologia numa instalação, há que perceber se já existe um quadro elétrico (QE) dado que é possível a aplicação desta tecnologia em QE's tradicionais, permitindo-lhes melhorar exponencialmente a sua "performance", ou se se pretende projetar um novo, de raiz, uma vez que são usados diferentes componentes para cada tipo de situação, em função dos objetivos a que se destinam. Para tanto, devem ser entendidos os requisitos do cliente, e ter em consideração o usufruto pretendido para esta tecnologia: o cliente pode querer acompanhar o estado da instalação, obter os consumos dos diversos equipamentos, atuar sobre os dispositivos de proteção, controlar a iluminação, fazer a gestão de alarmes. Todas estas ações podem ser efetuadas quer no local da instalação quer remotamente, de acordo com a conveniência do utilizador, através de diferentes dispositivos (*tablets, smartphones*).

A figura 1 mostra o aspeto geral de um *Smart Panel*.



Figura 1. Aspeto geral de um *Smart Panel*

Os componentes que perfazem a tecnologia *Smart Panel* abrangem duas gamas de dispositivos, a seguir descritas: Gama *Enerlin'X* e *Acti9*.

## II. Gama Enerlin'X

A gama *Enerlin'X* está associada aos dispositivos de potência (disjuntores de entrada) bem como à comunicação entre estes e o responsável pela gestão da instalação que pode ser o próprio cliente ou um encarregado pela manutenção.

Os diversos componentes que, quando devidamente configurados e interligados permitem o controlo da instalação e a troca de informação, são: módulo Interface *Modbus* (IFM), módulo Interface Ethernet (IFE), módulo E/S, ecrã FDM 128, ecrã FDM 121, *Data Logger Com'x 200*.

### a) Módulo Interface *Modbus*

O IFM tem como função atribuir o endereço *Internet Protocol* (IP), através de dois seletores, ao disjuntor de baixa tensão (*Masterpact*, *Compact NSX*) a ele conetado e interligá-lo a uma rede *modbus*.

Este dispositivo é composto por 2 portas *Universal Logic Plug* (ULP), (protocolo de comunicação da Schneider-Electric usado para conetar o disjuntor ao IFM) e por uma porta *modbus*.

A figura 2 mostra o dispositivo em questão.



Figura 2. Módulo Interface *Modbus*

### b) Módulo Interface Ethernet (IFE)

Este dispositivo tem como função ligar disjuntores de baixa tensão (*Masterpact*, *Compact NSX*) a uma rede *ethernet*.

O componente IFE existe em dois modelos: IFE para permitir a ligação do disjuntor à rede *ethernet*; *IFE+Gateway* que contém páginas integradas web de configuração, monitorização e controlo. Ambos os componentes incluem duas portas ULP, duas portas *ethernet* e são alimentados por uma tensão de 24V corrente contínua.

Através das páginas web torna-se possível a configuração e atuação imediata de toda a instalação a jusante do IFE.

A figura 3 ilustra o componente em questão.



Figura 3. Módulo Interface Ethernet

### c) Módulo E/S

O módulo E/S, para disjuntores de baixa tensão (*Masterpact* e *Compact NSX*), é dotado de funcionalidades e aplicações integradas. Contém seis entradas lógicas com alimentação própria quer para o contacto seco NA (normalmente aberto) e NF (normalmente fechado) quer para o contador de impulsos, de três saídas lógicas que são um relé biestável. É composto, ainda, por uma entrada analógica para sensor de temperatura, Pt 100. A principal função deste dispositivo é dar informação ao utilizador da posição do disjuntor no chassi (aplicação integrada). A figura 4 mostra o componente em questão.



Figura 4. Dispositivo E/S

**d) Ecrã FDM 128**

O ecrã FDM 128 é um painel de visualização que comunica em rede *ethernet*. Este componente encontra-se na porta do invólucro e permite gerir até oito dispositivos e atuar sobre os mesmos, nomeadamente disjuntores *Masterpact* ou *Compact*, através de IFE ou *gateway*, disjuntores modulares, atuadores, contadores de energia, desde que estejam agrupados e ligados a uma interface do Acti9, *Smartlink IP*.

O painel de visualização FDM 128 é alimentado por uma tensão de 24V corrente contínua e dotado de uma porta *ethernet*. A figura 5 mostra o componente em questão.



Figura 5. Painel de visualização FDM 128

**e) Ecrã FDM 121**

O painel de visualização FDM 121 é um ecrã onde se pode visualizar os parâmetros elétricos obtidos a partir dos disjuntores *Compact* NSX, NS e *Masterpact* NW e NT.

Este dispositivo comunica em ULP e pode ser ligado diretamente ao disjuntor quando este é dotado de uma unidade de controlo *Micrologic*. Através do FDM 121 é possível visualizar os eventos e alarmes (disparos, valores de corrente cortada por defeito), e os estados dos disjuntores. Este componente é dotado de duas portas ULP e alimentado por 24V corrente contínua. A figura 6 ilustra o painel de visualização em questão.



Figura 6. Painel de visualização FDM 121

**f) Data Logger Com'X 200**

A Data *Logger Com'X* 200 é um dispositivo que tem como função recolher toda a informação sobre a rede e transmiti-la para um servidor via *ethernet*, *wi-fi* ou via *General Packet Radio Service (GPRS)*. Da informação recolhida fazem parte: os consumos a partir de medidores de impulso; o estado dos contactores e relés de impulsos; os dados dos aparelhos ligados diretamente com a *Com'X*, via *modbus*. Este dispositivo é o único com capacidade para armazenar os dados e gerar um histórico dos consumos da instalação.

É dotada de um porta RS485 *modbus*, duas portas *ethernet* e duas portas Universal Serial Bus (USB). A alimentação é feita de três modos distintos a fim de oferecer redundância, ou seja, o primeiro recurso é a alimentação por corrente alternada (AC) o segundo é a alimentação por corrente contínua (DC) e, como último recurso *Power Over Ethernet*, (*PoE*).

A figura 7 mostra o dispositivo em questão.

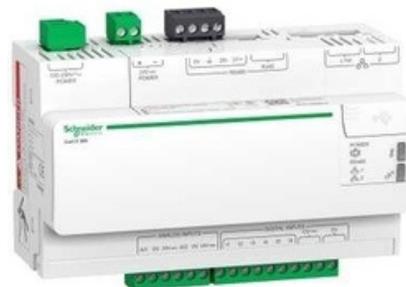


Figura 7. Data Logger Com'X 200

**III. Gama Acti9**

A gama Acti9 está associada à aparelhagem modular e é entendida como sendo a aparelhagem dotada de controlar os circuitos de uma instalação (por exemplo, tomadas, iluminação, estores) e de efetuar a leitura e recolha de valores de energia. Os protocolos de comunicação usados são *ethernet* e *modbus*.

Os diversos componentes que integram esta gama são: *Smartlink Modbus*, *Smartlink Ethernet*, *iOF+SD24*, *iEM2000T*, *iEM3110*, *iATL24*, *iACT24*, *Reflex iC60* e *RCA iC60*.

### a) *Smartlink Modbus e Ethernet*

O *Smartlink* é um componente usado para transferir dados dos aparelhos da gama Acti9 para um sistema de monitorização através dos dispositivos de comunicação *Smartlink Modbus* (protocolo de comunicação *modbus*) e *Smartlink Ethernet* (protocolo de comunicação *ethernet*).

Conetada às réguas *Smartlink* está toda a aparelhagem que faz a proteção aos diferentes circuitos. Relativamente aos disjuntores diferenciais e relés diferenciais, as réguas têm a capacidade de comunicar o estado aberto/fechado, estado de disparado, número de ciclos de abertura/fecho, número de ações de disparo. Relativamente aos contactores e relés de impulsos, as réguas são capazes de fazer o controlo de abertura, o controlo de fecho, de comunicar o estado aberto/fechado, de fazer e comunicar a contagem do número de ciclos.

Quanto aos disjuntores/*Reflex* iC60, estes podem ser controlados remotamente através das réguas que fazem o controlo de abertura e fecho, e comunicam o estado dos mesmos. Relativamente aos contadores de energia, o *Smartlink* está dotado da capacidade de recolher as leituras feitas pelos diferentes dispositivos.

Apenas a régua *Smartlink IP* contém páginas web para poder gerir e configurar a instalação a jusante. As diferenças entre as réguas *Smartlink IP* e *Modbus* centram-se no número de canais, no tipo de protocolo de comunicação usado e na integração de páginas web. A conexão de todos os componentes à régua é feita através de uma ligação própria, usando conetores Ti24.

A figura 8 ilustra uma régua *Smartlink Ethernet*.



Figura 8. Régua *Smartlink IP*

### b) Dispositivo auxiliar iOF+SD24

Este componente é um auxiliar que, quando acoplado a um disjuntor, permite sinalizar o estado de aberto/fechado do disjuntor associado bem como verificar se o estado de “aberto” se deve à existência de algum defeito na instalação. Este módulo comunica com o *Smartlink*.

A figura 9 representa um auxiliar iOF+SD24.



Figura 9. Auxiliar iOF+SD24

### c) Dispositivos auxiliares do Telerrutor iATL24 e Contator iACT24

Estes componentes são uns auxiliares que quando acoplados a um telerrutor e a um contator, respetivamente, permitem controlar e saber qual o estado do telerrutor e do contator, respetivamente.

A figura 10 ilustra um auxiliar do telerrutor iATL24 (esquerda) e um auxiliar do contator iACT24 (direita).



Figura 10. Auxiliar do telerrutor (esq); Auxiliar do contator (dir)

#### d) Disjuntor com telecomando (*Reflex iC60*)

O *Reflex iC60* é um disjuntor com telecomando. Tem como funções indicar o estado de aberto/fechado e assinalar a presença de defeito; oferece ainda a hipótese de ser comandado à distância.



Figura 11. *Reflex iC60*

#### e) Telecomando para disjuntores RCA iC60

Este telecomando, que se acopla aos disjuntores iC60, permite a abertura e fecho dos mesmos à distância, o rearme após o disparo, e o comando local pelo manípulo. A figura 12 ilustra o dispositivo em questão.



Figura 12. Telecomando para disjuntores RCA iC60

#### f) Software de configuração e gestão

Após a implementação da rede com os diferentes componentes acima descritos, a configuração e gestão da instalação é feita através de diferentes softwares. De seguida são elencados os softwares para o efeito:

- Páginas *Web* integradas nos diferentes dispositivos: IFE, *Com'X 200*, *Smartlink IP*;
- *Smartlink Test*;
- *StruxureWare Power Monitoring*;
- *Electrical Asset Manager*.

#### IV. Exemplo de aplicação desta tecnologia

O proprietário de uma empresa necessita de acompanhar e reduzir o consumo energético de todas as suas agências. Para isso, pretende efetuar o controlo diário da instalação, pelo que precisará de ecrãs de visualização nas agências, e ainda de ter a informação disponível na sede, em PC.

Requisitos do cliente:

- Medição diária do consumo de energia por agência e divisão dos consumos por tipo de carga, iluminação, AVAC.
- Visualização local para monitorização de estados/comandos dos disjuntores de proteção dos circuitos de tomadas bem como do circuito de alimentação da UPS.
- Centralização, registos, salvaguarda de dados.
- Fornecimento de ecrãs personalizáveis, diariamente, ao responsável do serviço de Eficiência Energética situado na sede e aos responsáveis locais (agências).

Solução adotada:

Iluminação: 2 zonas (escritório e comercial). Para fazer o controlo do circuito de iluminação e fazer a medição de consumos vão ser instalados relés com comando manual, monitorizados e controlados pelo auxiliar iACT24, um contador de impulsos iEM2000 por zona.

UPS: um auxiliar iOF+SD24 acoplado ao disjuntor permite saber o estado do disjuntor (aberto/fechado) e o estado deste (aberto/fechado) em caso de defeito.

AVAC: a proteção do circuito é feita por um disjuntor *Reflex iC60*. Para fazer a leitura de energia é usado um contador iEM3250 que transmite os dados por protocolo *modbus*.

Consumo de energia total: de forma a obter a leitura do consumo total de energia da agência é utilizado um iEM3250 trifásico.

*Smartlink Ethernet*: garante a monitorização do estado da iluminação, a monitorização dos disjuntores críticos, o controlo das zonas de iluminação e de AVAC, a contagem de impulsos de energia, e a comunicação com a *Com'X 200*.

*Com'X 200*: garante a aquisição de dados de sensores de temperatura, a gravação de dados, a geração de páginas web, e a comunicação GPRS com a web.

A figura 13 representa a solução adotada a fim de dar resposta aos requisitos do cliente.

## V. Conclusão

A tecnologia Smart Panel (SP), enquanto conceito inovador e emergente no mercado, poderá afigurar-se uma tecnologia de custos elevados face a um sistema de gestão técnica centralizada (SGTC). Porém, devemos ter em conta a poupança em cablagem que um quadro elétrico tradicional exige para monitorização a partir de um SGTC, uma vez que a

reduzida cablagem existente no SP se centra no interior do quadro elétrico.

No SGTC, a cada circuito monitorizado corresponde um ponto de controlo, exigindo acrescido trabalho de engenharia no que respeita à elaboração de software específico, adaptado a cada instalação, o que se traduz num custo elevado. Na tecnologia SP, o trabalho de engenharia centra-se na conceção de cada componente, passível de replicação em todas as instalações. Confrontadas estas duas tecnologias, é manifesto o equilíbrio de custos de trabalho de engenharia.

É de realçar, ainda, a versatilidade do *Smart Panel* no que respeita à capacidade de expansão: os custos inerentes à inserção de requisitos incidem na aquisição dos componentes mais do que na sua configuração. Por outro lado, a poupança energética expectável, a médio prazo, permite concluir que a aposta nesta nova tecnologia constitui uma mais-valia a nível económico.

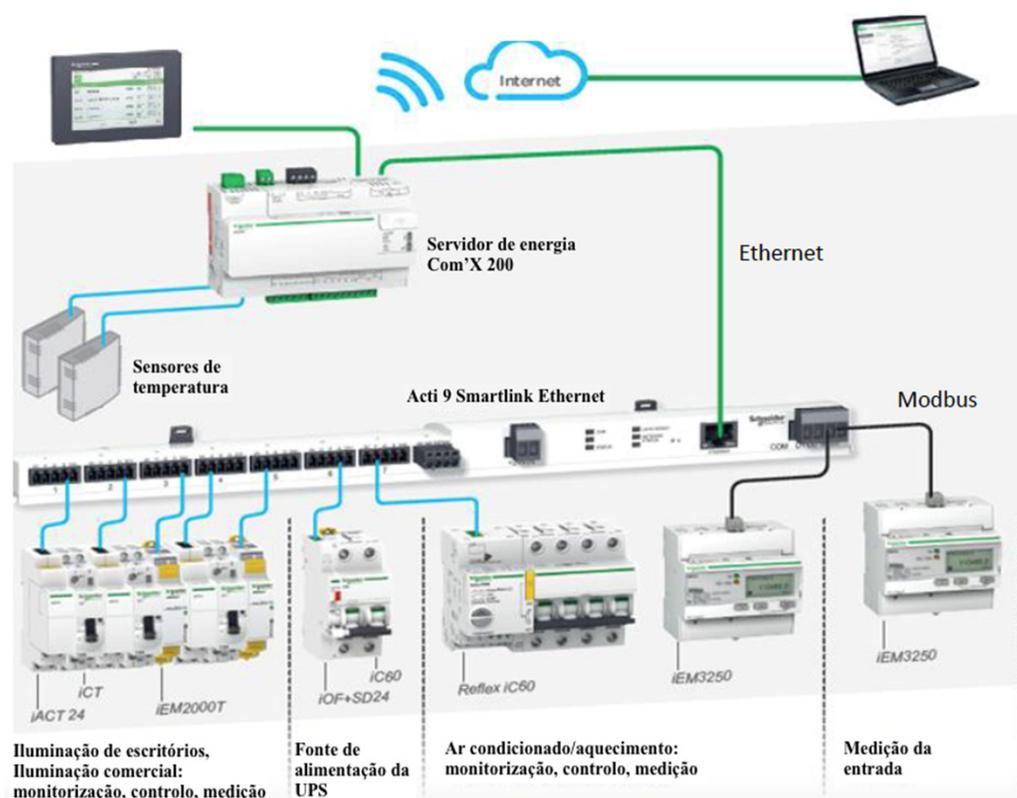


Figura 13. Arquitetura *Smart Panel*

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**António Augusto Araújo Gomes**

**aag@isep.ipp.pt**

Mestre 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.



**Carlos André Rodrigues da Silva**

**1030399@isep.ipp.pt**

Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.  
Diretor Técnico de Projeto e Gestão de Centrais Fotovoltaicas da empresa CAPA.



**Carlos Valbom Neves**

**c.neves@tecnisis.pt**

Com formação em Engenharia Eletrotécnica, pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, e licenciatura em Gestão de Empresas, tendo colaborado com a FESTO, PHILIPS, ABB – Asea Brown Boveri, Endress&Hauser e TECNISIS. É especialista em Instrumentação, Controle de Processos Industriais e em Sistemas de Aquecimento e Traçagem Elétrica. Tem cerca de 25 anos de experiência adquirida em centenas de projetos executados nestas áreas. Vive no Estoril, em Portugal.

### **TECNISIS**

Tecnisis é especialista em Sistemas de extinção automática de incêndios, em instrumentação industrial, em sistemas para zonas perigosas ATEX e em medição de visibilidade e deteção de incêndios em túneis rodoviários. A Tecnisis tem 25 anos de atividade em Portugal com milhares de aplicações em todos os segmentos da indústria.  
[www.tecnisis.pt](http://www.tecnisis.pt)



**Diogo Filipe Pinto Dantas Soares**

**diogodantas.soares@gmail.com**

Licenciado e Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.  
Estagiário na EDP Produção, Direção e Gestão de Obras – Gestão de Obras e Equipamentos (DGO – GOEQ), desde Junho 2015.



**Fernando Jorge Justo Taveira Barrias**

**1070157@isep.ipp.pt**

Licenciado e Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.  
Realizou um estágio curricular na empresa SKK – Refrigeração e Climatização, Lda sobre a temática da eficiência energética nos sistemas de refrigeração, resultando na dissertação de mestrado.



**Fernando Mauricio Teixeira De Sousa Dias**

**fmd@isep.ipp.pt**

Doutor em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Elétricos de Energia. Título de Especialista na área de Eletricidade e Energia.  
Professor Adjunto no Instituto Superior de Engenharia do Porto, departamento de Engenharia Eletrotécnica.  
Diretor da Revista ELEVARE da área dos equipamentos de elevação. Membro da Comissão Técnica CT-63 Ascensores e Monta Cargas. Presidente da Assembleia Geral da ONG Engenho & Obra.

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:

**Henrique Nuno Baptista Gonçalves**

**ngoncalves@gmail.com**

Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

Desde 2015 até à data: Engenheiro – Pesquisa, Desenvolvimento e Certificação, WEGeuro - Indústria Eléctrica, S.A.. De 2009 a 2014, Investigador Auxiliar no Grupo de Eletrónica de Potência e Energia – Centro Algoritmi – Universidade do Minho. De 2006 a 2009, Professor de Informática, Ministério da Educação - Direção Regional de Educação do Norte. De 1999 a 2006, Docente no Instituto Politécnico de Bragança - Departamento de Eletrotecnia. De 1998 a 1999, Investigador na EFACEC Universal Motors S.A. - Departamento de Estudos Estratégicos.

**Horst Huldreish Ardila Hamada Marques**

**ho\_huldreish@hotmail.com**



Brasileiro, ingressou entre os 5 primeiros alunos no curso técnico de mecatrônica em 2008, na Escola Técnica Estadual Prof. Basílides de Godoy. Formado com bolsa de estudos integral em Engenharia Elétrica - Sistemas de Potência, Energia e Automação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, UPM, ganhou prêmios pela 3ª melhor média geral do curso e 3º melhor Trabalho de Conclusão de Curso dos formandos daquele semestre. Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos De Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP, foi o 1º aluno deste curso a concluir o acordo bilateral de Dupla Titulação celebrado entre UPM e ISEP, fazendo uma dissertação conjunta com orientadores brasileiro e português.

Atualmente, trabalha como Engenheiro de Compras na Siemens LTDA."

**João Paulo Pinto**

**jpp@skk.pt**



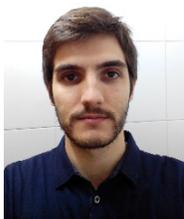
Licenciado em Eng. Mecânica na FEUP, tem um DES pelo Institut Français du Pétrole, um MBA pelo então Instituto Superior de Estudos Empresariais da Universidade do Porto tendo realizado várias formações executivas em diversas escolas, em particular, em Harvard, MIT e Insead.

Depois de ter sido consultor na Accenture, esteve 18 anos no Grupo Sonae onde foi administrador de várias empresas, em vários setores de atividade e vários países.

Em Março de 2014 fundou a SKK, Lda empresa da qual é o CEO

**José Eduardo Mendes Saavedra De Pinho**

**1060398@isep.ipp.pt**



Frequentou a Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (LEE-SEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP), tendo completado o grau em 2014/2015. As suas áreas de interesse estão vocacionadas para as telecomunicações, bem como energias renováveis.

**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.

**Luis Ricardo Matos Cunha Viana de Carvalho**

**luiscunhacarvalho@gmail.com**



Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, e Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto. Desde Outubro de 2015 que desempenha funções na Schneider Electric Portugal, como Field Sales Specialist Engineer.

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**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 IEFP, conduzindo cursos de formação, de cujos manuais é autor, em Portugal, África e Médio Oriente.



**Manuel João Dias Gonçalves**

**mdg@isep.ipp.pt**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

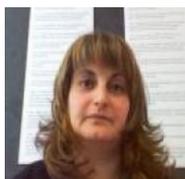
Exerce funções docentes no Instituto Superior de Engenharia, na categoria de Professor Adjunto, no Departamento de Engenharia Eletrotécnica.



**Marco Aurélio Rios da Silva**

**masi@isep.ipp.pt**

Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia (MEESEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP). Desde outubro de 2007 que desempenha funções no GECAD, como investigador. As suas áreas de investigação são relacionadas com gestão dos recursos energéticos distribuídos.



**Maria Judite Madureira Da Silva Ferreira**

**mju@isep.ipp.pt**

Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

Professora de diversas unidades curriculares em Engenharia Eletrotécnica, no Instituto Superior de Engenharia do Porto. É também detentora do cargo de diretora da Licenciatura de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia e de diretora do Centro de Prestação de Serviços – TID.



**Maria Teresa Do Valle Moura Costa**

**mco@isep.ipp.pt**

Licenciada em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, recebeu o grau de Mestre em Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas, pelo Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa e o grau de Doutor em Ciências de Engenharia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Exerce funções docentes no Instituto Superior de Engenharia, na categoria de Professor Adjunto, no Departamento de Matemática. Ocupa o cargo de Diretor de Curso de Licenciatura em Engenharia de Sistemas.

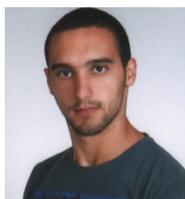


**Paulo Martins Vaz**

**paulo.vaz@schneider-electric.com**

Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Eletrónica, Instrumentação e Computação pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Key Account PanelBuiders na Schneider Electric - Acompanhamento Técnico-Comercial Rede de Fabricantes de Quadros Elétricos, aconselhamento de produtos e soluções à escala das necessidades do mercado.



**Pedro Miguel Soares Caçote**

**1130264@isep.ipp.pt**

Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**Roque Filipe Mesquita Brandão**

**rfb@isep.ipp.pt**

Doutor em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Elétricos de Energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.  
Professor Adjunto no Instituto Superior de Engenharia do Porto, departamento de Engenharia Eletrotécnica.  
Consultor técnico de alguns organismos públicos na área da eletrotecnia.



**Sérgio Filipe Carvalho Ramos**

**scr@isep.ipp.pt**

Doutorado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa. Docente do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do curso de Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultadoria técnica. Investigador no GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia e Computação Inteligente para a Inovação e o Desenvolvimento), do ISEP.



**Sérgio Manuel Correia Vieira**

**1110096@isep.ipp.pt**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no ISEP (2015). Estágio curricular no GECAD onde desenvolveu uma aplicação de auxílio ao dimensionamento de redes de cabo coaxial nas ITUR Privadas (2015). Aluno do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia no ISEP. Curso Profissional de Técnico de Instalações Elétricas na Escola Secundária Carlos Amarante em Braga (2011). Estágio na empresa OTIS Elevadores, delegação de Braga, na área de manutenção e reparações de elevadores (2011).



**Silvana Mafalda da Silva Rocha**

**1131360@isep.ipp.pt**

Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP). E licenciada em Ciências de Engenharia – Perfil de Engenharia Eletrotécnica na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). As suas áreas de interesse estão vocacionadas para as energias renováveis e sistemas elétricos de energia.



**Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto Nogueira**

**(tan@isep.ipp.pt)**

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 Eletrotécnica -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.

