



*Voltamos à Vossa presença com mais uma edição da nossa revista Neutro-à-Terra.*

*Estamos certos que a qualidade dos artigos publicados nesta edição seguramente que compensarão a curiosidade e o interesse de todos os nossos habituais leitores, que nos privilegiam com o seu interesse desde o início das nossas publicações.*

*Já são 12 anos em que sem interrupções honramos o compromisso que temos convosco.*

*José Beleza Carvalho, Professor Doutor*



**Máquinas e Veículos Elétricos**



**Produção, Transporte e Distribuição Energia**



**Instalações Elétricas**



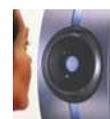
**Telecomunicações**



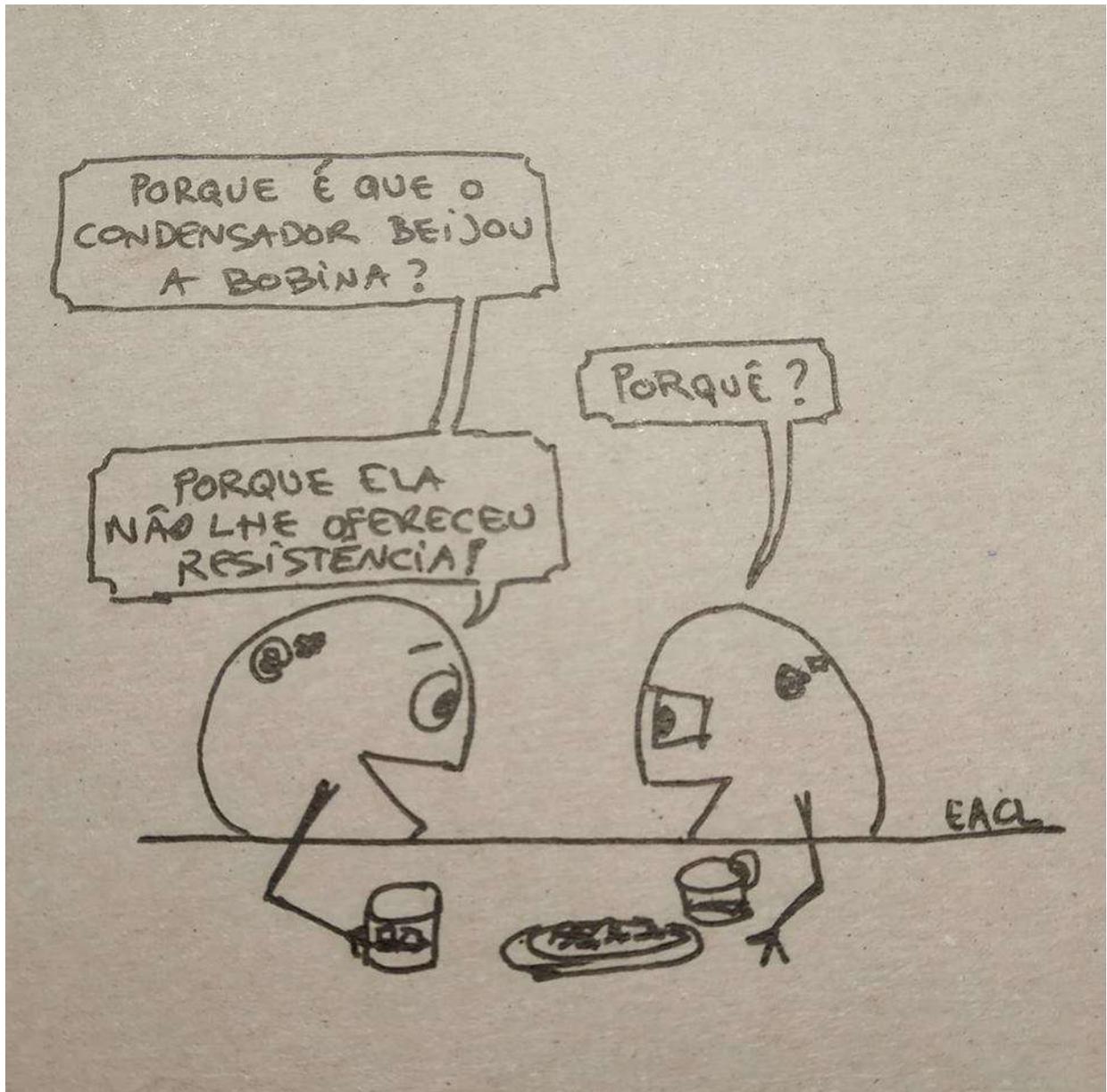
**Segurança**



**Gestão de Energia e Eficiência Energética**



**Automação, Gestão Técnica e Domótica**



- Editorial	5
- Rede Nacional de Transporte Célia Maria dos Santos Carneiro	9
- Potencial Energético das Correntes de Maré na Ria de Aveiro João Pedro Pereira da Rocha, J.Dias	25
- Syzing and Analisis of a Photovoltaic System for Self-consumption César M. S. Santos	37
- Solar Power Support of Luxury Boat Aleksandra Wawrzyniak	43
- Evolução das Classes de Rendimento de Motores Eléctricos Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo	53
- Experimental analysis of a DC current-controlled variable inductor in a DC-DC converter André P. Mendes; Bruno Baptista; Marina S. Perdigão; André M. S. Mendes	61
- A Engenharia ao Serviço da Segurança Alexandre Chamusca	71
- Regulamentos técnicos no âmbito das instalações eléctricas António Augusto Araújo Gomes	75
- Autores	

## FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	José António Belezinha Carvalho, Doutor
SUBDIRETORES:	António Augusto Araújo Gomes, Eng. 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
CONTATOS:	jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt

**Título:** Instalações Elétricas de Baixa Tensão: Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas  
**Autor:** António Augusto Araújo Gomes, Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva, José António Beleza Carvalho  
**Editora:** Publindústria  
**Data de Edição:** 2017  
**ISBN:** 9789897232046  
**Nº Páginas:** 114  
**Encadernação:** Capa mole

**Sinopse:**

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia eletrotécnica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas.  
 Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre o dimensionamento e proteção de canalizações elétricas aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação nas quais sejam intervenientes, selecionar o tipo de canalização e o modo de instalação mais adequados, de forma a maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como os custos de execução e exploração das instalações.

**INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**

Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas

**SOBRE O LIVRO**

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia eletrotécnica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas.

Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre o dimensionamento e proteção de canalizações elétricas aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação nas quais sejam intervenientes, selecionar o tipo de canalização e o modo de instalação mais adequados, de forma a maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como os custos de execução e exploração das instalações.

**SOBRE OS AUTORES**

**António Augusto Araújo Gomes**

Bacharel em Engenharia Eletrotécnicas – Sistemas de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, licenciado e Mestre (quebra) na Engenharia Matemática e Computacional pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Coordenador de Ótica na CEI/ALPUB – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Realto à Terra – Gabinete de Engenharia, Lda (2002 a 2010). Presidência de serviços de formação e/ou assessoria e/ou consultoria no âmbito das instalações elétricas, telecomunicações, segurança, gestão de energia, eficiência energética, a diversas entidades nomeadamente: NORVIA – Consultores de Engenharia, S.A., Schmalz – Engenharia e Serviços, Lda, ENERPO – Consultores de Engenharia, Lda, EG – Instituto de Soluções e Qualidade, Quilóscia – Fabrica de Quadros Elétricos, S.A., IEP – Instituto Eletrotécnico Português, CEMITERIO – Centro de Energia e Tecnologia, ANACOM – Autoridade Nacional das Comunicações, IOT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico, EBY – Agência de Energia, Emoc, Jouro e Vouge.

**Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica, área de Produção, Transporte e Distribuição de energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Mestre (quebra) em Engenharia Industrial pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

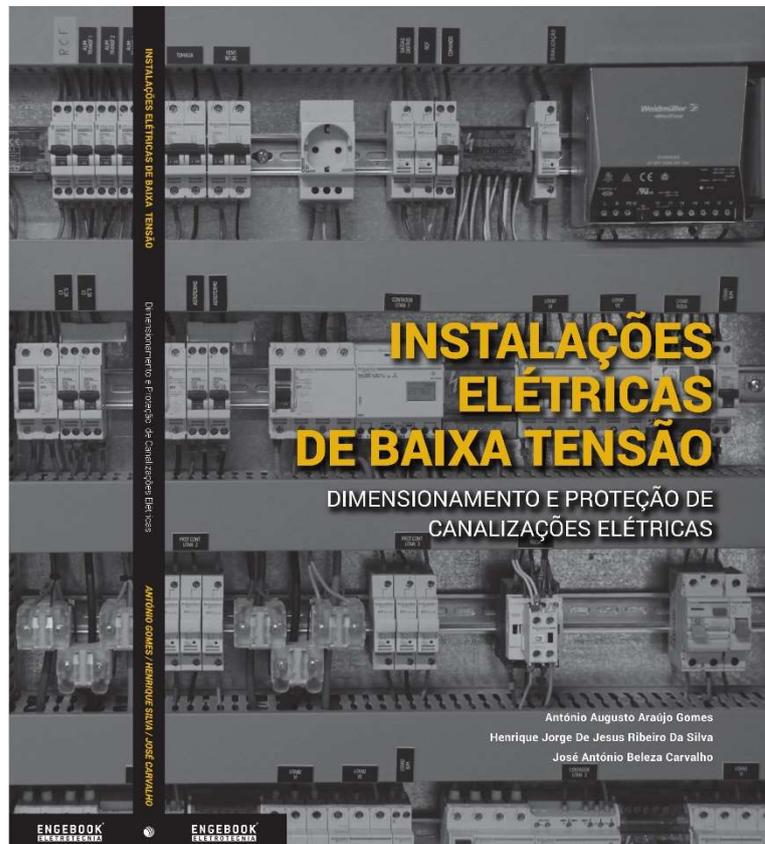
**José António Beleza Carvalho**

Bacharel em Engenharia Eletrotécnicas pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, Mestre e Doutor em Engenharia Eletrotécnica na especialidade de sistemas de energia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor Coordenador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, coordenador das funções do Diretor do Departamento. Integra a direção da Escola Tecnológica de Vals de Camarã como responsável técnico Instituto Politécnico do Porto. É autor de vários artigos publicados em conferências nacionais e internacionais, diretor de revista eletrónica-terce e integrou vários júris de provas públicas de doutoramento e para a carreira do ensino superior.

**ENGENHARIA**

Faculdade de Engenharia de Sistemas e Instalações Elétricas

Com o apoio de **Lifa da Om**, **Schneider Electric**, **Weidmüller**



Estimados leitores

Um pouco mais tarde que o habitual, pois os afazeres dos responsáveis pela edição da revista no fim de um ano letivo numa escola prestigiada de Engenharia são sempre muitos e complicados, voltamos à Vossa presença com mais uma edição da nossa revista Neutro-à-Terra. Estamos certos que a qualidade dos artigos publicados nesta edição seguramente que compensarão a curiosidade e o interesse de todos os nossos habituais leitores, que nos privilegiam com o seu interesse desde o início das nossas publicações. Já são 12 anos em que sem interrupções honramos o compromisso que temos convosco.

Numa revista focada nas áreas de especialização da Engenharia Eletrotécnica, tem sido falha dos editores a não apresentação de um artigo técnico-científico que apresente de uma forma clara e suficientemente desenvolvida o funcionamento de um Sistema Elétrico de Energia, ou seja, a produção, o transporte e distribuição de energia elétrica que todos usufruímos diariamente nas nossas atividades. Esta falta é compensada nesta edição da nossa revista, com apresentação de um artigo muito interessante sobre a Rede Nacional de Transporte e o funcionamento do Sistema Elétrico de Energia Português, da autoria da Engenheira Célia Carneiro, Mestre em Engenharia Eletrotécnica pelo ISEP, e operadora responsável no Centro de Operações da Rede de Muito Alta Tensão, localizado em Vermoim.

Os trabalhos de investigação desenvolvidos no ISEP, fundamentalmente no âmbito do desenvolvimento de Dissertações de Mestrado, permitem a realização de artigos científicos de elevada qualidade. Nesta edição publica-se dois artigos científicos em Inglês, *“Syzing and Analisis of a Photovoltaic System for Self-Consumption”* e *“Solar Power Support Of Luxury Boat”*, mantendo assim o compromisso que temos em regularmente publicar artigos científicos em língua Inglesa, fundamentalmente destinados aos nossos leitores dos países Anglo-Saxónicos. Ainda neste âmbito, merece particular destaque um artigo científico publicado conjuntamente por 2 investigadores da WEG e do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Universidade de Coimbra, *“Experimental Analysis of a DC Current-Controlled Variable Inductor in a DC-DC Converter”*.

No âmbito das Máquinas Elétricas, como tem sido habitual nas nossas recentes edições, publica-se mais um interessante artigo da autoria do Eng<sup>o</sup> Pedro Melo, neste caso sobre a *“Evolução das Classes de Rendimento de Motores Elétricos”*, onde se apresenta uma síntese da evolução das classes de rendimento de motores elétricos de alcance internacional. Começando pelo acordo CE/CEMEP, no contexto europeu, referindo depois as sucessivas normas internacionais CEI, as quais traduzem a evolução da classificação IE.

Nesta edição da nossa revista merecem ainda destaque alguns artigos de elevado valor técnico e científico. Apresenta-se um artigo sobre *“Potencial Energético das Correntes de Maré na Ria de Aveiro”*, onde é feita uma abordagem ao aproveitamento da energia cinética existente no movimento de água induzido pela propagação das marés na produção de energia elétrica. Apresenta-se também um artigo sobre *“A Engenharia ao Serviço da Segurança”*, onde são abordadas as exigências crescentes que se fazem sentir nesta crescente área de negócio. Finalmente, mas não de menor importância, apresenta-se um artigo sobre *“Regulamentos Técnicos no Âmbito das Instalações Elétricas”*, da autoria do Eng<sup>o</sup> António Gomes, um especialista que tem vindo aprofundar este assunto nas suas atividades profissionais e também em publicações que tem efetuado sobre o assunto.

Fazendo votos que esta 23<sup>a</sup> edição da nossa revista *“Neutro à Terra”* vá novamente ao encontro das expectativas dos nossos leitores, estes semestre um pouco mais tarde que o habitual, mas com artigos de elevado valor técnico e científico, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, julho de 2019

José António Beleza Carvalho

**Título:** Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Aparelhagem de Proteção, Comando e Seccionamento  
**Autor:** António Augusto Araújo Gomes, Sérgio Filipe Carvalho Ramos, André Fernando Ribeiro de Sá  
**Editora:** Publindústria  
**Data de Edição:** Engebook  
**ISBN:** 9789898927187  
**Nº Páginas:** 226  
**Encadernação:** Capa mole

**Sinopse:**

A obra Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Aparelhagem de Proteção, Comando e Seccionamento pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de Engenharia Eletrotécnica, bem como a Técnicos Responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas. Pretende ser, ainda, uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, tecnológicos, normativos e regulamentares sobre a aparelhagem de proteção, comando e seccionamento de baixa tensão, aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir os custos de execução e exploração das instalações.



# INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

## APARELHAGEM DE PROTEÇÃO, COMANDO E SECCIONAMENTO

ENGEBOOK **ELETROTECHNIA**

António Gomes  
Sérgio Ramos  
André Sá



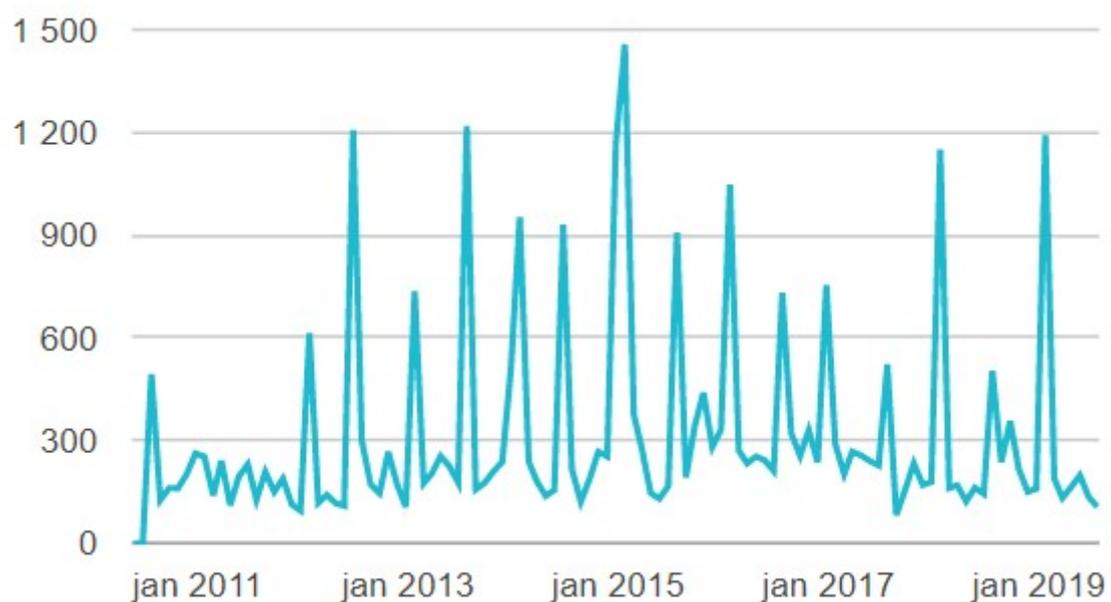
Blog:

[www.neutroaterra.blogspot.com](http://www.neutroaterra.blogspot.com)

Histórico de visualizações

34 401

Entrada	Visualizações de páginas
Portugal	25725
Estados Unidos	2950
Brasil	1956
Alemanha	531
França	445
Rússia	432
Angola	242
Reino Unido	205
Ucrânia	190
Espanha	137





## REDE NACIONAL DE TRANSPORTE

### 1. Rede Nacional de Transporte

Nos dias de hoje, a energia elétrica é um fator determinante na evolução da sociedade, ora no sector doméstico ora no sector industrial. A dependência do homem em utilizar eletricidade, levou a que o consumo aumentasse ao longo do tempo. Em 2017, o consumo de energia elétrica em Portugal totalizou 49,6 TWh, registando-se o valor mais elevado desde 2011. [1] Deste modo, torna-se indispensável que a segurança e qualidade de abastecimento de energia elétrica tenham um elevado grau de fiabilidade por parte do funcionamento das redes.

O Sistema de Elétrico Nacional (SEN) é um sistema complexo, abraçando a produção, transporte, distribuição e comercialização de energia elétrica, Figura 1.

Todas as fases do SEN têm como princípio a racionalidade e eficiência dos recursos, de modo a, permitir uma eficiência maior sem que sejam necessárias obrigações adicionais por parte dos seus intervenientes.

Nos últimos anos tem-se assistido a uma profunda alteração no parque electroprodutor, com um acentuado crescimento dos aproveitamentos de fontes de energia renovável. Além das clássicas centrais térmicas (Figura 2) e centros electroprodutores hídricos (Figura 3), têm-se ligado à RNT centrais eólicas (Figura 4) e mais recentemente centrais solares (Figura 5). Estes centros, encontram-se em locais estratégicos e distantes, predominantemente na região norte e centro, enquanto que os grandes centros de consumo se localizam mais no litoral, por exemplo as cidades do Porto e Lisboa.

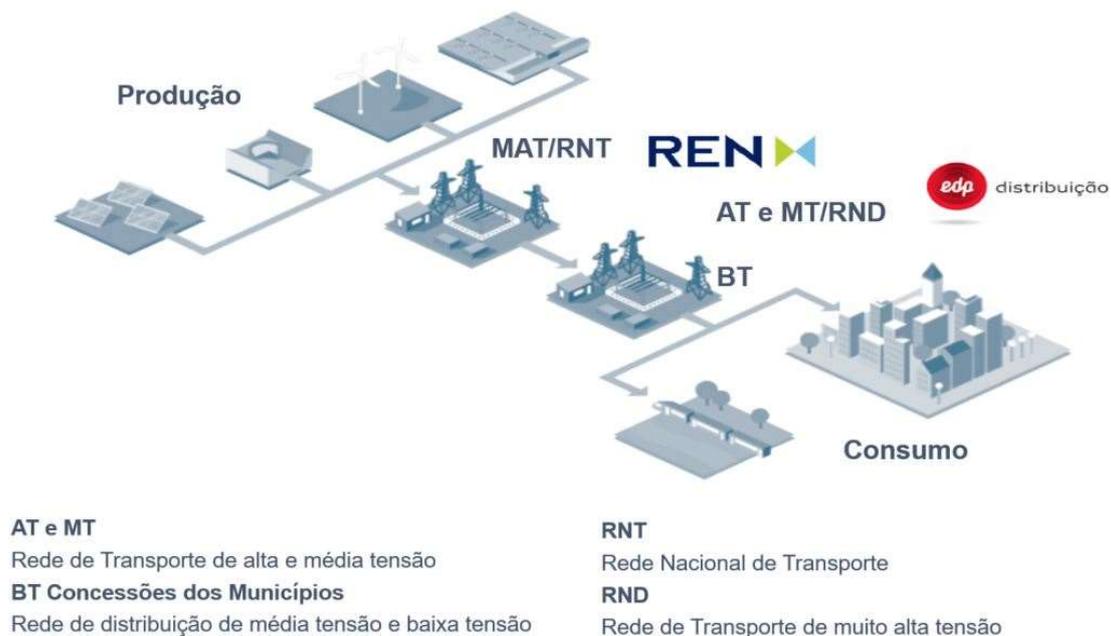


Figura 1 - Sistema Elétrico de Energia



Figura 2 - Central Termoelétrica do Carregado



Figura 3 - Aproveitamento hidroelétrico do Alqueva.



Figura 4 - Parque Eólico da Serra dos Candeeiros



Figura 5 - Central fotovoltaica de Ourika<sup>2</sup>

Posteriormente, a energia é conduzida através da rede de transporte e encaminhada para a rede de distribuição (AT, MT, BT), de modo a, chegar aos consumidores finais. A rede de transporte constitui assim uma parte fundamental da cadeia de valor do sistema elétrico nacional.

## 2. Caracterização da Rede Nacional de Transporte

A REN, Redes Energéticas Nacionais, S.A., é a empresa concessionária da Rede Nacional de Transporte (RNT), ligando os produtores (EDP Produção, Tejo Energia, etc.) e os consumidores, assegurando o equilíbrio entre a procura e a oferta de energia elétrica e o funcionamento dos mercados de energia. A RNT abastece a rede nacional de distribuição (RND), à qual estão ligados a maioria dos consumidores finais, 6 400 227 em Baixa Tensão, 23 397 em Média Tensão e cerca de 302 em Alta e Muito Alta Tensão. [3]

A concessão da RNT foi atribuída à REN pelo Estado Português, em regime de serviço público e de exclusividade, de acordo com o artigo 69 do Decreto de Lei número 29/2006 de 15 de fevereiro. [4] A REN fica encarregue da atividade de transporte de eletricidade em MAT (tensão acima dos 110 kV), e conseqüentemente, do planeamento, construção, operação e manutenção da RNT, abrangendo ainda a gestão técnica global do SEN. Em suma, tem a obrigação de assegurar o correto funcionamento da infraestrutura e dos diversos elementos que constituem a RNT, assim como, a continuidade de serviço e a segurança de abastecimento de eletricidade.

A RNT é uma rede que se estende ao longo de todo o território português que tem como principal objetivo a transmissão da energia elétrica deste o local de produção até aos consumidores finais. Esta rede é de muito alta tensão MAT, sendo usado em Portugal os níveis de 400 kV, 220 kV e 150 kV, existindo no norte do país uma linha explorada a 132 kV. É constituída maioritariamente por linhas aéreas, no entanto existem, na região da Grande Lisboa e do Grande Porto, troços em cabo subterrâneo, explorados a 220 kV e 150 kV. [5]

No SEN um dos aspetos importante a ter em conta é a fiabilidade da rede. Os elementos da rede de transporte, tal como, todos os elementos mecânicos e tecnológicos, estão sujeitos a avarias, no entanto, uma varia destes implica interrupções no fornecimento de energia. A RNT é uma rede que apresenta uma topologia fortemente malhada, deste modo, a rede apresenta redundância permitindo manter o equilíbrio dinâmico entre a produção e o consumo, limitando os impactos quando ocorre uma avaria. Nesta topologia de rede, os pontos injetores estão ligados, de modo que, a carga injetada alcance os pontos de receção, podendo percorrer vários caminhos viáveis, Figura 6. [6]

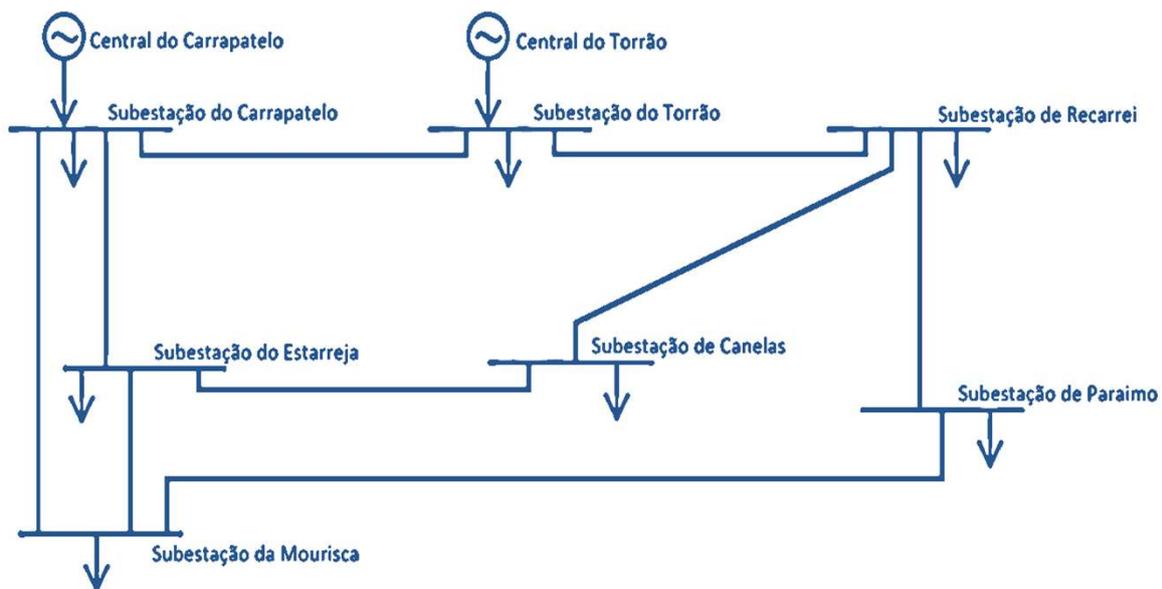


Figura 6 - Exemplo de estrutura topológica da rede em malha

Realçando-se que os diversos percursos estão dimensionados para aguentar toda a carga, em caso de interrupção de uma das vias. Este tipo de rede requer um investimento maior, no entanto, o compromisso entre custo e benefícios compensa, uma vez que, apresentam uma fiabilidade elevada.

A RNT é atualmente constituída por 8 907 km de linhas, 22 848 MVA Transformadores de Potência de MAT/AT, 320 MVA Transformadores de Potência de MAT/MT, 14 470 MVA Autotransformadores, 9 interligações com Espanha, 64 subestações e 4 postos de corte, de seccionamento e de transição, Figura 7. [7]

As interligações com Espanha e, ao mesmo tempo, com a rede europeia síncrona, são de extrema importância, uma vez que, possibilitam um apoio bilateral em caso de distúrbios na rede elétrica e, adicionalmente a existência de um mercado de eletricidade. [8] No Gráfico 1 podemos observar a evolução da constituição da rede, onde é possível verificar que ao longo dos anos houve um grande investimento na RNT, surgindo mais linhas de 400 kV e de 220 kV, assim como de transformadores.



Figura 7 - Rede Nacional de Transporte 2018 [7]

As interligações com Espanha e, ao mesmo tempo, com a rede europeia síncrona, são de extrema importância, uma vez que, possibilitam um apoio bilateral em caso de distúrbios na rede elétrica e, adicionalmente a existência de um mercado de eletricidade. [8] No Gráfico 1 podemos observar a evolução da constituição da rede, onde é possível verificar que ao longo dos anos houve um grande investimento na RNT, surgindo mais linhas de 400 kV e de 220 kV, assim como de transformadores.

### 3. Gestão Global do Sistema

A gestão global do SEN é garantida através de sistemas de supervisão, controlo e proteção em tempo real, apoiados de tecnologia potente e telecomunicações avançadas.

É necessário assegurar o fornecimento ininterrupto de eletricidade, ao menor custo, satisfazendo os critérios de qualidade e de segurança. O equilíbrio entre a oferta e a procura de energia elétrica deverá ser mantido a todo instante, garantindo os interesses legítimos dos intervenientes no mercado energético, ou seja, entre produtores, distribuidores, comercializadores e consumidores.

A gestão do sistema é composta por 4 grupos de atuação, Operação da Rede, Despacho Nacional, Sistemas de desenvolvimento e Operação de Mercado, Figura 8, sendo que todas interagem entre si. Na REN cada grupo de atuação constitui um departamento da direção de gestão de sistema.



Figura 8 - Organização do Gestão Global do Sistema

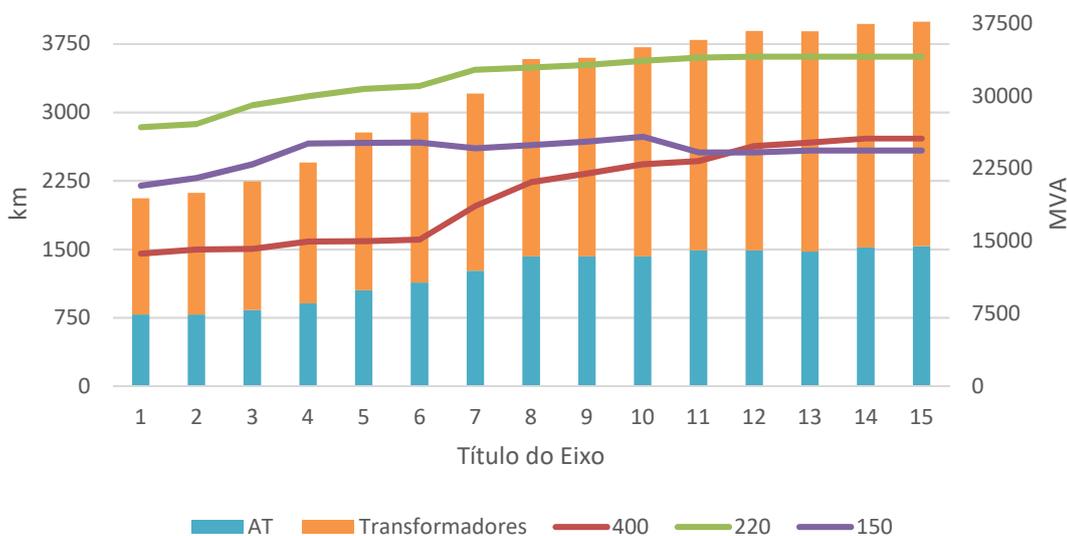


Gráfico 1 - Evolução da infraestrutura da RNT

### a. Despacho Nacional

A principal missão do Despacho Nacional (DN) é coordenar o funcionamento do sistema elétrico, garantindo a segurança do sistema e assegurando o equilíbrio entre a procura e a oferta de energia, de modo que, o SEN forneça toda a energia necessária para alimentar a carga do sistema. [9] Em Portugal, existem 6 425 999 consumidores ligados ao SEN. [3]

Todavia, a carga não é um valor estável ao longo do ano, ou até mesmo ao longo do dia, sofrendo variações significativas de acordo com a atividade humana, e com um grande número de fatores, separando-se em fatores temporais e climáticos. Os fatores temporais baseiam-se na periodicidade diária e semanal, e época sazonal (sábado, domingo, verão, natal, entre outras). Por outro lado, os fatores climáticos, incluem temperatura, humidade, velocidade do vento e visibilidade. [6] As avarias inesperadas e os fenómenos naturais anómalos também afetam o valor da carga. No Gráfico 2 é possível observar-se a variação do consumo ao longo do dia 13/10/2018, dia da passagem da tempestade Leslie por Portugal, e no Gráfico 3, o consumo no dia 23/06/2019, dia de festejo do S. João em diversos pontos do país. [10]

Nos gráficos é possível observar-se alterações tanto a nível de produção como a nível consumo, sendo que a produção em regime especial foi bastante elevada no dia 13/10/2018 e a importação de energia foi maior no dia 23/06/2019. Do mesmo modo, o consumo no dia 13/10/2018 foi superior ao registado no dia 23/06/2019, em especial a partir das 19 horas.

Por conseguinte, o despacho nacional é responsável por antecipadamente efetuar uma previsão do consumo, da capacidade de interligação e da necessidade de reserva de geração, recorrendo a modelos de previsão do valor de carga na sua totalidade, de maneira a fazer a gestão da rede da forma mais eficiente possível, cumprindo os critérios de qualidade de serviço mínimos estabelecidos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, no Regulamento de Qualidade de Serviço do setor elétrico, parte integrante do Regulamento nº 243/2017, publicado no Diário da República, 2ª série, de 20 de dezembro.

Para terminar, outra das suas responsabilidades, é realizar a verificação técnica da geração e interligação (VTP), após receção dos resultados das operações de mercado, e estabelecer medidas que possibilitem minimizar os efeitos resultantes de uma avaria ou alteração de comportamento de um elemento constituinte da RNT. [11]

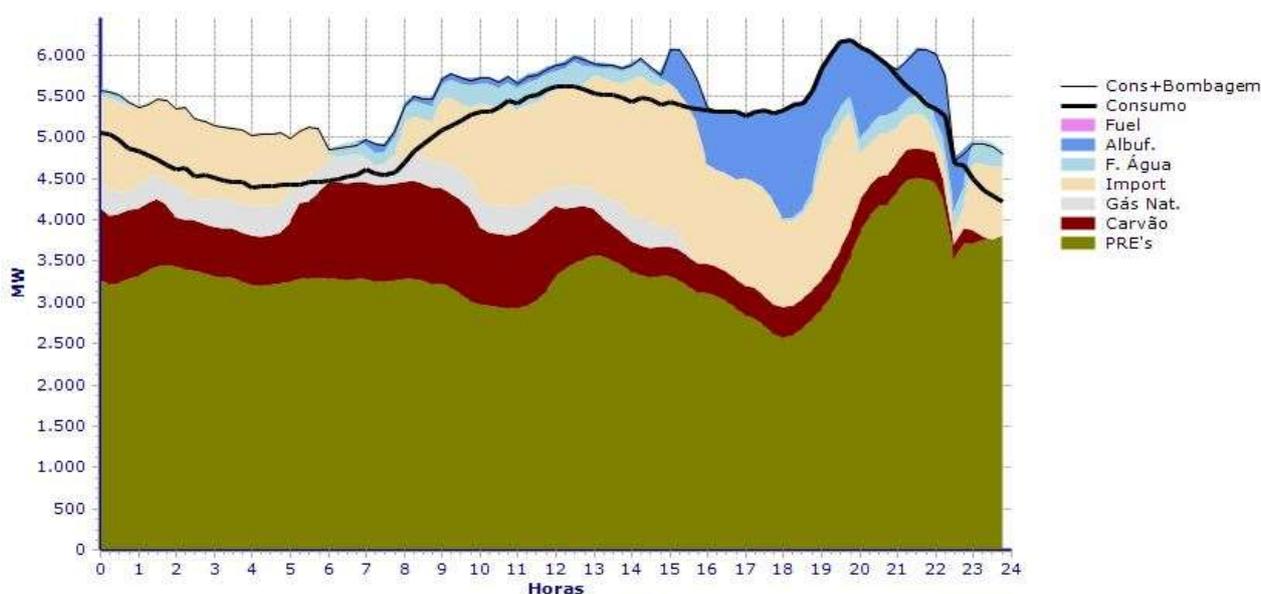


Gráfico 2 - Diagrama do Consumo 13/10/2018 [10]

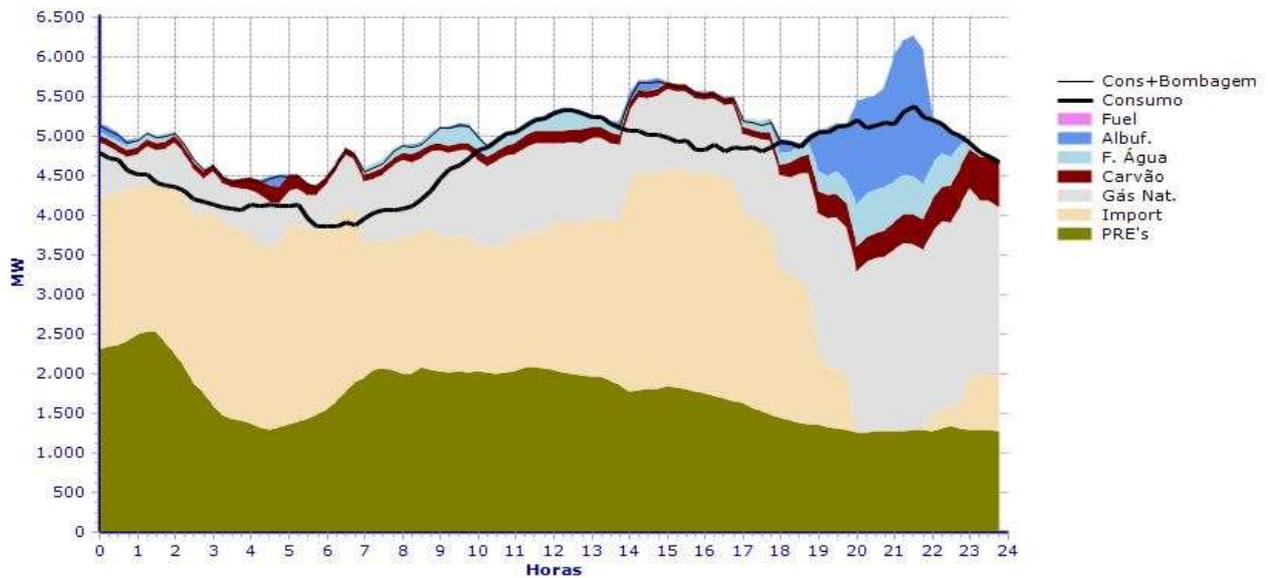


Gráfico 3 - Diagrama do Consumo 23/06/2019 [10]

#### b. Operação da Rede:

A operação da rede, tal como o despacho nacional, foca-se no tempo real num horizonte diário, no obstante, também atenta em planos anuais.

O centro de operação de rede (COR) e o despacho nacional operam 24h/dia durante os 365 dias do ano. Na Figura 9 podemos ver a sala de operação da rede elétrica, que se

situam em Vermoim, Maia-Porto.

A atividade da operação de rede baseia-se em garantir a continuidade de serviço e em monitorizar em permanência da RNT, reagindo de forma rápida, eficiente, e em coordenação com as equipas locais e com as restantes salas de comando das entidades externas às perturbações topológicas ou alterações de estado dos parâmetros da rede. [12]

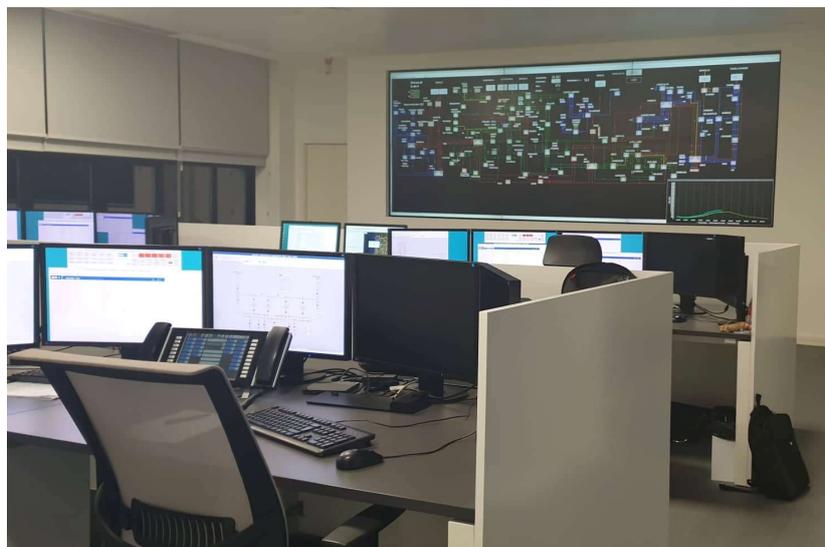


Figura 9 - Sala do COR em Vermoim

O COR é, também, responsável por atuar perante situações de incidente, considerando como incidente qualquer acontecimento ou fenómeno de carácter extemporâneo que provoque uma alteração de estado de um ou vários elementos da rede eléctrica. O tempo decorrido para atuação perante a ocorrência de incidentes pode determinar se existe ou não Energia Não fornecida (ENF), sendo esta a ausência de fornecimento de energia eléctrica a uma infraestrutura de rede, afetando a qualidade de serviço. [12]

As linhas de MAT são os elementos que garantem o escoamento da energia eléctrica do local de produção até ao local de consumo, e as subestações são instalações eléctricas de alta potência, equipadas com diversos componentes eléctricos que permitem a transmissão e a distribuição de energia eléctrica. Todos estes equipamentos são essenciais ao correto funcionamento da RNT, sendo para tal, necessário o operador do sistema realizar a monitorização permanentemente destes, assegurando-se que em caso de avaria é realizando um diagnóstico, estabelecido o grau de gravidade e comunicado aos agentes intervenientes para a sua resolução.

Em regime normal, sem perturbações, o centro de operação de rede em coordenação e comunicação com as restantes salas de comando e várias entidades, efetua as manobras necessárias nas diversas infraestruturas da REN para indisponibilizar elementos de rede para criação de condições de segurança para trabalhos na RNT ou na proximidade desta, adotando assim a posição de Responsável e efetuando a emissão/receção das autorizações de trabalho.

Para se realizar uma intervenção na RNT é necessário planear, assegurando as boas práticas, garantindo ao mesmo tempo a segurança contra o risco eléctrico e minimizando ao máximo as implicações da saída deste na operação da rede. A programação de trabalhos abrange todos os trabalhos que impliquem indisponibilidades, regime especial de exploração, regime de intervenção em serviço, ou ensaios de colocação em tensão/serviço em instalações da RNT.

A saber, entende-se por regime especial de exploração a implementação de condições que garantem um certo grau de segurança para a realização de trabalhos em tensão nas linhas, de modo a, diminuir o risco em caso de incidente e a reposição de tensão de forma automática ou manual no seguimento da atuação/disparo dos sistemas de proteção.

Por outro lado, na implementação do regime de intervenção em serviço, o elemento encontra-se em serviço, mas com restrições decorrentes da intervenção nos sistemas de comando, controlo e proteção.

As intervenções podem ser de vários tipos, acarretando o risco de disparo intempestivo do elemento, de falha de comando a manobrar o órgão, surgimento de sinalizações.

Em virtude da sua ação direta sobre a RNT, vincula-se como o meio comunicação entre as entidades externas (consumidores em MAT, produtores, etc.), salas de comando (sala da RND, CTCH - sala do centro de telecomando das centrais hídricas, sala de comando da REE) e intervenientes internos à empresa, no diz respeito a troca de informação sobre a rede de transporte. Deste modo, é fundamental a participação na programação de trabalho que implique troca de informação e pareceres com o despacho nacional, com as equipas locais da REN, com a rede eléctrica espanhola, com a rede de distribuição e com todas as outras entidades.

### c. Sistemas e Desenvolvimento

Os Sistemas e Desenvolvimento (SD) são uma área direcionada para o *back office* da gestão global do sistema.

A sua atividade centra-se em gerir os sistemas de informação de suporte à atividade da gestão global do sistema, sendo encarregues de garantir a segurança de operação e de controlo remoto da rede. A seu cargo tem as aplicações EMS – *Energy Management System* e a manutenção da ferramenta SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*.

O SCADA é essencial a operação do sistema, dado que, é sistema informático que permite, em tempo real, a monitorização e operação da rede nacional de transporte, através da aquisição de dados e da emissão de comandos a elementos da rede através de um sistema de telecomunicações, Figura 10. [13]

As listas de alarmes gerados nas instalações e localmente pelo sistema informático (Figura 11), servem para auxiliar os operadores na leitura e compreensão da informação fornecida pelo SCADA, de forma, agirem de forma rápida e eficiente.

De igual modo, é da sua responsabilidade o desenvolvimento das aplicações de verificação técnica da geração e interligação (VTP), de análise de indisponibilidades de elementos da RNT (INDISP), de gestão de informação de mercado (GIM), e de previsão do consumo e produção de eólica que apoiam a gestão do sistema em tempo real.

O cálculo da capacidade de interligação em diferentes linhas temporais (semanalmente, mensalmente e trimestralmente), a atualização do plano nacional de deslastre frequencímetro, a análise das implicações da implementação de novos equipamentos, esquemas

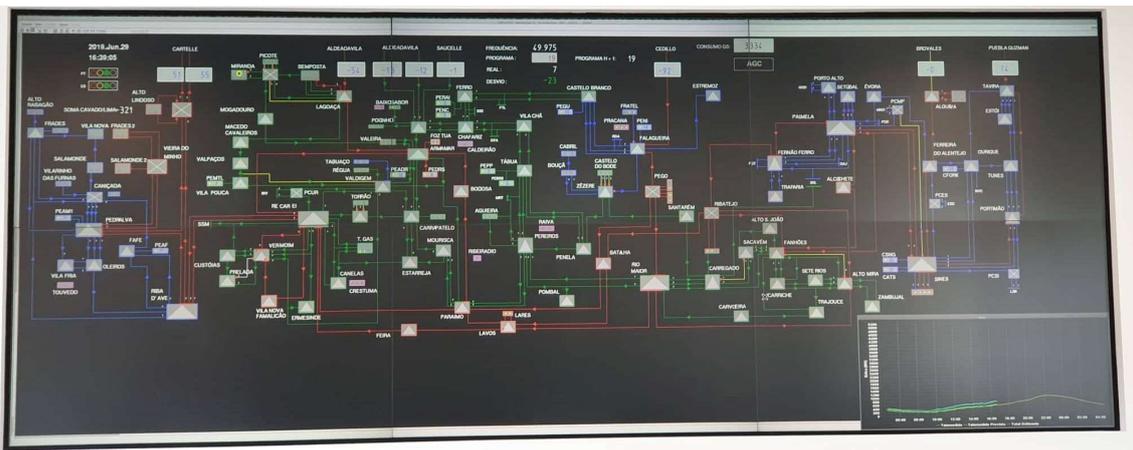


Figura 10 - Sinótico do SCADA instalado nas salas de comando da REN

EN		2014.Jun.18 10:11		Lista Geral de Eventos		15 / 22	
18.06	08:32:16,***	CVF	G1	SB1	Fechado		
18.06	08:32:31,720	SAL	M412 LAL. CTL1	Disjuntor	Aberto	ResCom	COR
18.06	08:32:36,740	SAL		Fechar Sec Isol D2	Inicio		
18.06	08:32:37,040	SAL	M422 LAL. RA2	Disjuntor	Aberto	ResCom	COR
18.06	08:32:37,180	SAL		Fechar Sec Isol D2	Fin		
18.06	08:33:37,820	SAL	M432	SLB2	Aberto		
18.06	08:33:55,840	SPD	TR1	Tomada No.	09		
18.06	08:34:19	ELRB	LLRBUD1	Pot. Aparen 1200 MVA	Inicio	Alta	1020
18.06	08:34:40,010	SCN	626 LCN. N. REGEDOURA	SB1	dist		
18.06	08:34:40,090	SCN	626 LCN. N. REGEDOURA	SB1	Aberto		
18.06	08:34:49	ELRB	LLRBUD1	Pot. Aparen 0 MVA	Fin	Alta	1020
18.06	08:34:49,753	SPD	TR2	Tomada No.	09		
18.06	08:35:52	CBC		Falha RTU SICAM	Inicio		
18.06	08:35:58	CRV		Falha RTU SICAM	Inicio		
18.06	08:36:09	ELRB	LLRBUD1	Pot. Aparen 1199 MVA	Inicio	Alta	1020
18.06	08:36:14	CBC		Falha RTU SICAM	Fin		
18.06	08:36:27	SRA	TR6	Tomada No.	11		
18.06	08:36:31	SRA	TR7	Tomada No.	10		
18.06	08:36:54	EJMO	M433	SILB	Fechado		
18.06	08:38:40	CRV		Falha RTU SICAM	Fin		
18.06	08:38:59	ELRB	LLRBUD1	Pot. Aparen 600 MVA	Fin	Alta	1020
18.06	08:39:40	EBZT	LBZTVDC	SIL	Aberto		
18.06	08:40:01,619	SET		Agente	Inicio		

Figura 11 - Exemplo de lista de alarmes do SCADA

especiais, monitorização das potências de curto-circuito, limites dinâmicos das linhas, entre outras, estão também a cargo dos sistemas e desenvolvimento. Adicionalmente, centram-se na gestão e troca de informação com as entidades externas (REE - Rede Eléctrica Espanhola, EDP – Energias de Portugal e ENTSO-E – European Network of Transmission System Operators for Electricity) que interagem, de alguma forma, com a RNT.

Adicionalmente, os sistemas de desenvolvimento estão encarregues da disponibilização/validação da informação necessária à tarifa Europeia ITC - Iniciativas Tecnológicas Conjuntas Europeias. Esta tarifa assegura uma compensação referente aos custos das perdas devido à incorporação de fluxos transfronteiriços de eletricidade e a disponibilidade da infraestrutura da RNT para acesso transfronteiriço.

Estão também a cargo dos SD os códigos EIC, sistema de Códigos mantido pela Rede Europeia dos Operadores das Redes de Transporte de Eletricidade, identificando os participantes no Mercado e outras entidades ativas no Mercado Interno Europeu da Energia.

Por fim, é responsabilidade do SD a definição dos programas de simulação para as sessões de treino de operadores, realizando duas vezes por ano, onde é testada as capacidades e as estratégias de resposta considerando situações de crise, isto é, em caso de incidentes críticos ao fornecimento de energia.

#### d. Operação de Mercado

A rede nacional de transporte tem vários pontos de interligação com a rede espanhola, permitindo a troca/comercialização de eletricidade em ambiente de mercado.

O contínuo desenvolvimento do processo de liberalização do sector elétrico culminou na criação de mercados transnacionais de eletricidade, agrupando mercados de eletricidade de diferentes países num único mercado. A existência de várias ligações transfronteiriças na RNT entre Portugal e Espanha, permitiu em 2007 a criação do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL), possibilitando otimizar o fornecimento de energia elétrica em termos económicos, promovendo a concorrência entre os agentes produtores de ambos os países.

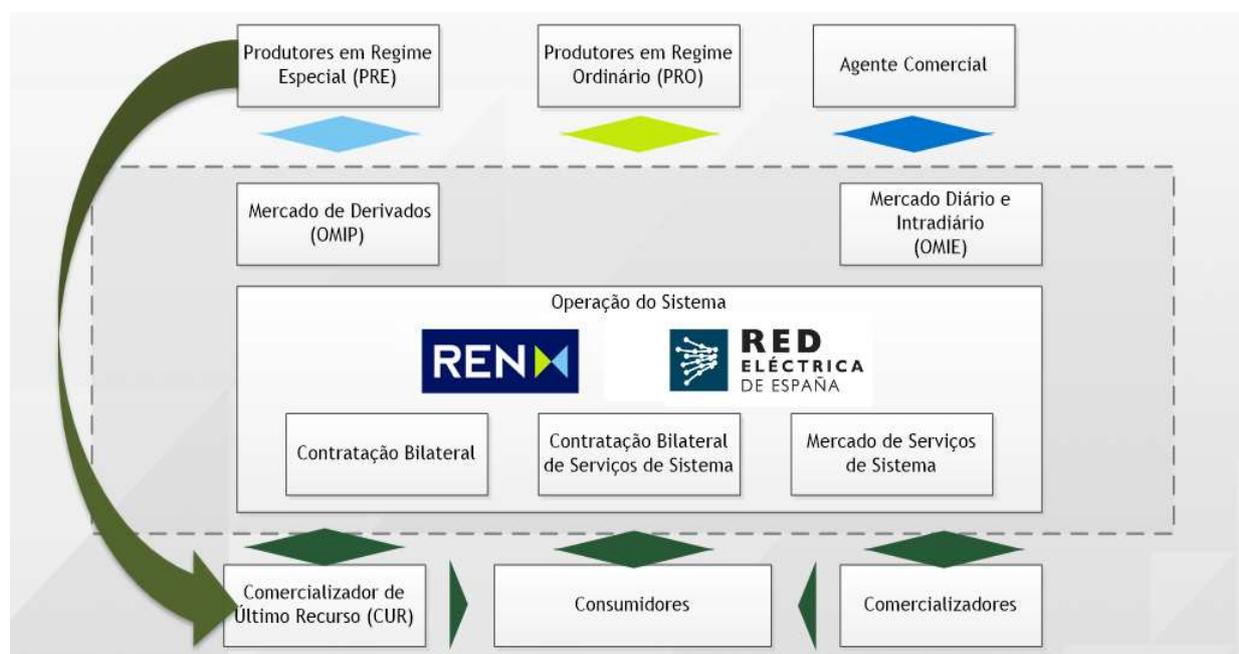


Figura 12 - Principais Intervenientes no MIBEL. [16]

Os resultados que daí advieram constituíram um contributo significativo não só para a concretização do mercado de energia elétrica a nível ibérico, mas também, à escala europeia, como um passo significativo para a construção do Mercado Interno de Energia. Mais tarde, em 2014, o MIBEL foi acoplado com os mercados do noroeste europeu. [14]

O MIBEL encontra-se disposto sob a forma de duas vertentes essenciais, a primeira é alusiva ao Mercado Diário e Mercado Intradiário, onde é definido o valor de energia elétrica e o preço da mesma a ser transacionada no dia seguinte e para cada uma das horas do dia, e outra respeitante ao Mercado de Serviços de Sistema. [15] Na Figura 11 é apresentada a estruturação de negociação do MIBEL.

Neste mercado as negociações entre os diversos agentes passaram a ser feitas num mercado comum, por outras palavras, as licitações poderão ser feitas independentemente do país em que os mesmos se encontrem, nomeadamente, Portugal ou Espanha. Pelo contrário, o mercado de serviços de sistema é separado, sendo que a REN é a empresa responsável pela gestão global do sistema em território Português e a REE em território Espanhol [17]. Na Figura 12, é apresentado o processo do mercado MIBEL.

Os serviços de sistema vão intervir de modo assegurar o equilíbrio entre a produção e o consumo, garantindo sempre que a rede funciona em perfeitas condições, ou seja, garantindo os limites de tensão e estabilidade de frequência, entre outros. O mercado de serviços de sistema é da responsabilidade do TSO - *Transmission System Operators* e divide-se em duas grandes categorias, sendo uma delas os serviços de prestação obrigatória e os serviços complementares.

A regulação primária constitui um serviço de carácter obrigatório e não remunerado, é a reserva que tem como finalidade a correção automática de desequilíbrios instantâneos que ocorrem entre o que se encontra a ser produzido e o que se encontra a ser consumido. Esta reserva deverá atuar num intervalo de tempo de 15 a 30 segundos e realiza-se através da variação da de potência dos geradores que se encontrem ligadas a RNT. De acordo com ENTSO-E, o valor mínimo de reserva primária deveser de 15000 MW/Hz, em todo o sistema europeu, repartindo-se este valor pelos diversos elementos síncronos constituintes do sistema europeu que se encontrem interligados. [18]

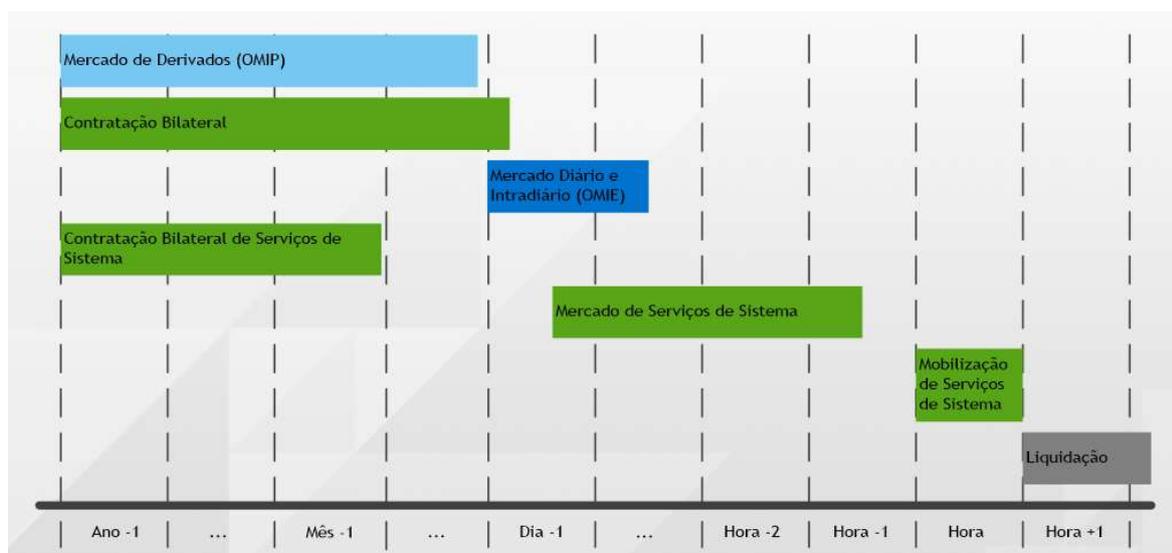


Figura 13 - Processos do Mercado MIBEL [16]

Os serviços complementares incorporam a Reserva Secundária, Reserva de Regulação, Controlo de Tensão, Arranque Automático, a Resolução de Restrições Técnicas e a Interruptibilidade.

É responsabilidade do operador de sistema determinar a reserva necessária para a gestão do sistema, tendo por base as normas e as regras estabelecidas pela legislação europeia. A REN, como gestor do sistema, determina quais as quantidades de energia a contratar, e anualmente publica a lista das unidades de programação (unidades de produção) que se encontram habilitadas a realizar tal serviço de acordo com o regulamento de operações das redes publicado pela ERSE.

#### 4. Qualidade de Serviço

A REN, como referido anteriormente, enquanto concessionário da Rede Nacional de Transporte (RNT) de eletricidade e prestadora de um serviço público, deverá cumprir as obrigações de qualidade de serviço quer de natureza técnica quer de natureza comercial aplicáveis ao Sistema Elétrico Nacional, definidas no Regulamento de Qualidade de Serviço do setor elétrico, parte integrante do Regulamento nº 243/2017, publicado no Diário da República, 2ª série, de 20 de dezembro. [19]

No ano de 2017, Portugal assistiu a uma infortuna vaga de incêndios, em particular a região Centro do País, alcançando um nível de avaliação de adequado referente à segurança e continuidade de abastecimento de energia elétrica. A REN deparando-se com o impacto que os incêndios dos dias 15 e 16 de outubro tiveram na rede solicitou à ERSE a classificação de evento excepcional. [1]

Assim, em 2017 o número de incidentes aumentou 55,7% relativamente ao ano de 2016, registando-se mais 97 incidentes na rede Muito Alta Tensão (MAT), sendo que destes 61 tiveram origem em incêndios e 21 em descargas atmosféricas, sendo estas as duas principais causas de incidentes.

Em 2017, foram registados 285 incidentes com impacto na rede MAT, tendo 241 origem na rede MAT, 15 em equipamentos de alta tensão (AT) e 29 nas restantes redes. Apenas um pequeno número destes incidentes, aproximadamente 14 incidentes (4,9% do total), é que provocaram interrupção de abastecimento de energia elétrica aos consumidores, tendo metade provocado interrupções superiores a 3 minutos e resultando num corte de 10,5 MWh. Realça-se que 7 das 14 interrupções ocorreram nos dias 15 e 16 de outubro, solicitando a REN à ERSE a classificação evento excepcional. [1] No Gráfico 4 podemos observar a distribuição da origem dos 271 incidente com repercussão na rede MAT.

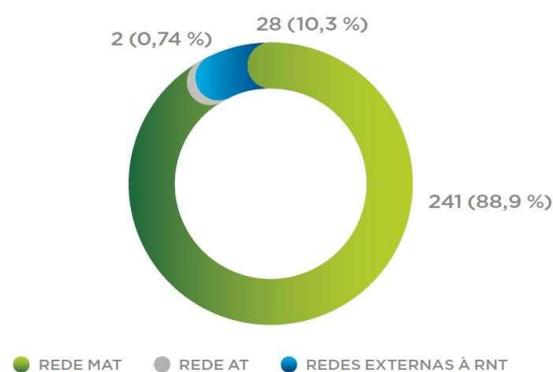


Gráfico 4 - Origem dos incidentes com repercussão na rede MAT [1]

Dos 241 incidentes com origem na rede MAT, 97,1% teve origem em linhas aéreas, sendo que destes 35,5% foram devido a incêndios, 26,1% foram devido a descargas elétricas e 18,8 provocadas por cegonhas, Gráfico 5. [1]

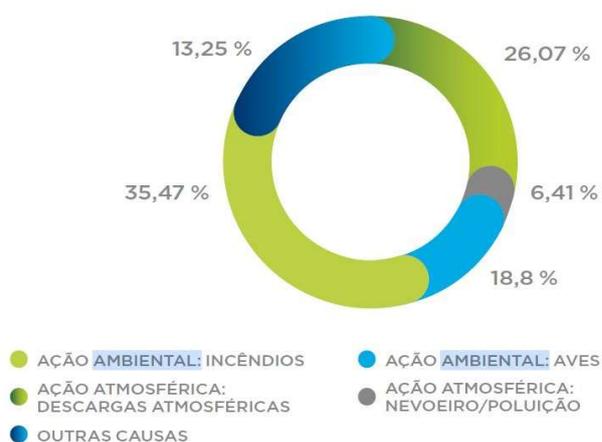


Gráfico 5 - Origem dos incidentes em linhas [1]

A REN, no sentido de melhorar a sua Qualidade de Serviço, tem vindo a tomar medidas no sentido de reduzir o impacto dos diversos agentes externos, nomeadamente, as aves, a poluição/humidade e a vegetação na proximidade dos equipamentos AT.

Registaram-se 367 interrupções, consequência de incidentes com origem em linhas, mais 210 do que o registado em 2016, sendo que, 140 tiveram um tempo de interrupção igual ou superior a 1 minuto. O somatório dos tempos de interrupções permanentes, correspondendo a 3 273 horas, foi o mais alto registado nos últimos anos, em parte devido ao incidente na central da Bemposta. [1]

A continuidade de serviço no fornecimento de energia eléctrica é avaliada segundo dois tipos de indicadores de qualidade, os de natureza geral (relativos ao desempenho global da RNT), estando separados em indicadores relativos aos pontos de entrega a instalações de consumo e a instalações de produção, e os de natureza individual (relativos ao desempenho da RNT em cada ponto de entrega). [19] Os indicadores de natureza geral, relativos aos pontos de entrega a instalações de consumo, são:

- Energia fornecida (ENF) calculada em MWh;
- Tempo de interrupção equivalente (TIE) calculado em minutos;
- Frequência média de interrupções longas (SAIFI);
- Duração média das interrupções do sistema (SAIDI) calculado em minutos;
- Tempo médio de reposição de serviço do sistema (SARI) calculado em minutos;
- Frequência Média das Interrupções de Curta Duração (MAIFI).

Por outro lado, os indicadores de natureza geral, relativos aos pontos de entrega a instalações de produção, são:

- Frequência média de interrupções longas (SAIFI);
- Duração média das interrupções do sistema (SAIDI) calculado em minutos;
- Tempo médio de reposição de serviço do sistema (SARI) calculado em minutos;

- Frequência Média das Interrupções de Curta Duração (MAIFI).

No cálculo dos indicadores referidos são consideradas todas as interrupções que afetem os pontos de entrega, sendo excluídas aquelas que não interrompam outras instalações de consumo ou de produção. E ainda, discriminada a globalidade da rede e as interrupções previstas e acidentais. [19]

Os indicadores de natureza individual, calculados anualmente, são:

- Número de interrupções;
- Duração total das interrupções, em minutos

O cálculo destes indicadores é feito para as instalações de consumo, e de uma forma separada para as instalações de produção.

No Gráfico 6 é possível ver a evolução dos indicadores gerais da continuidade de serviço na RNT. [1]

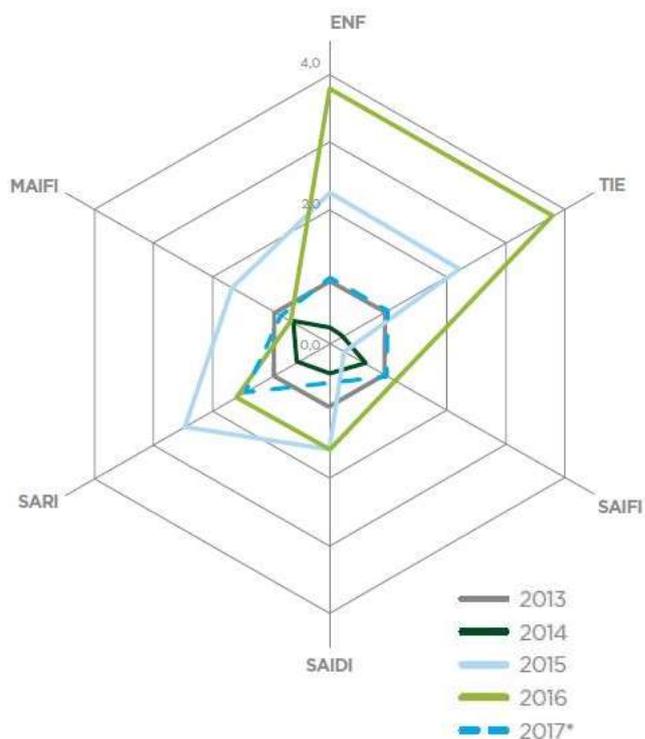


Gráfico 6 - Evolução dos indicadores da continuidade de serviço [1]

No Gráfico 6, não são considerados os impactos provocados pelos incêndios de 15 e 16 de outubro, caso fossem considerados, as interrupções causadas pelos incêndios nestes dias com uma duração de 230,5 minutos iriam afetar os indicadores SAIDI e SARI, o que representava um agravamento destes relativamente aos últimos 5 anos. [1]

O TIE registado em 2017 foi de 0,11 minutos, sendo, imputado diretamente à REN 6,6 segundos, correspondendo a uma energia não fornecida de 10,5 MWh, resultante de 7 interrupções de duração superiores a 3 minutos ocorridas no mês de outubro. No gráfico abaixo é possível verificar-se a evolução do TIE nos últimos 10 anos. [1]

Os indicadores, em 2017, de forma geral, encontram-se em sintonia com os valores registados nos últimos anos. Este resultado é o resultado das políticas de intervenção ativa ao nível do investimento e da manutenção na infraestrutura da rede elétrica.

Outros fatores que influenciam a qualidade de serviço, são as cavas de tensão, sobretensões momentâneas, as flutuações de tensão, desequilíbrio no sistema trifásico de tensões, distorções harmónicas, entre outras.

As cavas de tensão, são diminuições bruscas da tensão, sendo reposta a normalidade num intervalo de tempo de 10 ms a 1 minuto. Estas podem não causar interrupções, contudo, podem prejudicar os processos produtivos das indústrias alimentada direta ou indiretamente à RNT. Por regras, as cavas de tensão surgem devido a curto-circuitos que provocam a atuação dos sistemas de proteção da rede.

Em suma, nos últimos anos a REN tem conseguido desenvolver a sua atividade no sentido de melhorar a RNT, com o maior grau de qualidade de serviço do fornecimento de energia elétrica e segurança de abastecimento. Estas melhorias derivam no forte investimento que tem vindo a ser feito ao longo dos anos tanto a nível da infraestrutura da rede, como a nível de tecnologias informáticas como a nível de contratação de mão-de-obra.

#### Referências

[1] REN - Redes Energéticas Nacionais. Relatório da Qualidade de Serviço. 2017

[2] WATTSON. [Consultado em Julho de 2019]. Disponível em:

<https://www.wattson.pt/2018/10/31/central-solar-portuguesa-comprada-pela-allianz/>.

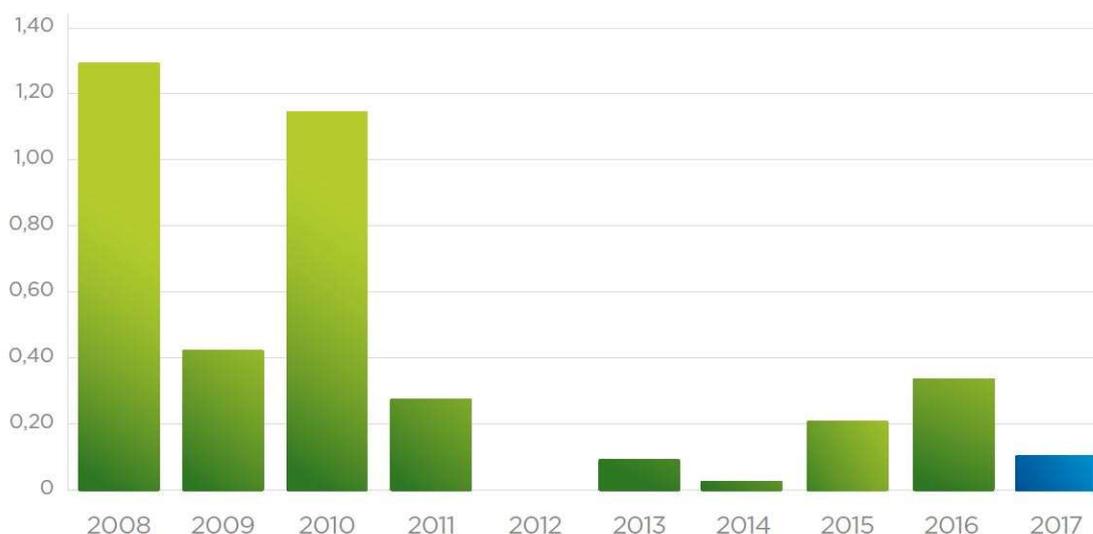


Gráfico 7 - Evolução do TIE nos últimos 10 anos [1]

- [3] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Caracterização da Procura de Energia Elétrica em 2019. Dezembro de 2018.
- [4] Ministério da Economia e da Inovação. Decreto-Lei n.º 29/2006. D.R. Nº3, série I-A. 2006-02-15.
- [5] REN - Rede Energéticas Nacionais. O Sector Elétrico. [Consultado em Julho de 2019]. Disponível em: [https://www.ren.pt/pt-PT/o\\_que\\_fazemos/eletricidade/o\\_setor\\_eletrico/#5](https://www.ren.pt/pt-PT/o_que_fazemos/eletricidade/o_setor_eletrico/#5).
- [6] Paiva, J. P. S. (2011). Redes de Energia Elétrica - Uma Análise Sistémica (3a Edição). IST Press.
- [7] REN - Rede Energéticas Nacionais. Caracterização da Rede Nacional de Transporte para Efeitos de Acesso à Rede. 2018.
- [8] REN - Rede Energéticas Nacionais. Sistema de Informação de Mercados de Energia. [Consultado em Julho de 2019]. Disponível em: <http://www.mercado.ren.pt/PT/Electr/Paginas/default.aspx>.
- [9] REN - Rede Energéticas Nacionais. Gestão do Sistema. 2015.
- [10] REN - Rede Energéticas Nacionais. Centro De Informação. [Consultado em Julho de 2019]. Disponível em: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/Paginas/CiHomePage.aspx>.
- [11] H. Laranjeira Cruz, A. Carlos Sepúlveda Machado Moura Co-orientador e R. Vasco Fernandes. Disjuntores de potência da RNT-Implementação de uma base de dados e desenvolvimento de uma aplicação informática de apoio. 2014.
- [12] REN - Rede Energéticas Nacionais. Gestão do Sistema - Operador de Rede: missão e funções.
- [13] REN - Rede Energéticas Nacionais. Formação Operadores COR - Sistema SCADA, versão9.
- [14] MIBEL. [Consultado em Julho de 2019]. Disponível em: <http://mibel.com>.
- [15] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Descrição do Funcionamento do Mibel. 2009.
- [16] REN - Redes Energéticas Nacionais. Portuguese Electricity Market. 2014.
- [17] Cardoso , C. F. D. M. A Interligação Elétrica entre Portugal e Espanha. 2011.
- [18] Union for the Coordination of the Transmission of Electricity (UCTE). [Consultado em Julho de 2019]. Disponível em: <https://www.entsoe.eu/about/system-operations/#operations>.
- [19] ERSE. Regulamento da Qualidade de Serviço do Setor Elétrico e do Setor do Gás Natural. 2017.



**Título:** Instalações Elétricas de Média Tensão – Postos de Transformação e Seccionamento  
**Autor:** António Augusto Araújo Gomes, José António Beza Carvalho  
**Editora:** Publindústria  
**Data de Edição:** 2017  
**ISBN:** 9789897232541  
**Nº Páginas:** 195  
**Encadernação:** Capa mole

**Sinopse:**

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia eletrotécnica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas. Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre o projeto, execução e exploração de postos de transformação e seccionamento aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir os custos de execução e exploração das instalações.

António Augusto Araújo Gomes  
 José António Beza Carvalho

**INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE MÉDIA TENSÃO**  
**POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E SECCIONAMENTO**

**Sobre o livro**

Esta obra pretende ser, acima de tudo, uma ferramenta didática de apoio aos alunos de cursos de engenharia eletrotécnica, bem como a técnicos responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas. Pretende ser ainda uma ferramenta prática de estudo e de trabalho, capaz de transmitir conhecimentos técnicos, normativos e regulamentares sobre o projeto, execução e exploração de postos de transformação e seccionamento aos diversos agentes eletrotécnicos, tornando-os capazes de, para cada instalação na qual sejam intervenientes, maximizar a segurança, a fiabilidade e a funcionalidade, assim como reduzir os custos de execução e exploração das instalações.

**Sobre os autores**

**António Augusto Araújo Gomes**

Bacharel em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, Licenciado e Mestre (em Habilitação em Engenharia Eletrotécnica e Computadores) pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor adjunto no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999. Coordenador de Células na CIBERTEL – Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Neutro à Terra – Gabinete de Engenharia Lda (2000 a 2006). Prestação de serviços de formação e/ou projeto e/ou assessoria e/ou consultoria no âmbito das instalações elétricas, interconexões, segurança, gestão de energia, eletrónica energética, a diversas entidades, nomeadamente NERFAM – Consultores de Engenharia, SA, Schurnal – Engenharia e Serviços, Lda, ENERDO – Consultores de Engenharia, Lda, EQ – Instituto de Segurança e Qualidade, Quatérios – Indústria de Químicos Elétricos, SA, EP – Instituto Eletrotécnico Português, CENBITEC – Centro de Energia e Tecnologia, ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações, IIT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico, IEM – Agência de Energia Entre Douro e Vouga.

**José António Beza Carvalho**

Bacharel em Engenharia Eletrotécnica pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, Mestre e Doutor em Engenharia Eletrotécnica na especialidade de sistemas de energia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor Coordenador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, desempenhando as funções de Diretor do Departamento. Integra a direção da Escola Tecnológica de Vale de Camba como representante do Instituto Politécnico do Porto. É autor de vários artigos publicados em conferências nacionais e internacionais, diretor da revista Neutro à Terra e integrou vários juries de provas públicas de doutoramento e para a carreira do ensino superior.



## POTENCIAL ENERGÉTICO DAS CORRENTES DE MARÉ NA RIA DE AVEIRO

### Resumo

*A energia das correntes de maré aproveita a energia cinética existente no movimento de água induzido pela propagação da maré. Esta fonte de energia tem uma série de vantagens em relação a outras energias renováveis. Contudo, o desenvolvimento de indústrias dedicadas à exploração de energia de correntes de maré ainda está num estado inicial. A Ria de Aveiro cuja dinâmica é dominada pela propagação de maré, é um local atraente para avaliar o potencial de produção deste tipo de energia. Neste contexto, foi utilizado o modelo numérico DELFT3D para quantificar o potencial energético das correntes de maré na Ria de Aveiro e para avaliar a viabilidade de uma possível instalação de turbinas.*

*Palavras chave—Correntes de maré. Ria de Aveiro, DELFT3D.*

### 1. Introdução

Preocupações acerca da redução das fontes energéticas convencionais, do aumento do preço dos combustíveis, assim como do aumento contínuo das emissões de carbono forçaram os investigadores a explorar fontes de energia alternativas [1].

O oceano oferece uma grande diversidade de fontes de energia, por exemplo a energia das ondas, a energia térmica do oceano e a energia das marés. A energia das marés recebe atenção mundial pois é uma fonte de energia renovável que apresenta alta densidade energética, alta previsibilidade e baixo impacto ambiental. Representa uma importante fonte de energia visto que o potencial energético das marés é estimado ser à volta de 450 TWh/ano [2].

A maré é traduzida pelas alterações cíclicas do nível das águas do mar que têm como causa a atração gravitacional do Sol e da Lua.

Matematicamente a maré é uma soma de sinusóides cuja periodicidade é conhecida e depende exclusivamente de fatores astronómicos. As amplitudes de marés vivas em Portugal Continental são cerca de 1.5m. Isto é, o mar sobe e desce 1.5m em relação ao nível médio. Em marés mortas a amplitude da maré é da ordem dos 70cm [3].

Apesar de ainda não ser muito usada, a energia das marés é uma das formas mais antigas de energia renovável usada pela humanidade. Moinhos de maré são usados desde o séc. VI [4]. Intermitência é um problema para a energia eólica, das ondas e solar. Essas fontes de energia renovável muitas vezes exigem um backup das formas tradicionais de geração de energia. No entanto, a previsibilidade inerente do poder de maré é altamente atraente para a gestão de rede, evitando que seja necessário a utilização de um backup principalmente alimentado por centrais de combustíveis fósseis [5].

Existem, principalmente, dois métodos para gerar energia através das marés: aproveitar a energia potencial da subida e descida de maré através da construção de uma barragem ao longo de uma baía ou de um estuário em áreas de maré alta; ou extrair a energia cinética das correntes de fluxo livre que ocorrem durante enchentes e vazantes.

As instalações de energia das marés podem ser classificadas em dois tipos: barragens de maré e sistemas de correntes de maré [4]. A tecnologia requerida para converter a diferença de nível da água induzida pela maré em eletricidade é muito semelhante à utilizada numa central hidroelétrica convencional. As barragens de maré usam a energia potencial na diferença de alturas entre a maré alta e a maré baixa.

Há uma grande variedade de projetos de turbinas, que podem ser projetados para operar em ambos os sentidos, vazante e enchente [4].

Esta tecnologia é considerada madura, confiável e tem excelente potencial. No entanto, as questões atuais que restringem o seu desenvolvimento são os elevados custos da infraestrutura, a escassez mundial de locais viáveis e o impacto ambiental.

Os sistemas de corrente de maré extraem a energia cinética da água em movimento de forma semelhante à que os moinhos de vento extraem energia do ar. A instalação de dispositivos de corrente de maré requer um uso mínimo terrestre.

Em contraste com as barragens de maré os conversores hidrocínicos de maré são construídos sem alterar significativamente o caminho natural do fluxo de água. Dispositivos de corrente de maré são normalmente totalmente submersos, portanto não afetarão visualmente ou acusticamente o seu redor. Estas tecnologias podem ser organizadas em matrizes de várias unidades. A modularidade e a escalabilidade são características atraentes desta tecnologia [4]. Este sistema está a ganhar popularidade devido ao menor custo e impacto ambiental em comparação com as barragens de maré [4].

Projetos recentes estão focados na conceção de uma nova abordagem baseada em microturbinas hidrocínicas, adequadas para locais onshore/nearshore, onde há elevada energia cinética. Esta situação torna possível usar a energia gerada em locais próximos aos pontos de consumo de energia, como cidades e portos, minimizando o impacto ambiental, bem como os custos de investimento e operacional correspondentes [6].

Contudo, o desenvolvimento de sistemas para exploração de energia das marés e a implementação de turbinas enfrenta alguns problemas importantes. Um dos principais problemas é a localização ideal dos sistemas de corrente de maré, uma vez que os locais de maré adequados são limitados.

Na verdade, as turbinas de maré não podem ser instaladas em águas pouco profundas devido à turbulência causada pelas ondas. Por outro lado, elas também não podem ser colocadas em águas profundas devido à diminuição da velocidade da corrente de maré com a profundidade [2].

As turbinas de eixo horizontal são o meio mais comum de extrair energia das correntes marinhas e são bastante semelhantes em termos de design às turbinas eólicas. Embora haja uma variedade de abordagens, todos os dispositivos consistem numa turbina com um eixo de rotação horizontal, alinhado paralelamente ao fluxo da corrente. Estas turbinas de fluxo axial geralmente usam um mecanismo de “descolagem” envolvendo um gerador acoplado ao eixo da turbina, diretamente ou por meio de uma caixa de engrenagens, para produzir eletricidade [4].

As turbinas de eixo horizontal são divididas em duas categorias: não-ductadas e ductadas. Os ductos são estruturas fixas colocadas em redor do lado externo de um rotor para aumentar a sua potência, criando um efeito de funil [4].

As turbinas de eixo vertical extraem energia das marés de maneira similar às horizontais, no entanto, a turbina é montada num eixo vertical. O fluxo das marés faz com que os rotores girem em torno do eixo vertical e gerem energia. São também designadas por turbinas de fluxo cruzado [4].

O objetivo principal deste trabalho é calcular o potencial energético que a Ria de Aveiro pode oferecer através das velocidades das correntes induzidas pela propagação da maré.

Nos seguintes capítulos será feita uma descrição da área de estudo, da metodologia e dos resultados, por esta ordem. Posteriormente, será apresentada a discussão destes resultados e as respetivas conclusões.

## II. ÁREA DE ESTUDO

A Ria de Aveiro é uma laguna costeira de reduzida profundidade situada na costa noroeste do Atlântico de Portugal (40. 38'N e 8. 44'W), separada do mar por uma barra de areia. Tem uma geometria muito irregular e complexa, caracterizada por canais estreitos e pela existência de zonas interditaís significativas. Está conectada com o Atlântico através de um canal artificial e troca a maior parte da sua água com o oceano através da propagação da maré ao longo deste canal. A laguna tem uma largura e comprimento máximos de 10 e 45 km, respetivamente, e numa maré viva cobre uma área de 83 km<sup>2</sup> na maré alta, reduzida para 66 km<sup>2</sup> na maré baixa. A profundidade média da laguna é de cerca de 1 m, exceto nos canais de navegação onde as operações de dragagem são realizadas com frequência. As marés na embocadura da laguna são predominantemente semidiurnas, com uma amplitude média de aproximadamente 2.0 m. A amplitude de maré mínima é de 0.6 m (marés mortas) e a amplitude máxima é de cerca de 3.2 m (marés vivas), correspondendo a um nível máximo e mínimo de água de 3.5 e 0.3 m, respetivamente. De acordo com estes valores, a Ria de Aveiro é uma laguna mesotidal [7].

## III. METODOLOGIA

O modelo numérico utilizado para a realização deste trabalho foi o DELFT3D. É um modelo usado a nível mundial para estudar a hidrodinâmica, o transporte de sedimentos, a morfologia e a qualidade de água para zonas costeiras, ambientes fluviais e estuarinos. Um dos vários módulos deste modelo é o FLOW, um submodelo multidimensional (2D e 3D) de simulação hidrodinâmica e de transporte que calcula fluxos e transporte de sal e calor, resultantes do forçamento tanto das correntes de maré como meteorológico [8].

Delft3D-Flow é um modelo de simulação hidrodinâmica multidimensional que calcula o fluxo não-estacionário e os fenómenos de transporte resultantes da força das marés e meteorológicas numa grelha ajustada.

O modelo consiste num código de diferenças finitas que resolve as equações baroclínicas de Navier-Stokes e de transporte sob hipóteses de águas pouco profundas e de Boussinesq. O modelo utilizado foi previamente calibrado pelo Núcleo de Modelação Estuarina e Costeira, tendo os parâmetros sido ajustados à área de estudo, de maneira a reproduzir com precisão a sua hidrodinâmica [9].

Utilizando a implementação do modelo referido foi efetuada uma simulação de um ano, com um "time step" de 2 minutos. Foram guardados mapas horizontais de 2 em 2 horas, com início às 00:00:00 do dia 1 de junho de 2002 e fim às 00:00:00 do dia 1 de junho de 2003.

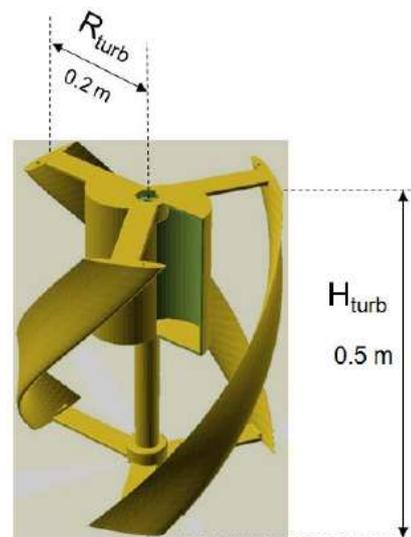


Figura 1. Turbina de eixo vertical Savonius-Gorlov

A turbina escolhida para a realização deste trabalho foi uma turbina Savonius-Gorlov (Fig. 1). Esta turbina consiste num híbrido entre a turbina Savonius, devido ao seu bom desempenho em baixas velocidades, e a turbina Gorlov pois é a turbina que obtém os valores máximos de eficiência.

O modelo é composto por uma Gorlov com um raio de 0.2 metros e um comprimento de 0.5 metros com uma pequena Savonius, deslocada 90 graus para fornecer torque inicial a baixas velocidades de corrente.

A Pteo (Potência teórica) obtida a partir de uma corrente de água do mar usando uma turbina de eixo vertical é apresentada na equação (1) [10][4]:

$$P_{teo} = \frac{1}{2} \times \rho \times H_{turb} \times R_{turb} \times V^3 \quad (1)$$

onde  $R_{turb}$  é o raio da turbina,  $H_{turb}$  é o comprimento da turbina,  $\rho$  é a densidade da água do mar e considerando  $V$  como a intensidade da velocidade da corrente, calculado pela equação (2) [10]:

$$V = \sqrt{(u^2 + v^2)} \quad (2)$$

Os valores utilizados para os cálculos são:  $R_{turb} = 0.2$  m,  $H_{turb} = 0.5$  m e  $\rho = 1025$  Kg/m<sup>3</sup>.

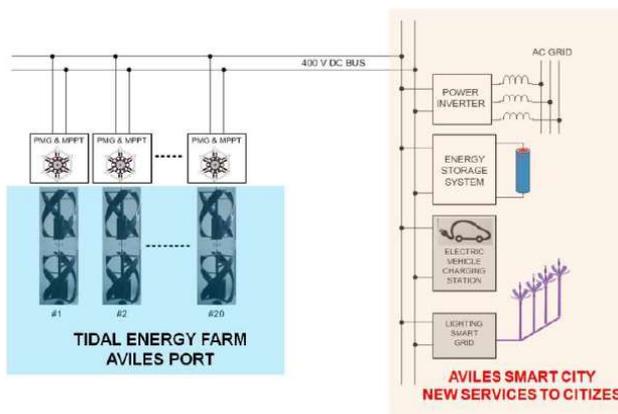


Figura 2 - Sistema de microgeração de energia de correntes de marés do Porto de Avilés [10].

Esta turbina pode ser incorporada numa central de microgeração de energia das marés, como foi feito no Porto de Avilés, Espanha (Fig. 2).

A estrutura era composta por 20 turbinas Savonius-Gorlov, numa matriz de 5 por 2 com 2 “pisos”, onde as turbinas se encontravam sobrepostas [10].

Foi obtido o ciclo de maré previsto para a estação da Barra durante o período de um ano, com o fim de identificar as marés de maior e menor amplitude. Foram obtidos os mapas de velocidades horizontais para cada uma dessas marés assim como os mapas de potencial teórico.

A partir destes mapas foram seleccionadas as zonas com maior potencial teórico com o objetivo de simular a instalação de uma central de geração compostas por turbinas.

Para conseguir completar este objetivo foi simulada a potência teórica de uma turbina para cada um dos locais seleccionados, durante um ano. Por fim foi realizado um cálculo da potência teórica que cada central produziria durante um ano e foi feita a soma total da potência teórica.

#### IV. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados de altura de água ao longo de um ciclo de maré previsto para a estação da Barra. Esta estação foi escolhida para estudar a variação da altura de maré na zona da ligação entre a Ria de Aveiro e o mar. Foram também obtidos 6 mapas de velocidades horizontais referentes à maré de maior amplitude durante o período de simulação, assim como 6 mapas referentes à maré de menor amplitude, dos quais só será apresentado um exemplo devido às limitações de tamanho do documento. Usando a Eq. 5, foram obtidos mais 12 mapas, referentes às potências teóricas da maré de maior amplitude (6) e à potência de maré de menor amplitude (6), onde também só será apresentado um exemplo devido à razão descrita acima. Posteriormente, foram escolhidos 4 locais onde foi estudada a sua profundidade, durante o período de simulação, no momento logo após à maré de maior amplitude, e onde foram simuladas implantações de turbinas Savonius-Gorlov. Finalmente, foram calculadas as potências teóricas para cada um dos locais definidos, assim como se considerou a construção de uma central de geração de energia em cada local, sendo que no final se calculou uma potência teórica total.

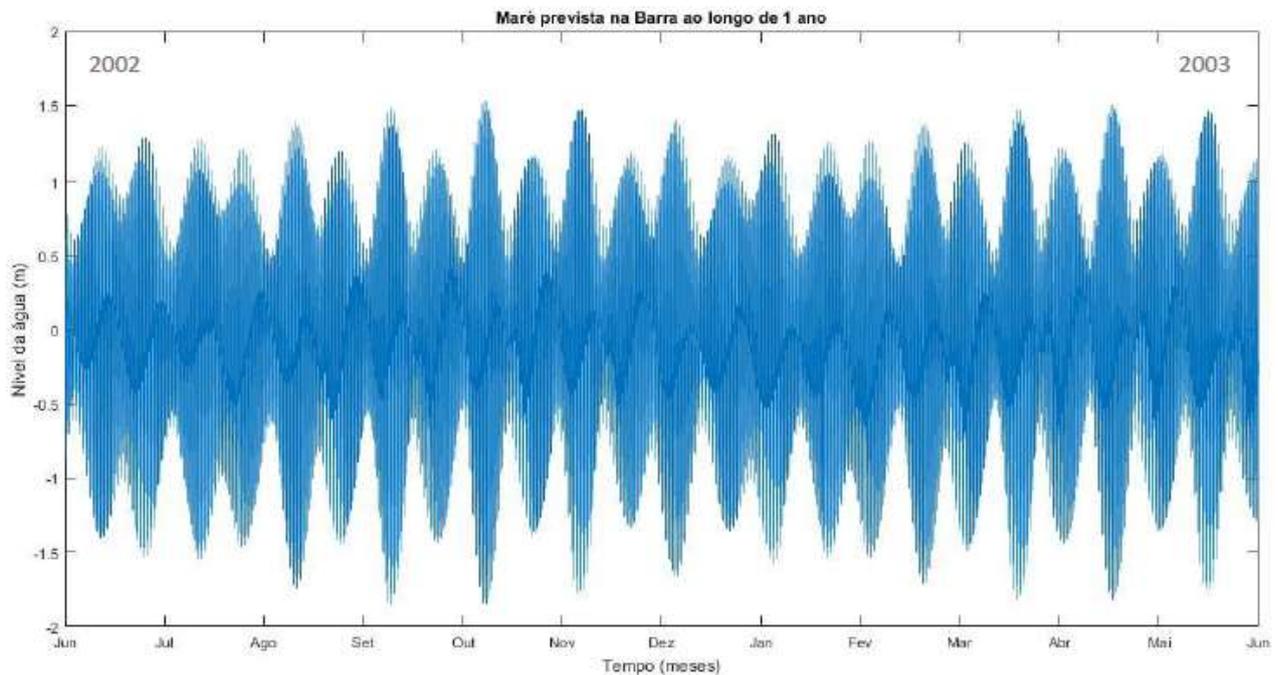


Figura 3 – Evolução da amplitude de maré no decurso de um ano na estação da Barra

Após análise dos ciclos de maré que ocorreram desde o dia 1 de junho de 2002 até ao dia 1 de junho de 2003 na estação da Barra (Fig.3), verificou-se que a maré de maior amplitude durante este período de tempo ocorreu no dia 7 de outubro de 2002, sendo a preia-mar prevista às 15h40.

Verificou-se ainda que a maré de menor amplitude durante este período ocorreu no dia 13 de outubro de 2002 sendo que a preia-mar foi prevista às 21h10.

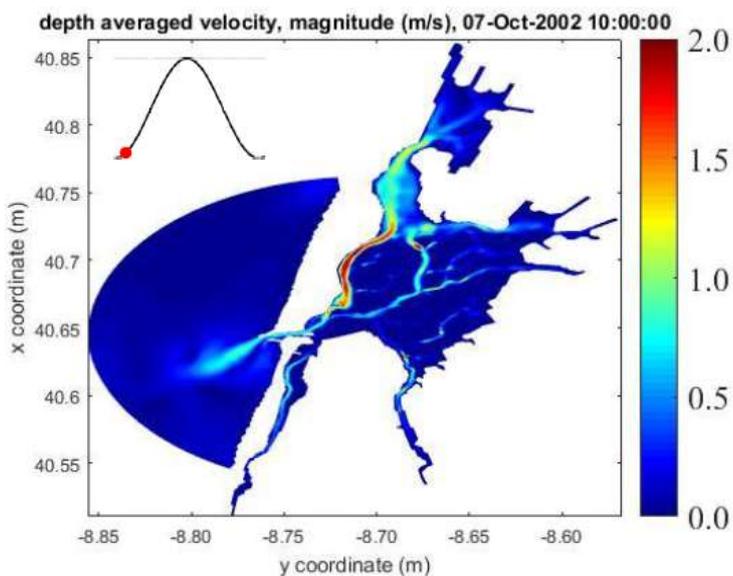


Figura 4 – Exemplo de mapa de velocidades horizontais

De uma forma geral, para os mapas de velocidades horizontais (Fig.4), verifica-se que as zonas de maior velocidade ocorrem nos canais de navegação e as de menor velocidade, quase nula, nas zonas centrais alagáveis da Ria de Aveiro (antigas marinhas). No início da enchente, observam-se velocidades altas que abrandam ao longo do tempo, que por sua vez voltam a aumentar no final da enchente. Posterior à preia-mar, ou seja, no início da vazante, verificam-se velocidades baixas que tendem a aumentar à medida que a maré vaza sendo observados os máximos de velocidade nos instantes anteriores à baixa-mar.

Usando a Equação 1 e as velocidades obtidas foram feitos mapas de potência para a maré de maior amplitude durante o período da simulação, assim como para a maré de menor amplitude.

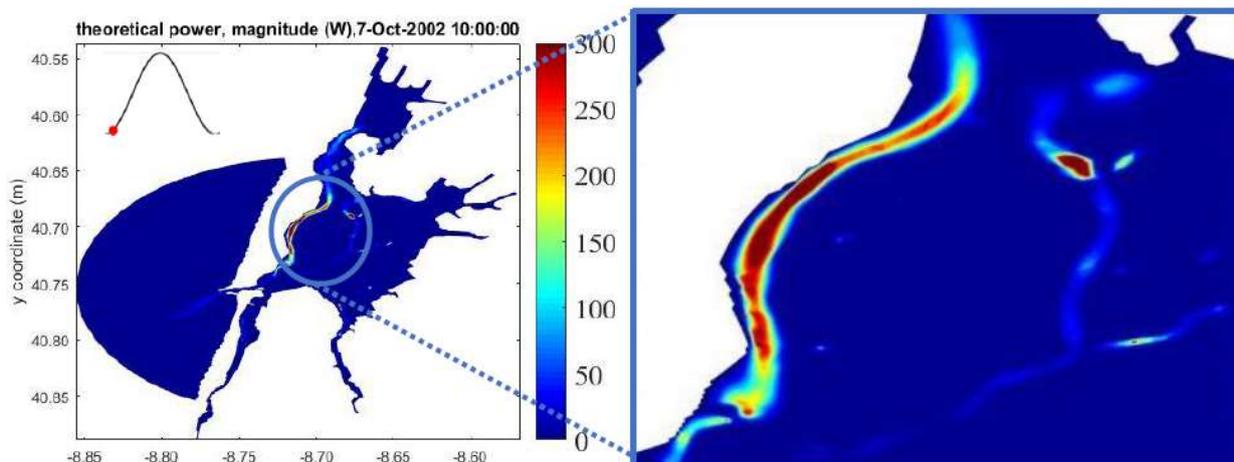


Figura 5 – Exemplo de mapa de potência teórica

De uma forma geral, para os mapas de potências teóricas (Fig.5), observa-se que as potências maiores ocorrem nos canais de navegação e as potências mais baixas nas zonas centrais alagáveis da Ria de Aveiro (antigas marinhas). Sendo a potência diretamente proporcional à velocidade, verificam-se potências altas no início da enchente que diminuem nas horas seguintes e que tendem a aumentar com o aproximar do final da enchente. Seguido à preia-mar, verificam-se potências baixas que tendem a aumentar à medida que a maré vaza sendo observados os máximos de potência nos instantes finais da vazante.

Considerando os resultados obtidos, verifica-se que as zonas com maior potencial para implantação de turbinas são a zona da Barra, no Canal de S. Jacinto, no Canal de Ovar e no Canal Espinheiro (Fig.6).

Considerando os resultados obtidos, foram então feitas simulações para as diferentes zonas. Foi calculada a potência teórica que uma turbina pode fornecer durante o período de um ano.

Obtiveram-se os gráficos da potência teórica ao longo do ano para o Canal de Ovar (Fig.7) para o Canal Espinheiro (Fig. 8) para o Canal de S. Jacinto (Fig.9) e para a zona da Barra (Fig.10).

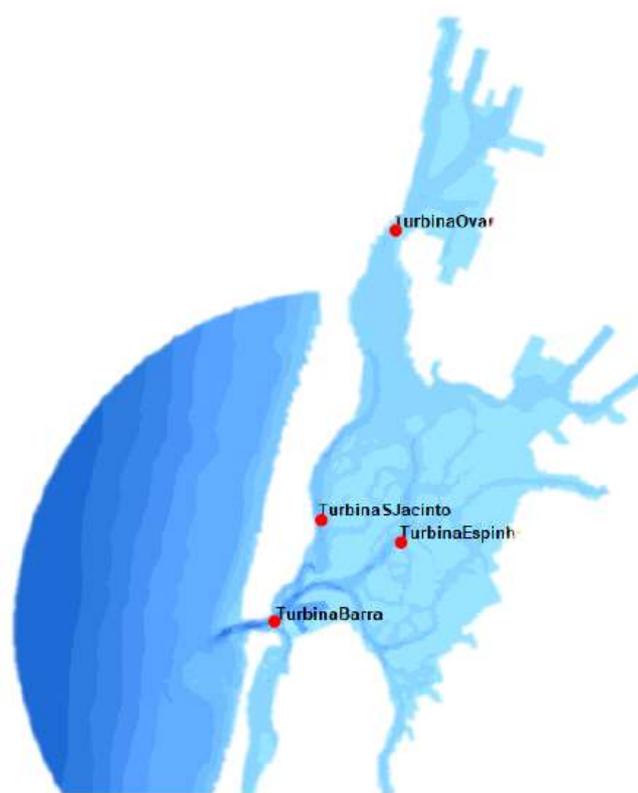


Figura 6 - Zonas da Ria de Aveiro onde serão realizadas as simulações de implantação de turbinas (Turbina Barra, Turbina do Canal de S. Jacinto, Turbina do Canal de Ovar, Turbina do Canal Espinheiro)

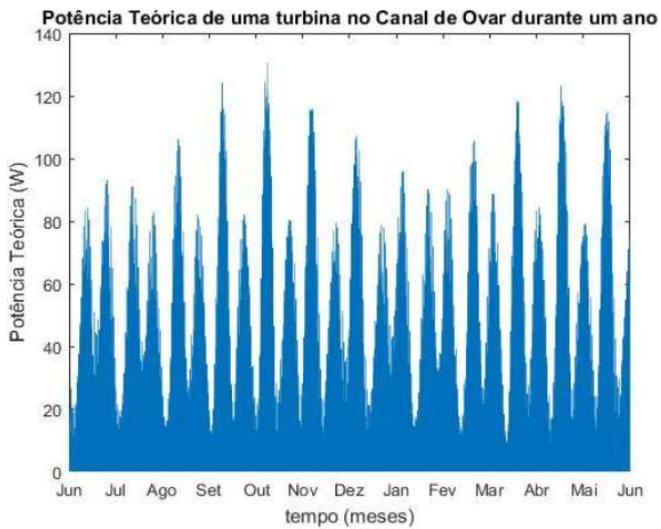


Figura 7 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina no Canal de Ovar durante um ano

A integração dos valores obtidos das potências teóricas para o período de um ano permitiu a determinação da potência teórica total, para o Canal de Ovar, de  $1.3614 \cdot 10^6$  watts.

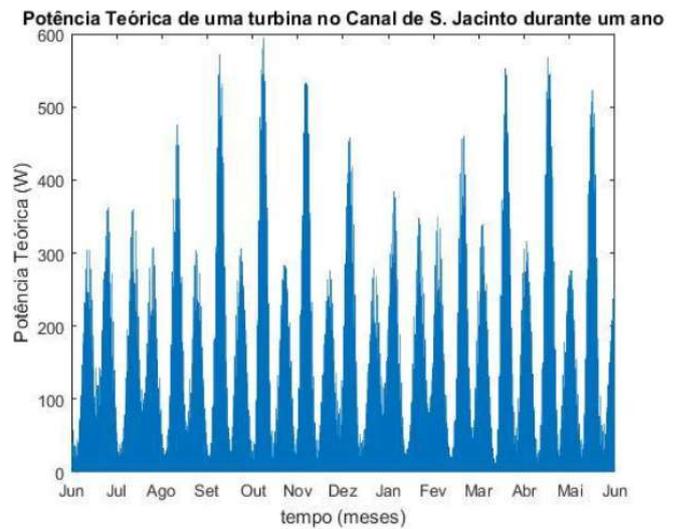


Figura 9 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina no Canal de S. Jacinto durante um ano

A integração dos valores obtidos de todas as potências teóricas do Canal de S. Jacinto permitiu a determinação de uma potência teórica total de  $2.4437 \cdot 10^6$  watts.

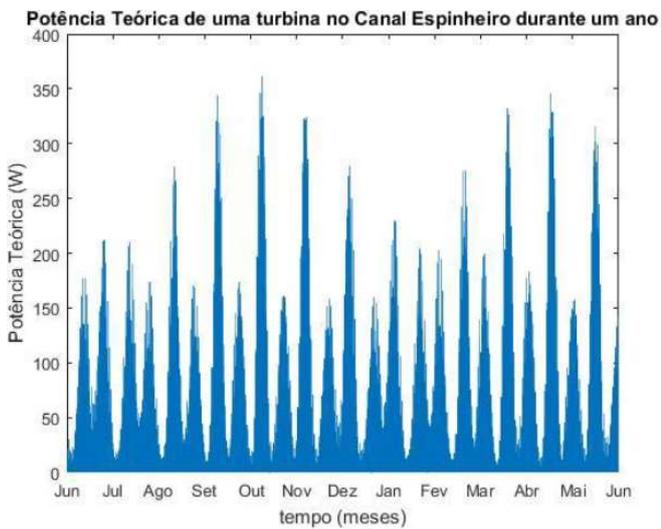


Figura 8 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina no Canal Espinheiro durante um ano

Ao integrar todas as potências teóricas do Canal Espinheiro foi possível obter uma potência teórica total de  $1.1235 \cdot 10^6$  watts. Apesar de o Canal Espinheiro ter máximos de potências teóricas mais altos o seu total de potência teórica é mais baixo que o do Canal de Ovar.

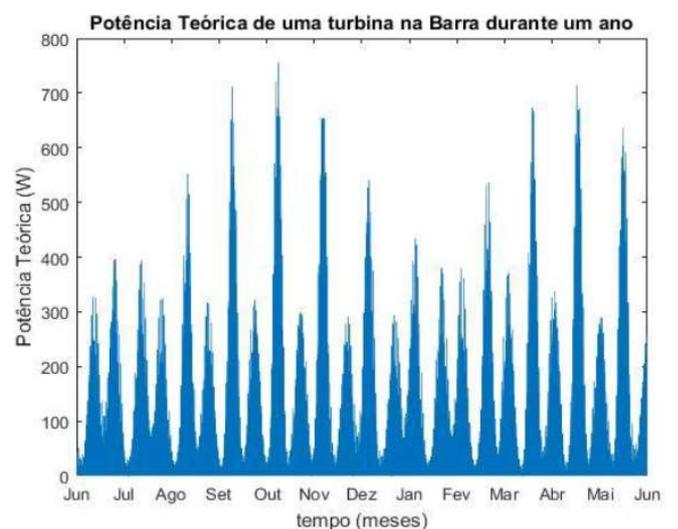


Figura 10 - Simulação da Potência Teórica de uma turbina na Barra durante um ano

O total das potências teóricas na zona da Barra foi de  $3.3277 \cdot 10^6$  watts.

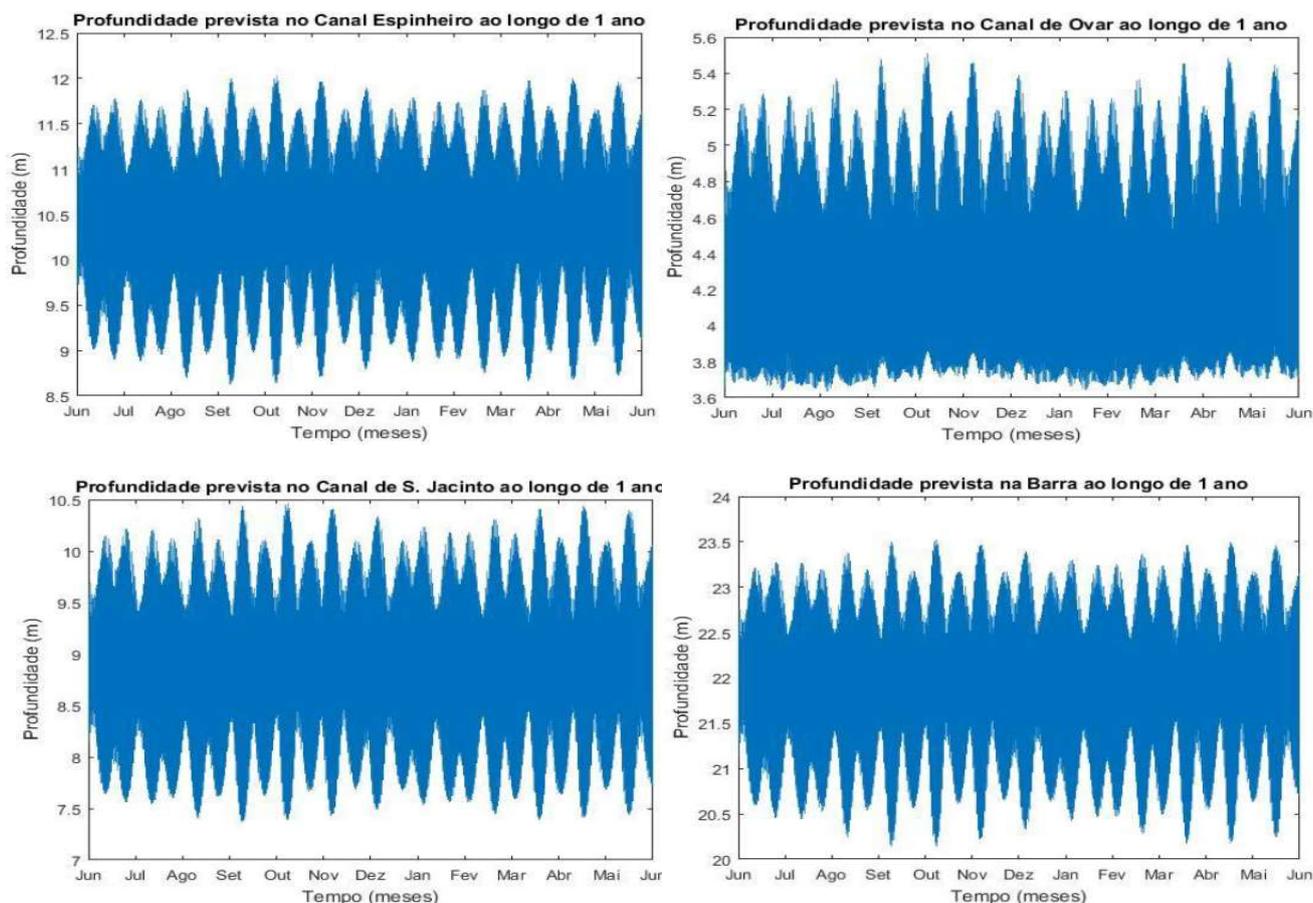


Figura 11 - Profundidades previstas para os 4 locais selecionados

Analisando a Fig. 22, verifica-se que todos os locais selecionados, durante o período de simulação, têm a profundidade necessária para a implantação de 2 turbinas sobrepostas cada uma com 0.5m de altura, ou seja, mais de um metro.

Imaginando que seria construída uma central de geração de 20 turbinas, de maneira semelhante à realizada no Porto de Avilés, em cada um destes pontos, obteríamos valores de potência teórica durante um ano de, supondo que todas as turbinas obteriam as mesmas velocidades:

- Para a zona da Barra –  $6.65540 \cdot 10^7$  W
- Para o Canal de S. Jacinto –  $4.88740 \cdot 10^7$  W
- Para o Canal de Ovar –  $2.24700 \cdot 10^7$  W
- Para o Canal Espinheiro –  $2.72280 \cdot 10^7$  W

No total, seria obtido uma potência teórica, durante o período de um ano, de  $1.65126 \cdot 10^8$  W, correspondendo isto a 18,9 kWh.

## V. DISCUSSÃO

Em relação à maré de maior amplitude, observa-se que o momento de maior velocidade, é o final da maré vazante. São obtidas também boas velocidades no início da enchente assim como nos momentos antecedentes à preia-mar. Sendo a potência teórica exatamente proporcional à velocidade obtiveram-se maiores potências teóricas no final da vazante, sendo que se obtiveram também boas potências no início da maré enchente e na altura de preia-mar.

Na maré de menor amplitude, apesar das velocidades serem muito fracas, obtêm-se as maiores velocidades no final da vazante.

Também são de considerar as velocidades próximas da preia-mar, sendo um pouco mais altas que o normal nessa maré. Tendo já sido referido em cima, a potência teórica é exatamente proporcional à velocidade, logo onde houverem maiores velocidades haverão também maiores potências. Sendo que para essa maré, a de menor amplitude, as maiores potências teóricas obtêm-se no final da vazante. Obtêm-se também potências teóricas mais elevadas que o normal para essa maré, próximo da preia-mar.

Tendo sido feita a simulação da implantação de uma turbina em 4 locais distintos e calculada a potência teórica durante um ano em cada um desses locais, é possível afirmar, tendo sido possível observar anteriormente nos mapas horizontais de velocidade, que o melhor local para implantação de turbinas é a zona da Barra, sendo que o canal de São Jacinto também apresenta potências teóricas relativamente altas.

Posterior à realização da simulação do potencial teórico em cada um dos locais de maior potencial foi necessário verificar se estes continham uma profundidade adequada para a criação de centrais de geração de energia elétrica. Após uma análise aos resultados verifica-se que os 4 locais apresentam profundidade necessária para a criação destas centrais.

Considerando que em 2014 o consumo de eletricidade per capita em Portugal foi de 4662.60 kWh [11] e que a eficiência de uma turbina é estimada que seja entre 30% e 50% [4] podemos afirmar que a Ria de Aveiro ainda não é uma aposta segura para este tipo de tecnologia visto que o aproveitamento total dos 4 locais é cerca de 18.9 kWh, tendo sido considerada uma eficiência de 100% para as turbinas, e este valor é muito pequeno em comparação ao que um só único português gasta.

## VI. CONCLUSÃO

A energia das correntes de maré está a emergir como uma grande fonte de energia de elevado potencial. Considerando que tem uma série de vantagens em relação a outras energias renováveis.

A fim de quantificar o potencial de energia das correntes de maré na Ria de Aveiro foi explorado um modelo numérico (DELFT3D) previamente implantado e calibrado para simular a hidrodinâmica da laguna.

A corrente de maré mais forte ocorreu na zona da embocadura com um valor máximo de mais ou menos 2 m/s no final da vazante da maré de maior amplitude do período de simulação. Há que considerar, num futuro próximo em que seja possível a implementação de tais turbinas que a zona da embocadura é uma zona de grande tráfego de embarcações. As magnitudes de velocidade na área de estudo foram maiores durante a vazante do que durante a enchente.

A escolha dos locais para ser realizada a simulação da instalação de uma turbina foi feita através de uma análise dos mapas horizontais de velocidade, tendo sido identificados 4 locais. Estes locais foram escolhidos unicamente pelas suas velocidades e não foi considerado se havia espaço suficiente para a passagem de embarcações, nem se estes locais asseguravam um transporte fácil de eletricidade.

Para realizar tais simulações, foi utilizada a turbina mais pequena que foi encontrada na pesquisa efetuada assim como foi analisada a profundidade dos locais selecionados. Essa turbina era uma Savonius-Gorlov, tendo um raio de 20 cm e uma altura de 50 cm.

É de salientar que os rendimentos de conversão de desempenho e energia poderiam ser melhorados pela implementação de um dispositivo específico ajustado para a Ria de Aveiro e para os seus requisitos exclusivos. Empresas dedicadas ao desenvolvimento de turbinas de maré oferecem curvas de eficiência de dispositivos de sistemas de conversão de energia que podem ser usadas para encontrar o projeto ideal para a área de estudo. O desenvolvimento adicional na eficiência de turbinas é o elemento chave para impulsionar a tecnologia de energia das marés para alcançar

o estado comercial e se tornar um recurso de energia renovável competitivo. O trabalho futuro deve ser feito para aumentar a capacidade de captação de energia das turbinas, ou seja, para conseguir turbinas a trabalhar a velocidades abaixo da velocidade de corte ou acima da velocidade nominal. Sendo que para estudos futuros devem ser consideradas as velocidades de corte e nominais da turbina usada neste trabalho para se fazer uma previsão dos períodos em que as velocidades das correntes são rentáveis e assim desligando a mesma quando não são.

Para simular a criação de uma central de microgeração, foi usado um design proposto para o Porto de Avilés. Para comprovar se estas turbinas e centrais são realmente rentáveis, no futuro, deverá ser feito uma análise através de um modelo de custo-benefício. Mesmo não tendo sido realizada essa análise, entende-se que esta tecnologia ainda é muito recente e cara, e que um projeto deste tipo requereria um investimento muito elevado e como tal difícil de recuperar.

Como trabalho futuro deve ainda ser salientado que pesquisas em métodos de instalação e transporte devem ser incentivadas. A redução de custos pode ser alcançada através de uma série de mecanismos que se encaixam no desenvolvimento contínuo das tecnologias de energia das marés. A melhoria do desempenho do dispositivo, o aumento de escala de utilização, a experiência e a inovação são os pilares fundamentais que permitirão que a tecnologia das marés se torne comercialmente viável e alcance uma maior taxa de implantação.

Adicionalmente, mais trabalho deve ser realizado para fornecer respostas a várias incertezas em relação ao espaçamento entre turbinas de uma central e à capacidade de extração disponível do recurso. A investigação deve ser promovida neste tópico para determinar a quantidade real de recursos que podem ser extraídos sem prejudicar o ambiente marinho.

Em relação à abordagem ambiental, estas turbinas são projetadas para extrair energia da água, o que afeta as características físicas, químicas e ecológicas do ambiente marinho. É de esperar que os maiores efeitos ambientais ocorram onde as centrais possam a vir a ser instaladas. Possíveis métodos de mitigação para a gestão de efeitos no fundo da laguna, nos sedimentos e na hidrodinâmica incluem o design sensível de estruturas de base e a escolha do local para minimizar o impacto, bem como a interação da central com a fauna marinha. Em geral, é de esperar que os dispositivos de correntes de maré tenham um efeito relativamente baixo no ambiente.

Para aumentar também a viabilidade deste tipo de projetos é desejável que à medida que a tecnologia avança, seja criada uma turbina de eixo horizontal de pequenas dimensões, visto que são mais eficientes que as de eixo vertical.

A energia das marés é uma tecnologia promissora, que poderá ser rentável em outros estuários em Portugal com velocidades maiores. O governo e instituições nacionais devem promover o investimento na investigação em relação ao design, desenvolvimento, construção e métodos para instalação e fixação dos dispositivos, com o intuito de tornar esta tecnologia competitiva para a produção de energia renovável.

## REFERENCES

- [1] Lee, J., Park, S., Kim, D., Rhee, S., & Kim, M. (2012). Computational methods for performance analysis of horizontal axis tidal stream turbines. *Applied Energy*, 98, 512-523. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.04.018
- [2] El Tawil, T., Charpentier, J., & Benbouzid, M. (2017). Tidal energy site characterization for marine turbine optimal installation: Case of the Ouessant Island in France. *International Journal of Marine Energy*, 18, 57-64. doi: 10.1016/j.ijome.2017.03.004

- [3] Marés | Instituto Hidrográfico. (2018). Retrieved from <http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php>
- [4] Colom, M. (2015). Power generation from tidal currents. Application to Ria de Vigo. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental.
- [5] Barbarelli, S., Florio, G., Amelio, M., Scornaienchi, N., Cutrupi, A., & Lo Zupone, G. (2015). Transients analysis of a tidal currents self-balancing kinetic turbine with floating stabilizer. Applied Energy, 160, 715-727. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.06.049
- [6] Alvarez, E., Rico-Secades, M., Suárez, D., Gutiérrez-Trashorras, A. & Fernández-Francos, J. (2016). Obtaining energy from tidal microturbines: A practical example in the Nalón River. Applied Energy, 183, pp.100-112.
- [7] Dias, J., Lopes, J., & Dekeyser, I. (2000). Tidal propagation in Ria de Aveiro Lagoon, Portugal. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans And Atmosphere, 25(4), 369-374. doi: 10.1016/s1464-1909(00)00028-9
- [8] Deltares systems 2014. "Delft3D-FLOW, User Manual", pp. 1-684. Available at: [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)
- [9] Pacheco, A., & Ferreira, Ó. (2016). Hydrodynamic changes imposed by tidal energy converters on extracting energy on a real case scenario. Applied Energy, 180, 369-385. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.07.132
- [10] Alvarez, E., Navarro, A., Gutiérrez-Trashorras, A., Francos, J. & Rico-Secades, M. (2013). Obtaining renewable energy from tidal currents in the Aviles port: New services for citizens. 1-9. 10.1109/SmartMILE.2013.6708175.
- [11] Electric power consumption (kWh per capita) | Data. (2018). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH>. PC

## HUMOR ELETRO





## SYZING AND ANALISYS OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR SELF-CONSUMPTION

### ABSTRACT

*The use of photovoltaic systems is a key aspect for a sustainable energy future because allows the use of renewable energy, prevenient from the Sun, to produce the electricity needed. The present paper proposes the sizing of a PV system and his analysis to see how much impact it has on a company energy footprint and how much money they can save by not using electricity from the grid. For this project was used a simulator provided by SMA, showing that it's possible to invest on a PV system and get the payback in a few years.*

*Index Terms—Energy footprint; Photovoltaic System; Renewable Energy; Self-consumption.*

### 1. INTRODUCTION

In our world, there is an increasing trend of demand for electricity, extreme urgency to reduce the profound reliance on fossil fuels for power production and hence emissions, and energy security, among others. Intermittent energy technologies, such as wind and solar PV, are projected to reduce 80% to 90% of greenhouse gas (GHG) emissions by the year 2050 [1].

The photovoltaic systems (PV systems) are a great way to reduce the electrical energy produced by non-renewable sources because, in this systems, the electricity is obtained through the direct conversion of the sunlight. These systems follow a distributed production regime to promote the production near the point of consumption, reducing the electrical losses [2]. The integration of the electricity generated by a photovoltaic system into the grid can create problems - as excess of production – but can be solved through the development of adequate storage units [3].

Self-consumption also increases the market competition, because encourages new services that better suited the needs and in this way, the consumer becomes active in the investments transitions. Also, on residential and services, solar energy used for self-consumption protect the costumer from the volatility of the energy prices [4].

The paper presents a simulation of the sizing of a PV system to be used by a commercial store and his installation and is structured considering the following sections: Section II describes the proposed methodology; Section III presents a case study; and Section IV presents the main conclusions of the paper.

### 2. PHOTOLTAIC SOLAR ENERGY

The photovoltaic cell is a device made of a semiconductor material that when exposed to sunlight harvest an electron and creating a gap. The principle of the PV cell is to force the electrons to advance to the opposite side of the cell, producing a potential difference and consequently an electrical voltage. The electricity generated by the cells is formed in direct current (DC) and can be used or stored in batteries [5].

These systems are composed with a PV panel – association of PV cells encapsulated in two layers of EVA between a front glass slide and a thermoplastic polymer layer. The inverter is responsible for transforming the continuous electric current produced by the panels into alternated current (AC). This current can be injected on the grid or used for selfconsumption [6].

The electric conductor transports the electricity from its generation to the final consumer and the whole system is

controlled by an electrical panel that it's responsible for measuring all the consumptions [7].

### 3. CASE STUDY

#### A. Company and building

This project was done for a commercial store – Intermarché – located at Vila das Aves, Portugal, and is open to the public from 8AM to 22PM. The building has an area of 4000m<sup>2</sup> and about 2800m<sup>2</sup> of useful area. It is composed by two floors above the ground and has two slopes. The first floor consists in service to the public, storing area, a video surveillance room and an engine room. Regarding the second floor, this one has a much lower area, being only composed by offices for the administration. The roof of the building is made of prefabricated sandwich material and is supported by a structure of iron beams.

#### B. Analysis of the Electric Energy Bill

A photovoltaic sizing must be carried out in order to ensure maximum profitability of the same in order to obtain the shortest possible amortization period. Therefore, it is advisable to dimension the month of least consumption, in order to avoid waste of energy. These amounts are collected from the electricity bills of the company that contain the

quantities consumed and the periods in which it was consumed. With these elements it is possible to determine the power of the PV generator to optimize the investment.

After analyzing the consumptions, it is verified that the highest ones are found during the daytime regime, favoring the installation of a PV system because the consumption occurs during the periods where there is more sunlight, reducing significantly the bill during the hours where tariffs are higher.

From this table it's possible to see that the consumption varies throughout the year. This variation is directly related to the difference between the interior and exterior temperature of the building and the expenses necessary to maintain the desired interior temperature. Therefore, in order to avoid injecting electricity into the grid, this project should eliminate most of the needs in the months when consumption is lower.

#### C. Estimates of Photovoltaic Energy Produced

The location in question has a good solar exposer, having a peak solar hour (PSH) of 5.21h, which means that, each day, in average, exists 5.21 hours of hypothetical irradiation of 1000W/m<sup>2</sup> [8].

TABLE I. ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION

	Peak		Full	Normal Empty		Super Empty		
	h	kWh		h	kWh	h	kWh	
Jan	110	14916	304	32106	201	18837	124	4879
Feb	100	14421	268	29794	192	16272	112	4524
Mar	106	14006	289	31497	228	18464	124	5337
Apr	66	8138	336	35887	198	20167	120	6866
May	63	7535	343	36102	211	23456	124	7527
June	66	8201	322	39545	215	21995	120	6952
July	69	8933	350	41899	201	18357	124	6934
Aug	63	7898	329	37487	228	22049	124	6561
Sept	66	7833	336	36625	198	17006	120	6134
Oct	76	9131	340	34777	201	17370	124	6080
Nov	105	12837	275	28448	225	17697	120	5573
Dec	115	14916	304	32106	201	18837	124	4879
T		128765		416273		230507		72246

After analyzing the load diagrams obtained, and showed on figure 1., it is possible to conclude that a power of 100kWp of photovoltaic is a good solution to implement in the building to guaranteed that all the energy available from the PV installation is consumed by the company and not injected into the national electricity grid, because the best performing day requires approximately that power.



Figure 1. Estimates of PV energy produced (SMA Simulator)

In order to obtain this power, it's going to be used 324 PV panels of 305W, corresponding to an installed peak power of 98.82kW. To convert the DC electrical energy generated to AC power are used four inverters from SMA with 25kW of nominal power. Each of these inverters has two inputs. In the first will be connected 3 strings with 17 PV panels each and in the second input will be connected 2 strings with 15 panels each. This configuration was obtained using the SMA simulator, available online, and it gives the user the better system configuration, using SMA inverters.

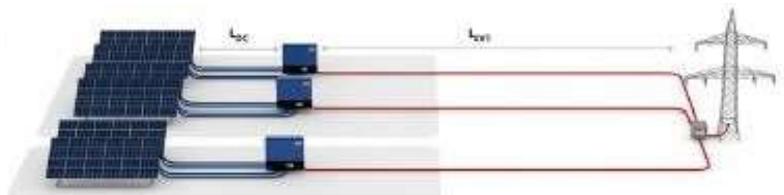


Figure 2. General configuration of the PV installation (SMA Simulator)

**D. Physical Layout of the PV modules**

As the slope of the roof is very low and is oriented with a very high azimuth angle relative to the geographical South, the PV panels are installed orientated to South. The optimized panel inclination for the zone in question will be around 30° and the spacing of the panels will be obtained to a minimum solar height which will prevent the shading. This panels will also be installed fixed in a support structure.

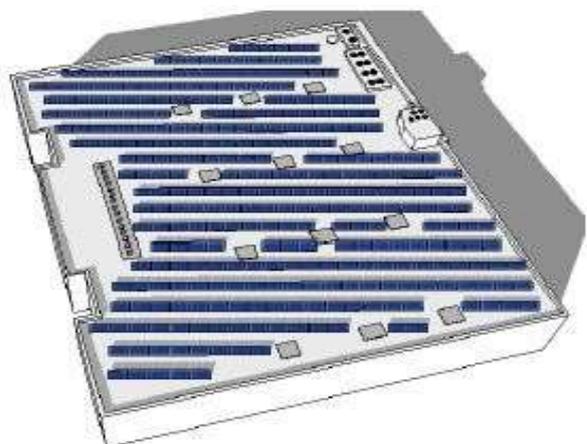


Figure 3. Physical Layout of the PV modules (Sketchup)

### E. Real Electrical Energy Produced

The energy produced by the PV installation will depend on several factors, such as solar irradiation, temperature, equipment efficiency, and others. The solution described above for a better optimization, resulted in a monthly energy output of approximately 153MWh. This data was obtained by PVGIS software, for 100kW of PV power, losses due to temperature and low irradiance of 11.2%, losses due to reflectance effects of 2.7% and other losses (cables, inverter, etc.) of 5%, that gives a total of 18% in losses [9].

TABLE II. ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION

	Global Irradiation [kWh/m <sup>2</sup> ]	Electricity Produced [kWh]
Jan	94.3	8120
Feb	120	10200
Mar	168	13800
Apr	169	13700
May	192	15400
June	200	15600
July	218	17000
Aug	217	16800
Sept	188	14800
Oct	144	11800
Nov	102	8620
Dec	88.4	7630
T	1,900.7	153470

From the table it's possible to see that the production generated it is instantly consumed on the building by selfconsumption.

### F. Annual Savings

The electricity acquire by the store is contracted to Endesa, with a four-hour contract and 228kW of contracted power.

The tariff is divided into four plots: tip (0.107413€/kWh); full (0.095732€/kWh); normal empty (0.072495€/kWh); and super empty (0.066205/kWh).

The investment amortization is achieved considering the savings in the electric energy bill.

As the electricity production is during the day, has the advantage that the tariffs in these periods are the highest, allowing a faster amortization.

It is also necessary to consider the savings in the power surcharge at rush hours, of around 2,502€ per year and the electricity tax, of around 155€. In total, the annual savings of the system will be 17,869.68€ per year.

For the PV system installation, with all the items described above, it requires an investment of 99,241.91€.

### G. Feasibility Analysis

The main objective of this analysis is to calculate several feasibility indicators, based on the evaluation of the cash flows generated, including the Internal Rate of Return (IRR), the NET Adjusted Value (NPV) and the Amortization Period (Payback).

For a better accuracy, the calculations were made considering the NPV corresponding to the cash flow of each year until the total amortization of the investment is verified.

For these calculations, the capital opportunity cost was considered to be 2.9% and an increase of 2.5% per year of the electricity tariff. With all these factors, the amortization period estimated is 5 and a half years.

TABLE III. AMORTIZATION PERIOD

	Cash Flow	NVP	Accumulated Cash Flow
0	-99241.91	-99241.91	-99241.91
1	17869.68	17366.06	-81875.84
2	18316.42	17298.56	-64577.28
3	18774.33	17231.31	-47345.97
4	19243.69	17164.33	-30181.64
5	19724.78	17097.61	-13084.03
6	20217.90	20217.90	7133.88
7	20723.35	2072335	27857.23

#### 4. CONCLUSIONS

This paper presents how to sizing a photovoltaic system and all the components involved to produce electricity from a non-renewable energy source, essential to reduce the carbon footprint that we face at the moment. It also shows how to calculate the amortization period to see if it is viable to install the system, and shows that a PV system it's a good solution to produce electrical energy during the day.

As shown before, a PV system is a very reliable system to provide electricity and although the investment maybe a little bit expensive at the moment, in only 5 and a half years it is possible to amortize it.

#### REFERENCES

- [1] I. T. Papaioannou, A. Purvins, and E. Tzimas, "Demand shifting analysis at high penetration of distributed generation in low voltage grids", *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 44, no. 1, pp. 540–546, Jan. 2013.
- [2] "Analysis of Photovoltaic Systems" in *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program*, France, Paris, 2000.
- [3] Bayod-Rújula, Á. A., Haro-Larrode, M. E., Martínez-Gracia, A. "Sizing criteria of hybrid photovoltaic-wind systems with battery storage and selfconsumption considering interaction with the grid". *Solar Energy*, vol 98, pp 582–591, 2013.
- [4] Solar Power Europe. "Renewable Self-Consumption - Cheap and clean power at your doorstep." [http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user\\_upload/documents/Policy\\_Papers/Position\\_Paper\\_self-consumption\\_June2015.pdf](http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Policy_Papers/Position_Paper_self-consumption_June2015.pdf), available on March, 2017.
- [5] Durand, H.L. 1979 (Sept.). "Present Status and Prospects of Photovoltaic Energy Conversion." *Proceedings of the Photovoltaic Solar Energy Conversion Conference (C21)*. pp. 93-105.
- [6] *Photovoltaic Fundamentals*, National Renewable Energy Laboratory, Document No. DE-91015001, available from National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161, 1991.
- [7] E. Romero-Cadaval, B. Francois, M. Malinowski, Q. C. Zhong, "Gridconnected photovoltaic plants: An alternative energy source replacing conventional sources", *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 9, no. 1, pp. 18-32, Mar. 2015.
- [8] A. B. Meinel and Meinel, M. P., *Applied Solar Energy*. Addison Wesley [9] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> (09 de Março de 2016) Publishing Co., 1976. Google Scholar BibTeX RTF Tagged MARC XML RIS





## SOLAR POWER SUPPORT OF LUXURY BOAT

### ABSTRACT

*This document contains project of solar power support for luxury boat. This project is design of electrical installation of the boat with solar panel system as an additional energy source what in case of an emergency it is possible to supply loads necessary for communication and safety. Electric propulsion system allows better maneuvering at low speed. This work presents design of electrical installation of the base and of the solar part of the system with all the necessary elements. Simulation of solar design and power analysis of solar part of the system are presented, what provides with good picture of its influence on the system. Obtained results are promising and can potentially be extended to bigger systems. This kind of solution highly increases reliability of the system.*

*Index Terms— PV system, solar power support, boat propulsion system, hybrid system, electrical installation design, power analysis*

### I. INTRODUCTION

EFFICIENCY, availability and popularity of solar panels keep growing, and ecological tendencies in our community are getting stronger than ever, it is important to find solutions of microgrids equipped with solar photovoltaics as a main source of electrical power. Microgrids are small scale supply network designed for supplying electrical and heat loads, where generators or renewable energy sources to generate power at distribution voltage. From operational point of view the energy sources in microgrids must maintain the specified power quality and energy output. [1] Solar modules are widely used for electrification and in off-grid housing. It is also becoming popular among the touristic vessels and small boat to use solar panels as an additional energy source.

There are many types of solar panels available on the market.

They differ in materials, efficiency, costs, parameters of cell and production method. Some of them are: Silicon solar cells, Amorphous silicon solar cells, III-V Semiconductor Solar Cells, Perovskite and Perovskite/silicon tan-dem cell.

There are several ways of placing solar panels on the surface of the boat. Most popular approach is to place solar panels on the roof of the boat, which is usually the biggest area available for placement of solar panels. In many cases designs of the boats has solar panels on the deck and have wings or sail with solar panels. In this way it is possible to place relatively high area of solar panels without limiting space available for people and without big interference of outer design of the boat. This solution is very common while remodeling of boat to operation supported with solar power. Solar radiation is higher above waterline than below it, but solar energy penetrates the water and if it is properly managed it can offer a significant energy resource.

Effect of water absorption on solar spectrum varies with depth and water clarity. It is possible to observe that in spectrum above 700nm spectral irradiance is highly decreasing on all depths and on the depth of 2 meters is nearly entirely absorbed. What is more between 400nm and 650nm of wavelength the absorption level is the lowest. Close to the water surface interruption of spectral irradiance is small. It is also possible to see that water absorption effect removes the ultraviolet and infrared portions of solar spectrum.

Depending on construction and design of the boat there are various configuration of the main power circuits available. There are many systems designs what allows to choose appropriate solution for every application. Diesel-electric propulsion system has many advantages. The benefits of this solution are lower fuel consumption and emissions due to the ability of optimization of loading of diesel gensets. Better hydrodynamics efficiency of the propeller. Multiple engine redundancy gives this solution high reliability.

An-other advantage of diesel-electric propulsion is lower noise and reduced vibrations. It also gives more flexibility in location of gensets and propulsors. Main components of a diesel-electric propulsion plant are diesel generators, switchboards, transformers, frequency converters/variable speed drives, electric propulsion motors and propellers.

There are many available options of power system design for boats. Systems can be divided for AC and DC systems. One of typical AC systems is onboard power plant where main generator is connected to the main switchboard. Two propulsions are connected to the main switchboard via three phase transformers and rectifying units. System can be divided in two to increase its reliability. Then another option of AC network is a single screw system. It fulfils high redundancy requirements, but it requires high propulsion power and high efficiencies motors. Other solution for the AC system is double screw system with multiple volt-age levels and different currents. Another solution is onboard DC grid with multidrive approach where power from generators are converted to DC current and connected to main DC switchboard.

There are many benefits of the onboard DC grid. Vessel layout is more functional through more flexible placement of electrical component. Improved dynamic response and maneuverability, and up to 20 per-cent fuel savings. Another onboard DC grid has distributed approach. In this system propulsion systems are connected to separate DC buses. With a distributed approach, the various converters can be placed where it suits the vessel operation or design best. This allows a new level of freedom in designing the electrical power system, increasing vessel functionality and value.

## II. SPECIFICATION

For sizing of the system, it was used dimensions of available on the market long range luxury motor yacht. Chosen boat has following dimensions: length of deck 16.275m, beam:5.08m, full length: 16.505m, max. draft:1,225m and dry weight of 21250kg.

The boat moving in the water have to overcome resistances from the environment and cover energy needed for movement of the system devices losses and municipal energy needs. Resistive force in its simplified form in case of boat moving on stationary water can be calculated by formula  $R=0.5*k*CD*\rho*v^2*A$  where water density is assumed to be 1030 [kg/m3], and drag coefficient is approx.  $3.313*10^{-1}$  [2][3]. For better calculation of the force coefficient of additional resistances of 1,2 was assumed.[4] Effective power of the boat is obtained from multiplication of resistance and speed. Municipal needs of energy are estimated on the level of 5 kWh with four people on the boat. Considering that heating and cooker are not a part of electrical load of the system [5].

In the application of the solar power support on the boat is different than in case of land applications, because there is limitation of the available space. On the Fig.1. there is presented placement of solar panels on the boat. Solar panels will be placed on two areas of the boat and on attached trailer which will have possible extension when boat is stopped in the port.

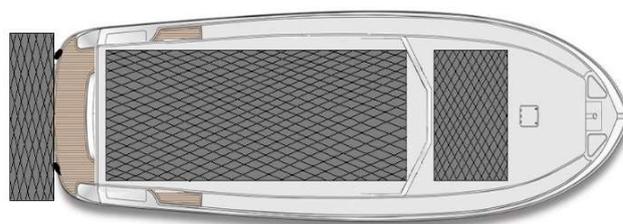


Figure 1. Concept of solar panels placement on the boat

Connected trailer made with stainless and strong material to provide good support for solar panels allows significant increment of available area for placement of solar panels, and possibility of expanding area of trailer while stop in port gives opportunity of faster charging on-board batteries due to higher power produced by solar panels Placing the trailer on the back of the boat without changing the front area of the boat, does not have big influence on the water resistances acting on the boat.

Different solar panels are chosen to make it appropriate for placement in different areas. On the roof and the bow Mono-Crystalline Photovoltaic Module with data present-ed in Table I. Transformer-less solution, Light Induced Degradation Free technology and high temperature coefficient. On the roof and bow total of 18 panels can be installed.

TABLE I - Panel datasheet of panel on roof, bow and trailer

Panel datasheet of panel on roof and bow [6]	
Nominal Power	333 W
Module Efficiency	20,4 %
Nominal Voltage	54.7 V
Nominal Current	6.09 A
Open Circuit Voltage	64.9 V
Short Circuit Current	6.58 A
Panel datasheet for panel on trailer [7]	
Nominal Power	445 W
Module Efficiency	18 %
Nominal Voltage	182,8V
Nominal Current	2,43 A
Open Circuit Voltage	216,5 V
Short Circuit Current	2,65 A

Trailer is built with thin film solar panel made with Thin film CdTe semiconductor with data presented in Table I.

For power analysis while the boat is not moving energy produced by solar panels should be able to supply the system. Solar power installed on the boat is 7,78kW, and domestic needs are estimated on the level of 5kW on full load but usually all the load is not used at the same time, so after covering all the domestic needs there is still some extra power which can be stored. What proves that in case of and emergency solar panels will be able to support critical loads.

During movement of the boat it is considered that there are no municipal power needs, and all power produced by solar panels goes for covering energy needs for movement of the boat.

Fig.2. present characteristic of power needs of boat in reference of its speed and it is showed that energy needs until 17knots, and over that level of needed energy there is necessity to use diesel generator. For speed of 19 knots electric energy produced by solar power should cover around 75% of the load, while for speed of 29 knots it only covers 23% of the load. Even at the time when solar system covers only small part of the electricity needs of the system it ensures limitation of fuel consumption.

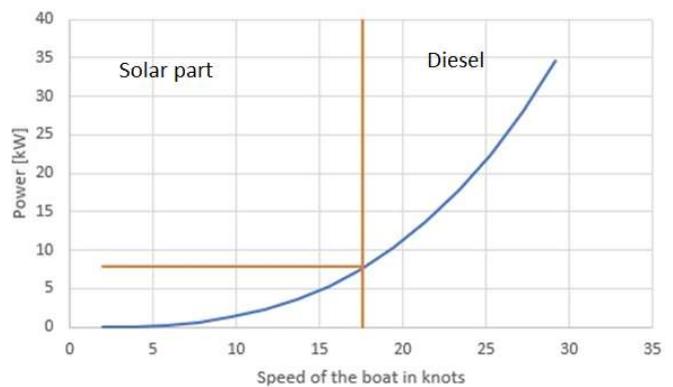


Figure 2. Power distribution

Design of the system allow possibility of covering full load with solar energy, covering all the load with the generators and driving on both supply system which allows to lower generators consumption, what allows high flexibility of the system and increases its reliability. DC system where chosen due to higher functionality of the system and predicted fuel savings. It also allows direct connection between battery and main switchboard.

As it is possible to see on the Fig.3. in the system there are two kinds of energy sources. Two diesel generators and battery charged by photovoltaics arrays. Main switchboard is divided for two parts, so in case of failure of one of the generators or busbars one part of the system still can be operating. Solar panels supply batteries thorough charge controllers, and battery supply power to the load. All system is designed as DC system and main switchboard is DC. Main loads of the system are screws driven by electric motors and distribution line. UPS system is installed for distribution line.

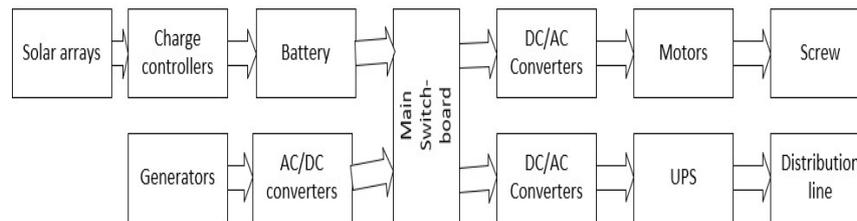


Figure 3. Block diagram of the system of electrical installation of the boat

### III. PROJECT

All the main elements for the design of the circuit were chosen from the solutions available on the market to create total concept of the system. Protection devices for the system are not sized but they are placed on the diagram as a preliminary concept is developed. AC to DC converters for generators selection and selection of DC to AC converters for motors and distribution line are not going to be presented in this paper.

#### A. Energy storage selection

As continuous supply of electricity is needed, energy produced by solar panels must be stored for use on no-sun periods, covering peaks of necessary energy and operation while generators are not working.

Important characteristics which batteries for solar systems should fulfil are high capacity, high cycle-based life span, low depth of discharge, allowable occasional deep dis-charge cycles without life span reduction, available very small charging currents, low self-discharge rate, good am-per-hour efficiency and no necessary maintenance.

$$\text{Capacity}_{\text{battery}} = (7780\text{Wh} * 1,1) / (0,8 * 0,8 * 48\text{V}) = 279\text{Ah}$$

For calculation of necessary capacity of the battery it is crucial to know nominal voltage of the battery. Also, capacity of the battery must be high enough to fulfill energy requirement.

Another important parameter is depth of dis-charge which is the ratio of discharged battery capacity to nominal battery capacity.

Deep cycle battery is preferred in applications with solar panels due to its toleration of cyclic charging and discharging without losses in performance. Life span of the battery is next factor to be considered. Number of cycles that a battery can carry out before its capacity reaches 80% of nominal capacity is a cycled based life span, and its mainly determined by battery type and DoD. To obtain capacity of the battery it is also necessary to know required energy.

TABLE II - Basic parameters of chosen battery [8]

Operating voltage	44.8 to 58.1V
Max. charging, discharging current	900 A
Energy	14.4kWh
Capacity	282Ah
DoD	80%

#### B. Charge controller selection

Solar charge controller is installed to manage the power going from the solar array to the battery bank. Solar charge controllers are being used in this system to protects installed battery from overcharging during the day and, from deep discharge during the night. One of the features of charge controllers is disconnection of the attached load when battery is low and turning it back when battery is charged back up.

An MPPT charge controller ensure that solar generator is operating at its maximum power point. This kind of charge controller increases power output about 15-30% in properly sized solar system with integrated battery.

In the project three solar charge controllers will be used due to use of two different types of solar panels, and because of placement of solar panels in different part of the boat.

Charge controller for array 1 which is array consisting form the panels placed on the roof of the boat and it is 16 panels in eight strings of 2 panels connected in series. Solar panels used in this array has included in table I.

$$V_{array} = V_{npanel} * n_s = 109.4V, V_{ocarray} = V_{oc} * n_s = 129.8V,$$

$$I_{array} = I_{npanel} * n_p = 48.7A, I_{scarray} = I_{scpanel} * n_p = 52.6A \text{ and}$$

$$P_{array} = V_{array} * I_{array} = 5330W$$

For this array charge controller have step down the voltage to necessary for the battery 48V.

TABLE III - Basic parameters of charge controller for panels arrays form the roof.[9]

Maximum operating voltage	187 VDC
Maximum short circuit current	100 ADC
Nominal battery voltage	48 VDC
Maximum output power	6600 watts

Second charge controller is for array 2 created from series connection of solar panels on the bow. Solar panels used in this array are the same as in array1. Calculations for the second array was made in the same manner as for the first array For this array charge controller have step up the voltage to necessary for the battery 48V.

TABLE IV - Basic parameters of charge controller for panels array on the bow.[10]

Max. Solar Open Circuit Voltage	150 volts DC
Maximum Battery Current	45 A
Nominal battery voltage	48 V
Max. output power	2400 W

Third charge controller is for array 3 created from parallel connection of two strings of two panels which create trailer. Another type of solar panels is used in this array has specification presented in the table II. Calculations for the second array was made in the same manner as for the first array. For this array charge controller have step down the voltage to necessary for the battery 48V.

TABLE V - Basic parameters of charge controller for panels which consist the trailer.[11]

Nominal battery voltage:	48 V
Max PV array voltage (operating):	195-550V
Array short-circuit current	35 A
Max. output power	4800 W
Max. charge current	80 A
Max. power conversion efficiency	96%

Electrical motor is chosen as a drive for the screw to ensure better maneuvering on low speed. Motor allows operation on different speeds what gives possibility of better operation. Chosen motor must have level of protection resistant to water jets and dust what mean IP code protection on the level of IP 55. Two of these motors are used in the design of the system, and each of them is connected to the different part of the main switchboard so in case of necessary maintenance or breakdown of one of the motors it is still possible to operate the other one.

**D. Generator selection**

Two generators are installed, one for each busbar of main switchboard so all necessary power can be delivered. This kind of solution increases reliability of the system because if one of the generators is out of order it is still possible to operate using one of the generators. Chosen generators are three-phase brushless 4 pole generators. Due to excellent fuel economy and minimum of required maintenance it is highly reliable power source. Diesel generators are safer than gasoline ones because gasoline has explosive nature and would have higher safety requirements.

It is better to have two generators of smaller nominal power than one big generator because generator should never run continuously with less than 25% of the load.

TABLE VII - Basic specification of generator set [13]

Rated Power	18kW
Frequency	50Hz
Speed	1500rpm
Output Voltage	230V
Fuel Cons.	5.2 L/hr

### E. UPS system selection

To insure high reliability of the system UPS is used. UPS is a device that provides emergency power to a load in case of the main power supply failure. Using these systems allows supply of energy to the most needed loads while no supply from main energy source.

TABLE VIII - Basic data of the UPS system [14]

Input voltage	230 V
Input frequency	50 Hz
Output power	720 W
Output voltage	230 V
Output frequency	50 Hz
Time of charging	8 h

### F. Design of the solar part of the system

Solar part of the system is presented on Fig.4.

First array consists of parallel connection of 8 strings of 2 panels connected in series, each string of two panels is connected through disconnector so in case of necessary maintenance it is possible to disconnect one string without disconnecting all array. There is also possibility to disconnect whole array.

Second array consist of two panels connected in series and third array consist of parallel connection of two strings of two panels connected in series and are designed in the same manner as first one.

Each array is connected to the separated charge controller and all three controllers are connected in series. So, two charge controllers operate on it full power and third controller evens the output. All this system is connected to the battery which supply the electrical installation of the system.

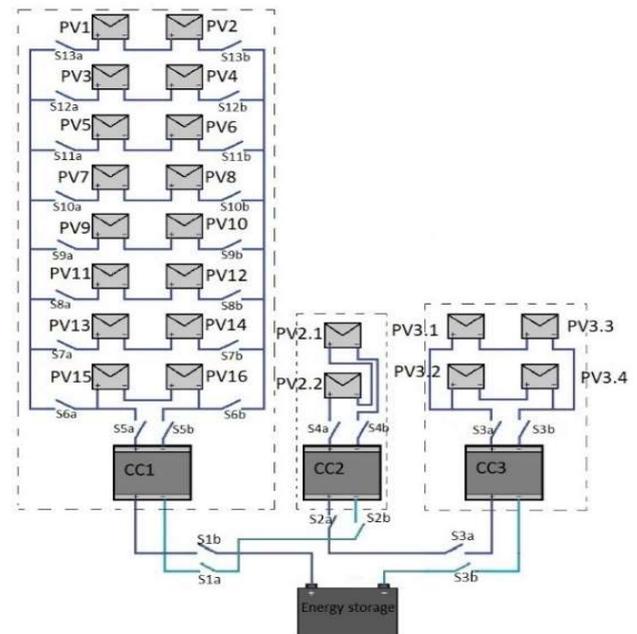


Figure 4. Diagram of solar part of the system

### G. Design of the full system

Codes and basic data of the elements used in the system design are visible on the single line diagram of the circuit presented in Fig.5.

Designed system has DC main switch-board composed with two parts, which increases reliability of the system and in case of necessity allows operation of each part of the system separately. System is equipped with two energy sources, diesel generators and battery supplied by solar system. Solar system is presented on Fig.4.

There are two diesel generators connected via AC to DC converters to the main switchboard. Each generator set is connected to different part of the switchboard which increase system reliability. There are two types of loads connected into the switchboard.

The propulsion system driven by 3 phase electric motor, supplied by DC to AC converter. Second type of load is AC distribution line connected to main switchboard by the DC to AC converter. Distribution line is connected to the main switchboard by the DC to AC converter and UPS system.

IV. SIMULATION

Simulations was performed in PSIM software. Simulation circuit of solar part of the system uses basic scheme of step-down converter controlled with MPPT as charge controllers. In the simulation perturb and observe algorithm for maximum power point tracking method is used. MPPT is implemented to maximize the power generated by solar panels. The algorithms continuously adjust the impedance seen by solar panels to keep operation point of solar panels as close to maximum power point as possible under any condition.

Entire basic algorithm of perturb and observe method is presented in Fig.6. This Algorithm measures values of voltage and current to obtain power value. Depending on value of power voltage is increased and decreased to obtain appropriate output. Based on this the algorithm simulation circuit was prepared. To ensure maximum power algorithm perturbs the operating voltage. MPPT is simulated using Simplified C block.

Simulation system of solar part of the designed electrical installation presented on Fig.7. Solar panels outputs go to model of buck controller with MPPT and output of the controllers is connected to the battery. Buck converter is modeled with IGBT controlled with control system equipped with MPPT and other necessary devices. MPPT uses current and voltage sensors to control IGBT to obtain reference voltage.

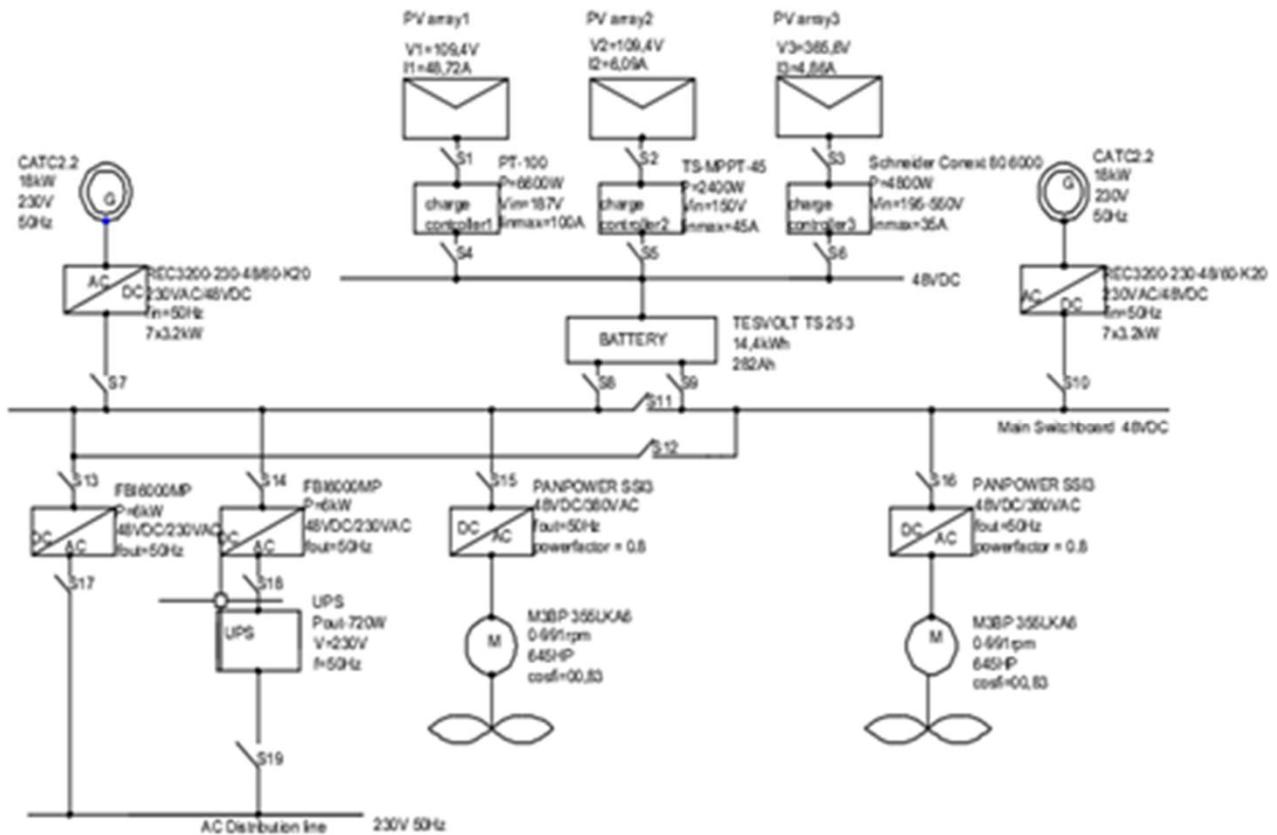


Figure 5. Diagram of the system

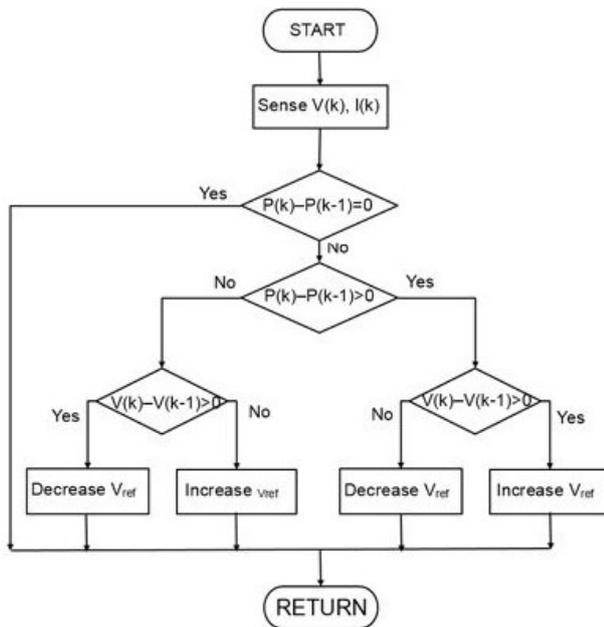


Figure 6. Algorithm of MPPT [15]

Results of the simulation of the solar part of the system are presented in figures 8, 9 and 10.

Characteristics presented on the Fig.8. shows that the voltage stays on the level close to 48V, what is value acceptable for the battery. Current form solar panels on the roof is equal 52.63A, current form panels on the bow is equal 6,09A and current from panels on the trailer is on the level of 5,3A

On the characteristic from Fig.9. it is visible that all the currents are stabilizing on the same level, and it is also possible to observe that current from the trailer stabilizes as last, it is due to the fact that it has the biggest difference between value of voltage from the panel and battery.

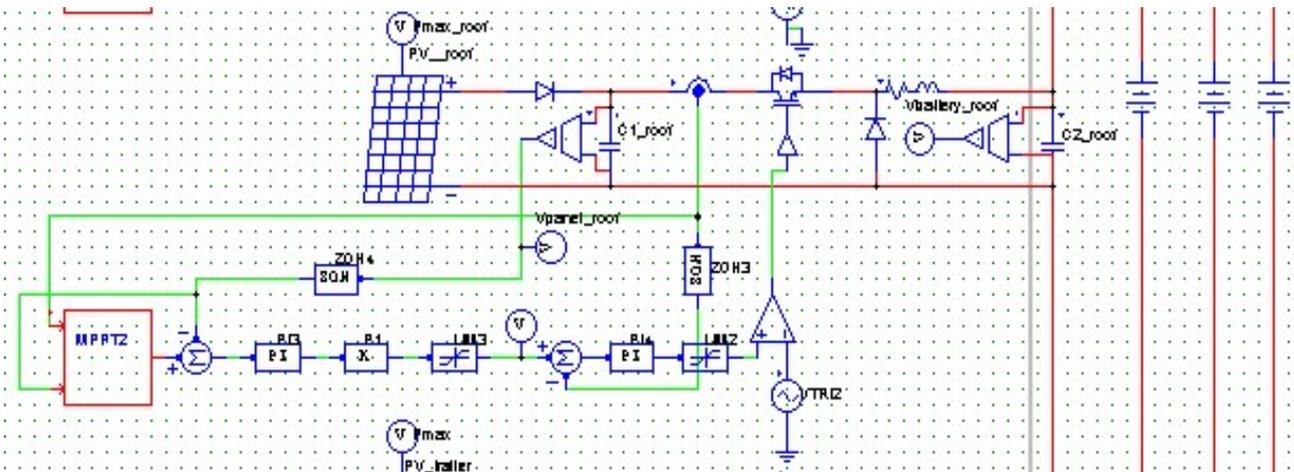


Figure 7. Part of the simulation model used in simulations

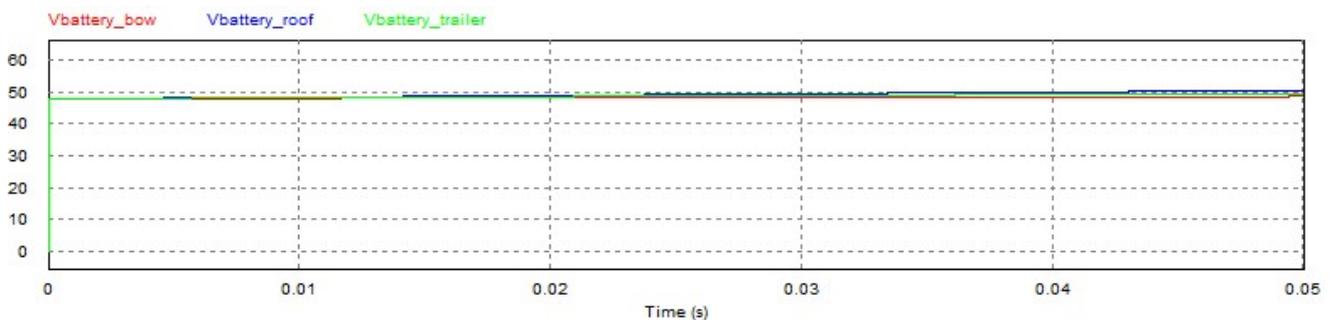


Figure 8. Simulation result- voltages after step down converter

Fig.10. present characteristics that show that all the lines are heading to maximum power point, achieving it and then oscillating around the maximum value. It is also visible that power value has the biggest oscillations for trailer panel what is due to the fact that it has the highest difference between value of the voltage form the solar panel.

**V. CONCLUSIONS**

This paper covered design and simulation of electrical installation for luxury boat supported with solar power. Design include the luxury boat of with hybrid system where solar panels are installed to support diesel generator.

Project consider solar panels placed on the roof bow of the boat and some additional panels mounted on the attached trailer. Designed electrical installation is an DC grid, what make layout of the vessel more functional due to more flexible placement of electrical components, improvement of dynamic response, maneuverability, and increases fuel savings.

There are two types of solar panels installed on the boat. Different solar panels are chosen to make it appropriate for placement in different areas.

Solar panels installed on the roof and bow are the monocrystalline photovoltaic. Array mounted on the roof is the biggest and produces 68% of power produced by solar system and panels form the bow produces 8,5%.

For improvement of the system performance project consider adding trailer to the boat to extend area of boat and get possibility of mounting additional solar panels on the boat. Trailer area is remaining 23% of total area of installed solar panels. Trailer does not create additional resistances because it fits into hydrodynamic tunnel created by the boat.

It can be considered to extend trailer area even more, but than it would require further studies of it influence on the water resistances influencing the boat. Solar part of the system consists of three arrays of solar panels, three charge controllers connected to the battery. Other generating part of the design consist of two diesel generators, to ensure enough power to drive the boat at higher speeds. There are two main load types in the system.

There is AC distribution line with UPS system and what is more the boat is equipped with two screws driven by electric motors

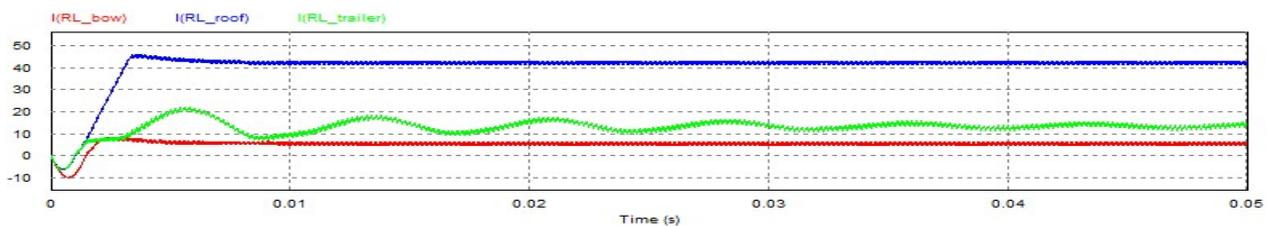


Figure 9. Simulation result- current comparison

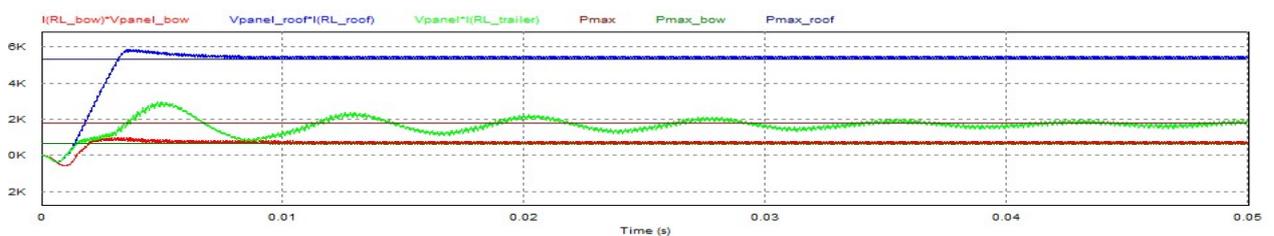


Figure 10. Simulation result-power comparison

For power analysis it is known that solar part of the system can cover all the critical loads in case of an emergency, it can also provide enough energy to cover municipal needs of energy, or it can cover all needs for energy to cover the movement of the boat up to speed of 17 knots, and over this level it is necessary to use the diesel generator.

With speed of 19 knots electric energy produced by solar power should cover around 75% of the load, while for speed of 29 knots it only covers 23% of the load. When solar system covers only small part of the electricity needs of the system it still ensures decrease in fuel consumption.

Simulation is performed only for solar part of the electrical installation. Circuit obtains voltage of 48V and it is also visible that ripples are very small. Also, maximum power point tracking device allows us to have the highest possible power output at the solar irradiation that we have.

To summarize, even at the time when power produced from the solar panels is not the highest it is beneficial to have solar panels in the circuit. Use of solar panels decreases fuel consumption and in case of breakdown of diesel generators it provides alternative source of energy which supply critical loads.

## VI. REFERENCES

1. Chowdhury, S.; Chowdhury, S.P.; Crossley, P. Microgrids and Active Distribution Networks. Herts, UK, Institution of Engineering and Technology, 2009,
2. Cheng-Wen Lin, Scott Percival, Eugene H. Gotimer. Viscous Drag Calculations for Ship Hull Geometry, Bethesda, Naval Surface Warfare Center, 1995
3. Mirosław Jurdziński, Technological and operational methods to reduce ship hull resistance due to reduce energy consumption on sea going ships, Scientific Journal of Gdynia Maritime University, 82/2013, Pages: 23-37
4. Tomasz Kniaziewicz, Leszek Piaseczny, Model symulacyjny nox podczas ruchu promu pasażersko-samochodowego, Postępy nauki i techniki nr15.
5. Tauron, Kalkulator zużycia energii elektrycznej w domu. <http://kalkulator.tauron.pl/h5/>. 4 /12/2017
6. Solartoday, SunForte PM096B00, [http://www.solartoday.nl/uploads/downloads/SF-PM096B00\\_ds\\_en%20\(1\).pdf](http://www.solartoday.nl/uploads/downloads/SF-PM096B00_ds_en%20(1).pdf). 10/11/2017
7. Firstsolar, FIRST SOLAR SERIES 6™ FS-6445 FS-6445A, <http://www.firstsolar.com/-/media/First-Solar/Technical-Documents/Series-6-Datasheets/Series-6-Datasheet.ashx>. 10/11/2017
8. Tesvolt, TESVOLT TS 25 3. <http://www.tesvolt.com/templates/tesvolt/files/pdf/EDB.TS.ENG-A.11b.pdf>. 16/11/2017
9. MagnumDimensions, PT-100 CHARGE CONTROLLER, <https://www.wholesalesolar.com/2950000/magnumenergy/chargecontrollers/magnum-energy-pt-100-charge-controller>. 29/11/2017
10. Morningstar, MPPT charge controller TS-MPPT-45, <https://2n1s7w3qw84d2ysnx3ia2bct-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2014/02/TSMPTdsEng.pdf>. 29/11/2017
11. Schneider Electric, Conext MPPT 80 600 solar charge controller. <https://41j5tc3akbrn3uezx5av0jj1bgm-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/10/DS20171023-Conext-MPPT-80-600-Datasheet.pdf>, 29/11/2017
13. CATERPILLAR, C2.2 Marine Generator Set, [https://www.cat.com/en\\_US/products/new/power-systems/marine-power-systems/marine-generator-sets/18494391.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/marine-power-systems/marine-generator-sets/18494391.html). 28/11/2017
14. Schneider Electric, APC Power-Saving Back-UPS Pro 1200 BR1200G-FR, [https://www.schneider-electric.com/en/product/BR1200G-FR\\_APC/apc-power-saving-back-ups-pro-1200%2C-230v%2C-cee-7-5](https://www.schneider-electric.com/en/product/BR1200G-FR_APC/apc-power-saving-back-ups-pro-1200%2C-230v%2C-cee-7-5). 28/11/2017
15. Mathworks, MPPT algorithm. <https://www.mathworks.com/discovery/mppt-algorithm.html>. 4/01/2018

## EVOLUÇÃO DAS CLASSES DE RENDIMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS

### Resumo

*Os acionamentos eletromecânicos são os maiores consumidores mundiais de energia elétrica, pelo que a melhoria dos seus rendimentos tem um elevado impacto na poupança de energia. Os motores de indução trifásicos são a opção dominante, razão pela qual a procura de máquinas com melhores rendimentos tem estado centrada nestes motores. No entanto, a ausência de um sistema universal de classificação dos rendimentos e, principalmente, a diversidade de métodos usados na sua estimação (com resultados distintos), constituiu um sério obstáculo à comercialização mundial destas máquinas. A classificação IE (CEI) foi decisiva na superação dessas dificuldades.*

*Este artigo pretende fazer uma síntese da evolução das classes de rendimento de motores elétricos de alcance internacional. Começa-se pelo acordo CE/CEMEP, no contexto europeu, referindo depois as sucessivas normas internacionais CEI, as quais traduzem a evolução da classificação IE.*

### 1 Introdução

Estima-se que mais de 50% da energia elétrica consumida mundialmente esteja associada a acionamentos eletromecânicos [1]. Globalmente, o sector industrial é responsável por cerca de 64% desse consumo, enquanto na União Europeia (UE), cerca de 70 % da energia elétrica consumida neste sector é devida a motores elétricos [2].

Os motores de indução trifásicos (MIT) continuam a ser dominantes, pelo que a melhoria nos seus rendimentos tem um impacto substancial na redução do consumo de energia elétrica. Há já mais de 20 anos que os principais fabricantes têm vindo a direccionar esforços no desenvolvimento de motores com melhores rendimentos.

A nível mundial, a sua disseminação foi difícil e lenta, embora dependente da zona geográfica (e.g., EU e EUA). Os principais obstáculos foram a falta de consenso na classificação e definição de métodos para determinação do rendimento: consoante as regiões do mundo, as respetivas metodologias aplicadas na determinação do rendimento dos MIT tinham resultados distintos [3].

A procura de um consenso global motivou a Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI) a desenvolver um conjunto de normas, com o objetivo de definir classes de rendimento, com base em métodos de estimação comuns. Resultam, pois, de um longo processo de discussões técnicas, económicas e políticas. Com vista à integração das tecnologias de motores mais recentes, este processo continua em evolução. Estas normas foram globalmente aceites, tendo sido transpostas para as normas nacionais e regionais em praticamente todo o mundo. Deste modo, deram um contributo importante na definição de critérios mínimos de eficiência energética (*Minimum Energy Performance Standards (MEPS)*), em vigor na maioria das economias avançadas e também nas que se encontram em desenvolvimento [3].

Atendendo ao perfil de cargas mais usual, a utilização de variadores eletrónicos de velocidade (VEVs) contribui significativamente para a redução dos consumos de energia desses sistemas. Por este motivo, a sua integração nos MEPS tem sido crescente.

Este artigo pretende fazer uma síntese da evolução das classes de rendimento de motores elétricos. Está estruturado do seguinte modo: a Secção 2 refere-se à distribuição do consumo de energia em função da potência e tipos de motores. Esta contextualização torna mais perceptível o domínio de aplicação das normas referidas neste artigo.

Na Secção 3 são indicados os pontos essenciais e consequências do acordo CE/CEMEP, bem como das normas internacionais mais relevantes. O seu conjunto constitui uma resenha do processo evolutivo, que conduziu à definição das classes de rendimento atuais, cuja abrangência ultrapassa já os motores elétricos.

Finalmente, a Secção 4 contém algumas conclusões.

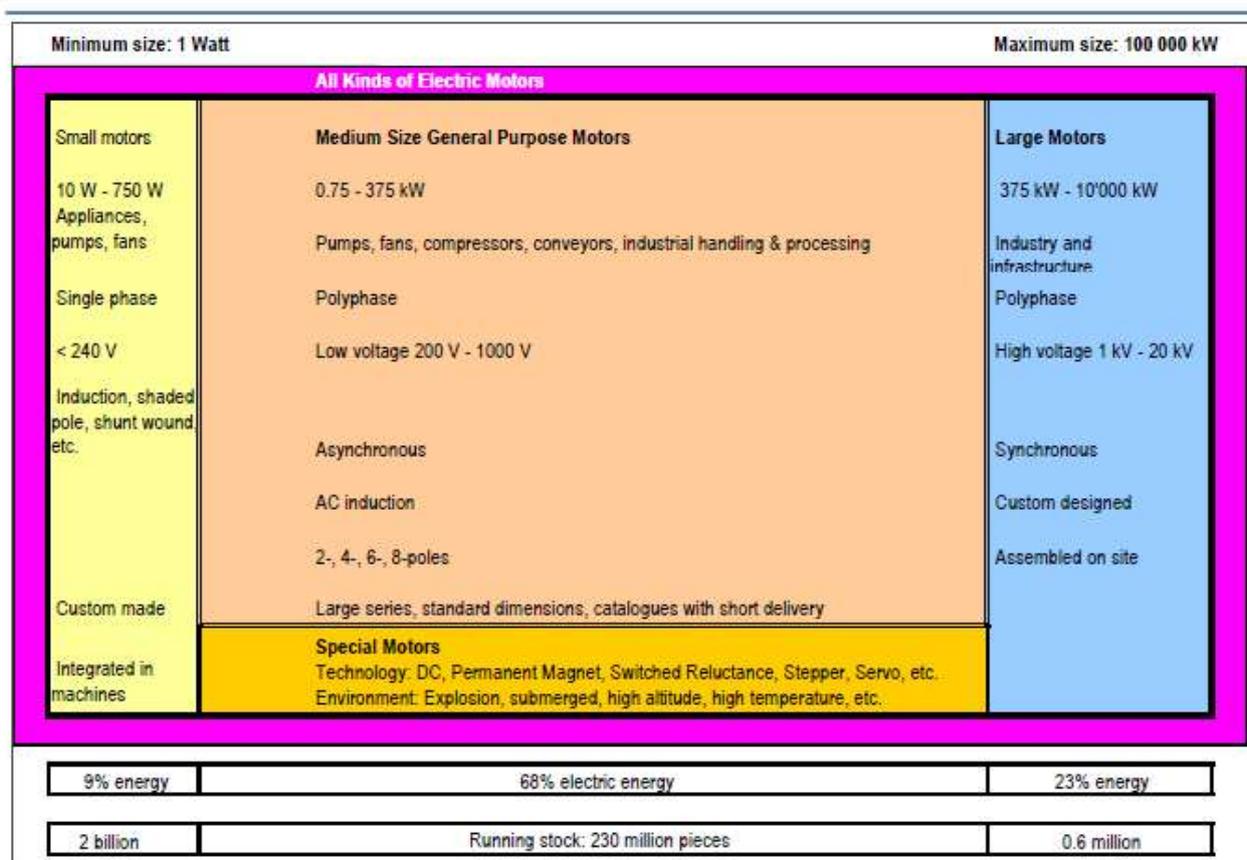
## 2. Tipos de Motores Elétricos: Distribuição de Potência e Consumos

A Figura 1 apresenta uma síntese relativa à distribuição dos consumos de energia por gamas de potência, tipos de motores e cargas associadas [1].

Destaca-se o seguinte:

1. Os consumos na gama [10-750] W (baixa tensão) apresentam um valor residual (9%), muito embora o número de unidades existente seja o mais elevado das gamas de potência definidas
2. A gama [0,75-375] kW (baixa tensão) é responsável pelos maiores consumos de energia (68%).
3. Na gama [375-10 000] kW (média tensão), o número de unidades é menor, mas o seu impacto no consumo de energia é significativo (23%).

Os MIT são claramente dominantes, mas há outras opções cuja relevância tem vindo a aumentar, sendo de destacar os motores síncronos de ímanes permanentes (MSIP), motores síncronos de relutância (MSR) e motores de relutância comutados (MRC).



Source: A+B International, 2009.

Figura 1– Distribuição de motores elétricos: tipos, potência e energia consumida

Em particular, os primeiros apresentam maiores densidade de potência e rendimento, sobretudo na gama das baixas e médias velocidades. Por seu turno, o preço, robustez e fiabilidade dos MIT são as suas principais vantagens [1].

Os motores são utilizados numa vasta gama de aplicações, com destaque para as cargas parabólicas (i.e., bombas, sistemas de ventilação, compressores), a que corresponde o ponto 2. A potência requerida por estas é função de  $n^3$  ( $n$  – velocidade angular), pelo que a regulação da velocidade de operação através de VEVs apresenta um elevado potencial de poupança de energia.

### 3. Classificação de Motores: Evolução da Normalização Europeia

#### 3.1 Acordo CE/CEMEP [4]

Em 1999 foi assinado um acordo voluntário, entre a Comissão Europeia e a Associação Europeia de Fabricantes de Máquinas Elétricas e de Eletrónica de Potência (CEMEP), que definia três classes distintas de rendimento:

- EFF3 – Motores convencionais;
- EFF2 – Motores de rendimento aumentado;
- EFF1 – Motores de alto rendimento.

Este acordo englobava somente MIT (gaiola de esquilo), de 2 ou 4 pólos, 400 V, 50 Hz, IP 54 ou IP 55, com potências nominais compreendidas entre 1,1 e 90 kW. A Figura 2 ilustra o impacto verificado na distribuição dos motores pelas três classes, durante praticamente todo o período de vigência do acordo.

Houve uma transferência dos motores da classe inferior (EFF3) para a classe intermédia. Embora as máquinas da classe EFF3 tenham sido praticamente eliminadas, o fabrico de motores da classe EFF1 atingiu uma percentagem muito aquém do inicialmente previsto. Assim, os objetivos deste acordo foram parcialmente atingidos.

Os rendimentos eram determinados de acordo com o método indireto da norma CEI 60034-2:1996. A determinação das perdas adicionais foi o principal motivo de discórdia com outras metodologias (nomeadamente, o método B da norma 112 do IEEE), pelo que o alcance deste acordo ficou confinado à União Europeia. Não obstante, este foi um primeiro passo para o estabelecimento de uma classificação global dos níveis de rendimento de MIT.

Com vista a atingir esse objetivo é, entretanto, publicada a norma IEC 60034-30, que resultou dos esforços promovidos pela CEI em obter uma classificação de alcance mundial, que viesse substituir as normas nacionais/regionais existentes [3].

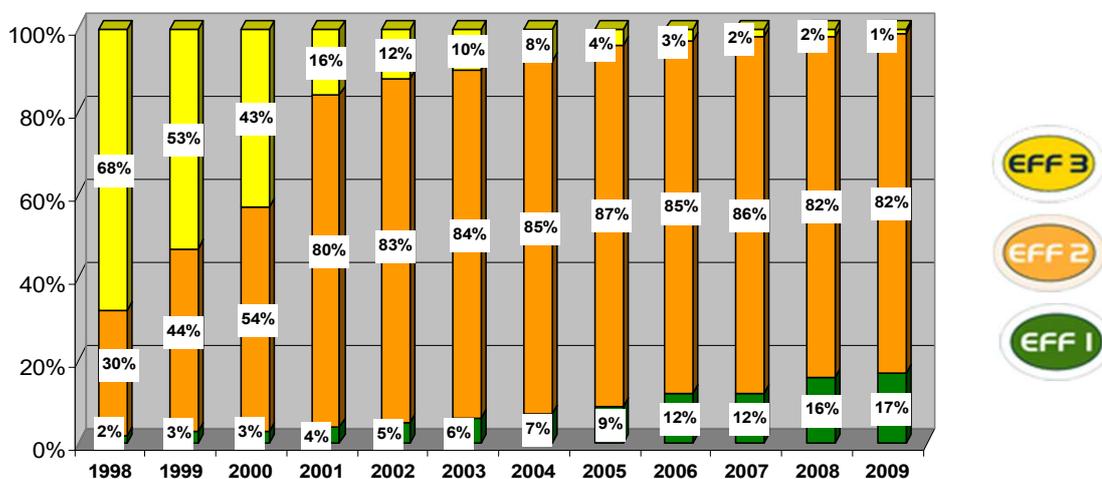


Figura 2 – Evolução da distribuição dos MIT pelas classes de rendimento CE/CEMEP

### 3.1 Norma CEI 60034-30 [5]

Em Outubro de 2008 foi publicada a 1ª edição da norma CEI 60034-30 (Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code)).

- Motores de 50Hz e 60Hz, 2, 4 e 6 pólos, na gama [0,75 – 375] kW;
- Tensão nominal  $\leq 1000$  V
- Operação em modo contínuo (fator de serviço S1);
- Inclui motores com 2 valores nominais (ou mais) de tensão e/ou frequência
- Aplicável a motores dimensionados para alimentação direta da rede;

A Tabela 1 apresenta as classes de rendimento IE:

Tabela 1 – Configurações de MRC

Classe	Designação
IE1	Standard Efficiency
IE2	High Efficiency
IE3	Premium Efficiency
IE4	Super Premium Efficiency (não definida, em fase de preparação)

Esta classificação resultou da integração de diversas classes de rendimento normalizadas, definidas por vários organismos regionais: Energy Policy Act “EPAAct” (EUA), NEMA (EUA) e CE/CEMCP (UE) [2].

A Figura 3 ilustra a correlação entre a classificação IE e as classificações regionais mais relevantes.

O rendimento é determinado com base na norma CEI 60034-2-1:2007. A determinação das perdas adicionais baseia-se num método equivalente ao da norma IEEE 112.

A classificação IE e a norma CEI 60034-2-1 foram determinantes na definição dos MEPS na UE, através do regulamento (EC) No. 640/2009, de execução da Directiva 2005/32/EC.

A implementação faseada dos MEPS foi a seguinte (o acordo CE/CEMCP terminou em 06/2011):

- Desde 06/2011: classe mínima IE2 para todos os novos motores;
- Desde 01/2015: novos motores na gama [7,5 – 375] kW deverão ser IE3 ou IE2 c/ VEV;
- A partir de Janeiro de 2017, novos motores na gama [0,75 - 375] kW deverão ser IE3 ou IE2 c/ VEV.

O domínio de abrangência da norma CEI 60034-30<sup>(1)</sup> foi posteriormente aumentado, de que resultou uma subdivisão: motores AC convencionais (CEI 60034-30-1) e motores não convencionais, alimentados por variadores de velocidade (CEI TS 60034-30-2).

Em seguida, referem-se os pontos mais importantes de ambas.

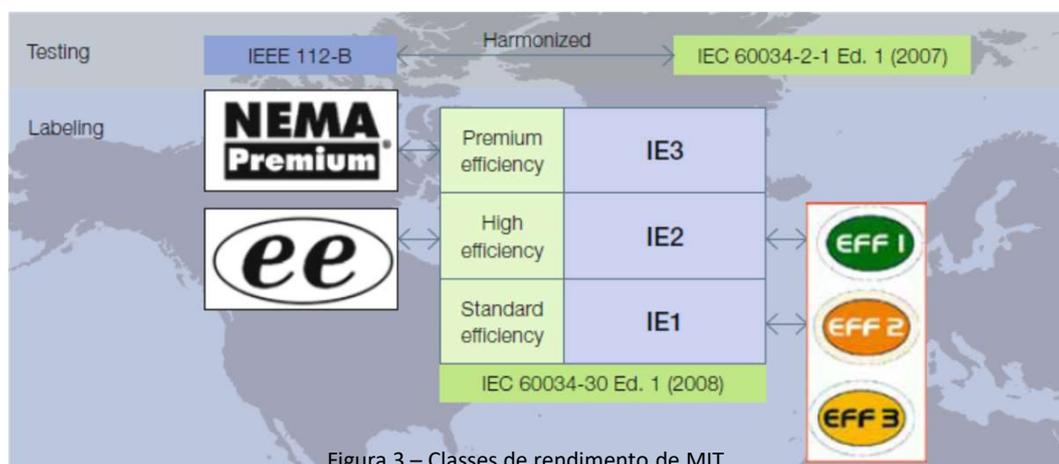


Figura 3 – Classes de rendimento de MIT

<sup>(1)</sup> Foi revogada pela norma CEI 60034-30-1.

### 3.2 Norma CEI 60034-30-1 [6]

Publicada em Março de 2014, a 1ª edição da norma CEI 60034-30-1 (*Rotating Electrical Machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE-code)*) veio substituir a norma CEI 60034-30.

- Motores de uma velocidade (monofásicos & trifásicos);
- Motores de 50Hz e 60Hz, 2, 4, 6 e 8 pólos, na gama [0,12 – 1000] kW;
- Tensão nominal: [50 – 1000] V;
- Operação em modo contínuo (factor de serviço S1);
- Aplicável a motores dimensionados para alimentação direta pela rede (não limitado a motores de indução);

A Tabela 2 apresenta as classes IE.

Tabela 2 – Configurações de MRC

Classe	Designação
IE1	Standard Efficiency
IE2	High Efficiency
IE3	Premium Efficiency
IE4	Super Premium Efficiency
IE5	Ultra-Premium Efficiency (não definida, em fase de preparação)

Comparando com a norma anterior, há a realçar uma maior abrangência: não só na gama de potências, mas também nos tipos de motores, deixando de estar confinados aos MIT. Os limites da classe IE4 são definidos, deixando em aberto uma nova classe (IE5), a definir futuramente.

De referir ainda que o rendimento é agora determinado com base na 2ª edição da norma CEI 60034-2-1, publicada também em 2014.

### 3.3 Especificação técnica CEI TS 60034-30-2 [7]

Em Dezembro de 2016 foi publicada a 1ª edição da especificação técnica CEI TS 60034-30-2 (*Rotating Electrical Machines - Part 30-2 Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code)*).

- Aplicável a motores de todos os tipos (AC), na gama [0,12 – 1000] kW, não alimentados através da rede (excluindo algumas tecnologias, como servomotores);
- Tensão nominal: [50 – 1000] V;
- Velocidade nominal: [600 – 6000] rpm;
- Operação em modo contínuo (fator de serviço S1)
- O rendimento é especificado para o seguinte regime: 90% da velocidade nominal, com binário nominal;
- As perdas devidas aos harmónicos são consideradas na determinação do rendimento;
- São definidas 5 classes distintas de rendimento: IE1 a IE5.

Esta especificação técnica surge em consequência da importância crescente das aplicações baseadas em VEVs. Os limites da classe IE5 são aqui definidos, refletindo o facto destes motores poderem funcionar em regimes com melhores rendimentos. De referir que os regimes de funcionamento dos motores abrangidos correspondem a cargas na vizinhança dos valores nominais, com variações de velocidade lentas e pouco frequentes. Importa ainda mencionar que o rendimento é determinado com base na especificação técnica CEI TS 60034-2-3, de 2013.

### 3.3 Norma CEI 61800-9-2 [8]

A 1ª edição da norma CEI 61800-9-2 foi publicada em 2017, que define classes de rendimento e métodos de determinação das perdas dos seguintes sistemas:

- Conversores de potência
- Motor+Conversor – Power Drive System (PDS).

As especificações para cada sistema são as seguintes:

- Conversores de potência
- Tensão nominal: [100 – 1000] V (AC);
- Potência nominal: [0,278 – 1209] kVA;
- Não inclui conversores com modo regenerativo;
- Classes: IE0, IE1 e IE2;
- Motor + conversor (PDS)
- Tensão nominal: [100 – 1000] V (AC);
- Potência nominal: [0,12 – 1000] kW;

- (excluindo algumas tecnologias, como servomotores)
- Não inclui conversores com modo regenerativo;
- Classes: IES0, IES1 e IES2;

São definidos dois sistemas de classificação: um para conversores (IE) e outro para PDS (IES). As classes IE1 e IES1 são as referências de ambos os sistemas (Figura 4).

Um aspeto muito relevante é que esta publicação não se dirige apenas a motores, indiciando um primeiro passo para a inclusão de todos os componentes do sistema eletromecânico – ainda que apenas o conversor e a sua integração com o motor sejam aqui tratados. Com efeito, o rendimento global depende dos rendimentos dos seus componentes, pelo que futuras normas sobre classificação de rendimentos e a sua determinação tenderão a integrar os restantes componentes.

### 3.5 Síntese Final

A Figura 5 apresenta uma síntese das normas abordadas neste artigo.

O conteúdo das normas que definem os ensaios de estimação do rendimento não foi aqui abordado. Este assunto requer um espaço próprio, pelo que será tratado noutras oportunidades.

## IEC standards for motor systems



		Scope	Testing	Efficiency classification
1		motor	IEC 60034-2-1 ed 2: published 2014	IEC 60034-30-1 ed 2: published 2014
2		motor, driven by a VFD	IEC 60034-2-3 ed 2: CD 2017	IEC TS 60034-30-2 Technical Specification spring of 2017
3		VFD	IEC 61800-9 IEC 61800-9-1 Extended Products IEC 61800-9-2 VFD Classification/Testing published March 2017 edition 2: work starts now	
4		Motor + VFD		

IEC = International Electrotechnical Commission      VFD = variable frequency drive

Figura 5 – Normas CEI para motores e conversores: classes e métodos para determinação do rendimento

### 4. Conclusões

O consumo de energia dos sistemas eletromecânicos é atualmente estimado em mais de 50% da energia elétrica consumida mundialmente. O impacto dos MIT é preponderante, pelo que o esforço na obtenção de motores com melhor rendimento tem sido muito direcionado para estas máquinas. No caso da UE, o acordo CE/CEMOP foi um estímulo importante na disseminação de motores de rendimento melhorado. Dado o seu carácter de adesão voluntária, os resultados ficaram aquém dos objetivos inicialmente traçados.

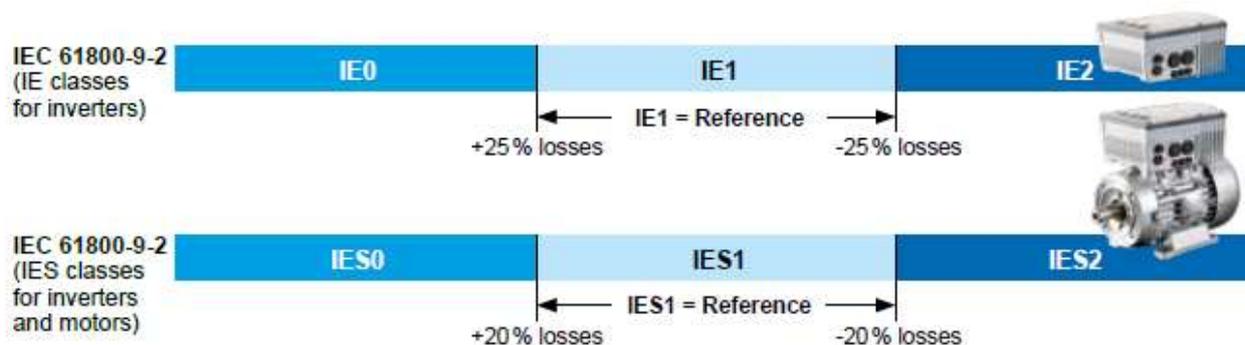


Figura 4 – Classes de rendimento IE e IES (CEI 61800-9-2)

A aceitação global das normas CEI, que definem as classes IE e respetivos métodos de determinação do rendimento, fez destas normas a plataforma de referência usada no desenvolvimento de MEPS, em quase todas as regiões mundiais.

A ênfase exclusiva sobre o rendimento do motor tem vindo a ser alterado, com vista a incluir todos os componentes do sistema eletromecânico (*drive*) – conversor de potência e respetivo controlador, motor, sistema mecânico de transmissão de potência e a carga a acionar. A evolução a que se tem assistido permite antever uma clara tendência para as futuras normas integrarem todos os componentes mencionados.

#### Referências

- [1] P. Waide and C. U. Brunner, "Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems," 2011.
- [2] H. Gavrilă, V. Manescu, G. Paltanea, G. Scutaru, and I. Peter, "New Trends in Energy Efficient Electrical Machines," *Procedia Engineering*, vol. 181, pp. 568-574, 2017.
- [3] "Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems", 4E report, IEA, 2015.
- [4] "Electric Motors and Variable Speed Drives - Standards and legal requirements for the energy efficiency of low-voltage three-phase motors", CEMEP, 2011.
- [5] "Optimização da utilização da energia eléctrica em força motriz", EDP Corporate.
- [6] Conrad U. Brunner et al., "New technology needs new policy - From component to systems", EEMODS 2017, Rome, Italy, 2017.
- [7] "International standard IEC TS 60034-30-2 for variable speed motors", Bauer Gear Motor, 2018.
- [8] Martin Doppelbauer, "Update on IEC Motor and Converter Standards", Motor Summit.

#### HUMOR ELETRO





## EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A DC CURRENT-CONTROLLED VARIABLE INDUCTOR IN A DC-DC CONVERTER

### Abstract

*This paper presents an analysis for the experimental set up of a double toroid variable inductor (VI) that is fed by a DC-DC converter. The main objective is to analyze the behaviour of the VI for different power levels, in particular the influence of the control circuit to regulate the inductance of the main winding. By observing the waveform of the main current winding, it is possible to demonstrate the ability to increase or decrease the inductance value. A variable inductor is typically used from linear to saturated state and presents an inversely proportional inductance as a function of the main winding current. By employing this current-controlled double toroid VI it is possible to have both an inductance increase and inductance decrease as a function of the control current by regulating the reluctance of the magnetic cores.*

*Index Terms—variable inductor, inductance, saturation, toroid, ripple control.*

### 1 Introduction

A variable inductor (VI) is a device that changes the inductance of a winding when the permeability of a magnetic core is regulated. The permeability of the magnetic core can be changed through a control current that will introduce a DC magnetic flux on the core [1]–[9].

Common applications for this device are: reactive power control [9], LED lighting and correspondent driver's control [7], [8], [10], [11], power factor correction [12] and current ripple reduction [13]. Laboratory experiments with VIs have been done with different magnetic core designs, in particular the double E [11], [12], [14], triple E [8] and toroid core design [3], [6], [13], [15]. The research done on the double toroid type has not explained its behaviour for different power levels. In particular, the way the inductance as a function of the control current changes.

The following paper describes the VI operation with a double toroid configuration on an experimental setup, with a focus on the analysis of the main winding inductance as a function of the control current. This relationship is important when the VI is projected, because it shows the maximum and minimum values of the inductance for different states of saturation on the magnetic material.

The paper is organized in four sections. The introduction gives a brief definition of the VI operation and its applications with a focus on the experimental research. Section II describes the system's operation, parameterization and calculations to be done for the experimental analysis. Section III shows the experimental setup and results with a thorough explanation of the system behaviour. Finally, section IV concludes the work presented in this paper.

### II. System description

The experimental tests were conducted with a DC-DC buck converter that is shown in Fig. 1.

The DC bus link is obtained through a rectifier circuit from the AC voltage of the grid. The input voltage is regulated with an autotransformer. This circuit is adapted from an inverter configuration, in which only one arm is used. During  $T_{on}$  of Q1  $i_{main}$  increases linearly and the voltage at the terminals of  $L_{main}$  is given by  $V_{DClink} - V_{Load}$ .

When Q1 is switched off only D2 conducts and the voltage on  $L_{main}$  is given by  $-V_{Load}$ , therefore the current will decrease linearly. The IGBT Q2 is turned off at all times. In order to guarantee that no current goes into the DC link, a diode  $D_{link}$  is connected in series with the DC link, as shown in Fig. 1.

The capacitor  $C_{load}$  is chosen in order to obtain a constant DC voltage at  $R_{load}$ .

A control circuit capable of regulating the operating frequency ( $f_s$ ) allows modeling the duty cycle  $D_s$  from 0 to 80% and  $f_s$  up to 25 kHz. The control circuit was implemented on a digital signal processor capable of generating the voltage pulses for the semiconductors.

There are two main ways of operating the double toroid variable inductor:

- One core has opposing magnetic flux and the other has adding magnetic flux, marked by the blue and orange arrows in both cores in Fig. 2a (configuration A);
- Both cores having opposing magnetic flux, marked by the blue and orange arrows in both cores in Fig. 2b (configuration B).

The main drawback of operating the VI with configuration B, shown in Fig. 2b, is that the induced voltages on the control windings do not cancel each other out. This causes high voltages to appear at the terminals of the control current source, which can damage it. For that reason, this configuration is not considered for this work. On the other hand, the configuration A, shown in Fig. 2a, enables the variation of the main inductance at the expense of one core getting saturated.

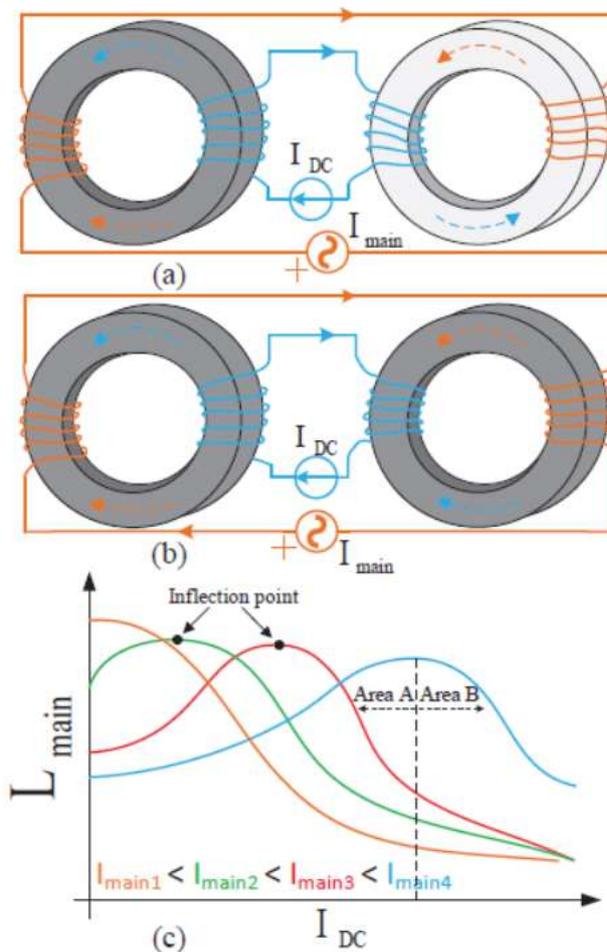


Fig. 2: Design and characteristic of the double toroid VI: (a) Configuration A; (b) Configuration B; (c) Characteristic curve for different  $I_{main}$  values

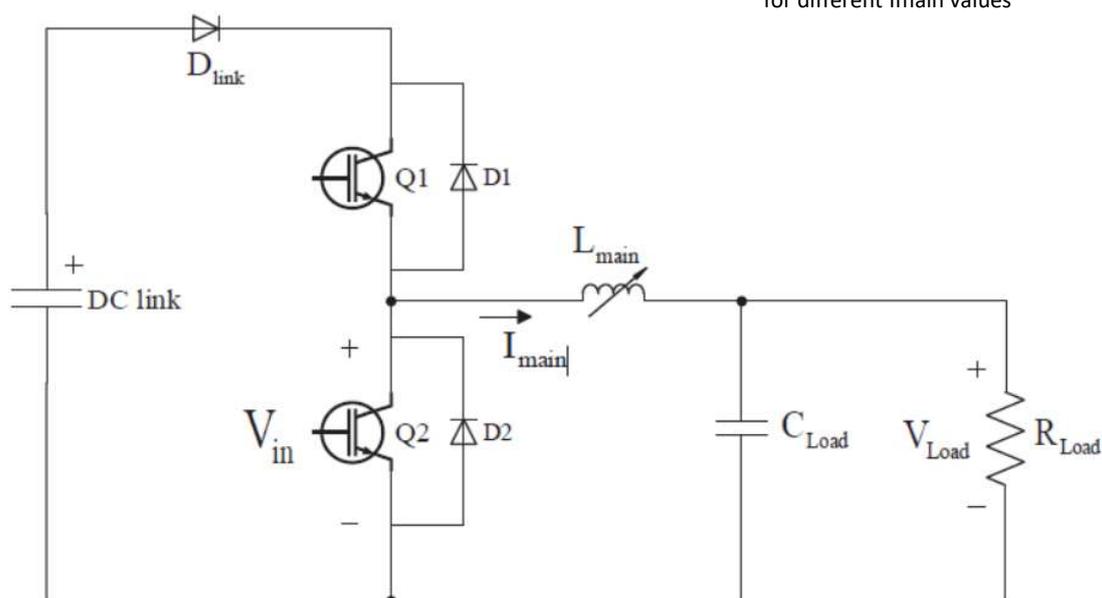


Fig. 1: Schematic diagram for the DC-DC buck converter with the VI and load

Table I displays the different values and characteristics of the components used in this system. The values obtained for the VI windings, Cload and Rload were measured using an LCR meter at 10 kHz, which is the closest frequency setting available, compared to the frequency of operation (20 kHz).

As for the duty cycle, a value of 80% was chosen in order to guarantee that critical conduction is avoided. The core height is equivalent to two cores stacked, so each core is composed of two N87 cores. The control current source has limitations and can only output up to 3.2 A, therefore an higher number of turns is used on the control windings in order to obtain high magnetomotive force FDC with low DC current. The main and control windings are composed of two windings connected in series.  $N_{main}$  and  $N_{control}$  refer to one winding.

Knowing that the design chosen is represented by configuration A, the operation of the VI works as follows: The VI is fed with a main current that will create a magnetic flux named  $\phi_{main}$ . As a result, only magnetomotive force  $F_{main}$  will be present. By powering the control windings with some DC current, FDC will exist and contribute to the existing m.m.f. on the right core (adding), while counteract on the other core (cancelling). As such, there will be a point in the left core where the resultant m.m.f.  $F_{total}$  is approximately zero

TABLE I: Variables of the magnetic and electric components

Properties and parameters			
Core type	Toroid (N87)	$ESR_{1control}$	26.9 $\Omega$
Dimensions	102x68x31.3 mm	$ESR_{2control}$	30.8 $\Omega$
$N_{main}$	26	DC link	0-100 V
$N_{control}$	179	$f_s$	0-25 kHz
$ESR_{1main}$	1.58 $\Omega$	$C_{load}$	1 mF
$ESR_{2main}$	1.69 $\Omega$	$R_{load}$	7 $\Omega$

In that point of operation, which is defined as the inflection point,  $F_{main} = F_{DC}$ . Fig. 2c shows the inductance behavior of the main winding ( $L_{1main} + L_{2main}$ ) as a function of the control current, where the specific points of inflection are noted for different characteristic curves. It is important to note that depending on the average value of  $i_{main}$ , a certain  $F_{main}$  will exist.

Higher values of  $I_{main}$  will require more control current to cancel that  $F_{main}$ , hence why the inflection point travels to the right with higher values of  $I_{main}$ . It is also evident that the inductance presents two main characteristics as shown in Fig. 2c: an increase in  $L_{main}$  with an increase in IDC and a decrease in  $L_{main}$  with an increase in IDC. Depending on the state of operation of the VI only one or two of these characteristics are available. The blue curve on Fig. 2c has both areas highlighted. Area A to the left of the inflection point and area B to the right of the inflection point. For that curve, area A is greater than area B and if a different combination is needed, only  $I_{main}$  needs to be changed. The green curve will have, approximately, the same maximum inductance value but at a smaller control current and area B will be higher than area A. For a specific application it is important to select the desired behaviour.

#### Inductance calculation

Several formulas can be used to compute the inductance of the main winding. It is, however, difficult to obtain in an experimental setup several variables. One of such, is the relative permeability  $\mu_r$  at a certain point of operation of the magnetic material. Nevertheless, equations (1) and (2) are important to explain the relationship between the inductance and the relative permeability.

$$\mathcal{R} = \frac{\ell}{\mu A} \quad (1)$$

with  $\mu = \mu_0 \mu_r$  and the inductance is calculated through

$$L = \frac{N^2}{\mathcal{R}} \quad (2)$$

on another note, the formula of the inductance from the DCDC buck converter is defined by equation (3)

$$L_{main} = \frac{(V_{DClink} - V_{load})D_s T_s}{\Delta i_{main}} \quad (3)$$

where  $D_s$  is the duty cycle,  $T_s$  is the period of operation and  $\Delta i_{main}$  is the main current ripple.

With this equation the calculation of the main inductance can be done for all values of IDC and is not dependent on the magnetic properties of the cores. Analysis of this equation shows that a high ripple translates into a lower inductance, while a small ripple means that a higher inductance is obtained. The frequency of operation and the duty cycle are constant for the experiment, therefore their values are not relevant for the variability of the main winding inductance.

Since a low value of inductance equates to a high ripple, it is possible to state that a high current ripple happens when the magnetic cores are saturated, i.e. the permeability on them is small as highlighted by (1) and (2). Conversely, a high inductance equates to a high permeability on the magnetic cores, which in this case will only be possible on the left core (Fig. 2a), because of the opposing fluxes. The right core will saturate due to the adding fluxes.

The ripple value will be used as a way to visually interpret when the maximum and minimum inductances are reached and to identify operation on areas A and B.

### III. Experimental setup and results

The experimental setup is pictured in Fig. 3 and displays all the components used. The digital signal processor (TMS320F28335 from TI) is used in order to generate the pulses for IGBT Q1 (SEMIX202GB066HDS) and to control the frequency and duty cycle of the system. The interface board computes the signals given from the DSP and injects them in the IGBT's driver (SKYPER 32 PRO). A DC voltage source (PSM2/2A) is needed as an external power source to this board. The control current source (GS610 from Yokogawa), under the DC voltage source, is connected to the control windings.

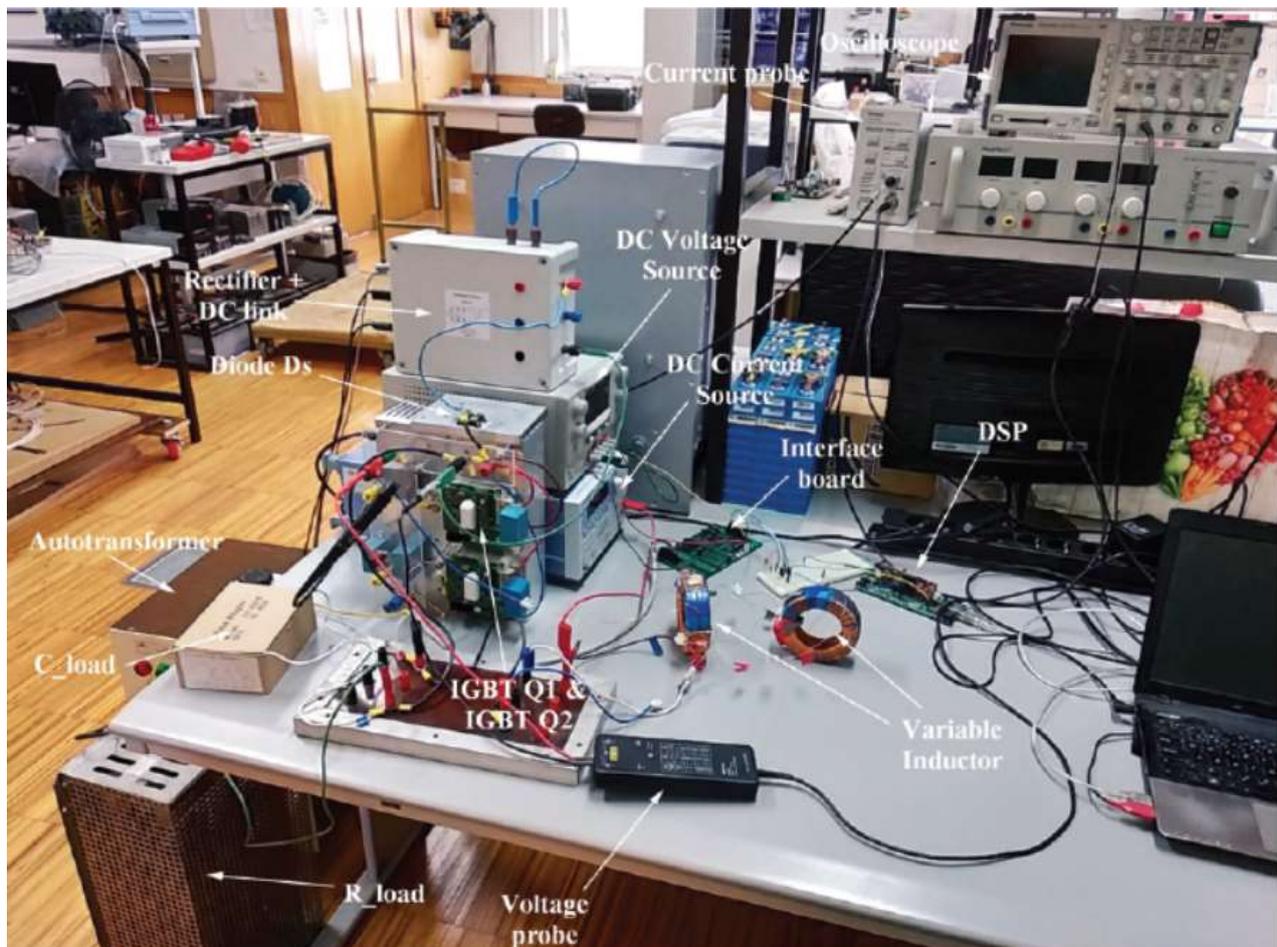


Fig. 3: Overview of the experimental setup

The results taken from the oscilloscope were obtained through WaveStar for Oscilloscopes by importing the data to a laptop. A detailed look over the variable inductor is displayed on Fig. 4. The magnetic cores are visible, each with two N87 cores stacked. Furthermore, the main and control windings are identified and it is clear the difference in the number of turns used.

Two main experimental tests were considered: one with a value of  $i_{main\_avg}$  of around 4.2 A and other with a value of 7.3 A.

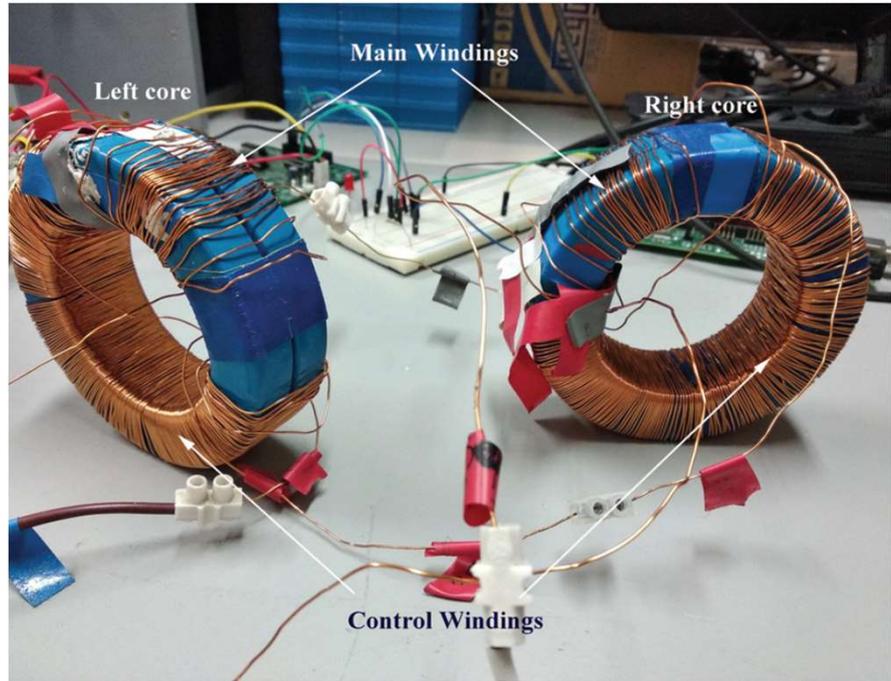


Fig. 4: Close look over the two toroids

This way it is possible to obtain two characteristic curves in two different states of operation. The initial test depicts the operation of a VI with standard conditions in which the inductance decreases with the increase in control current. The second test has an higher  $i_{main\_avg}$  and shows the new behaviour of the inductance when the control current is changed. For this case the inductance increases until a maximum value is reached and then decreases again as the control current is further incremented.

#### A. Operating current $i_{main\_avg} = 4.2$ A

A first experimental test was performed to show the behavior of the double toroid VI on a state of operation characterized by a low value of  $i_{main\_avg}$ . This current is obtained by regulating the DC link voltage to 40 V. Table II shows the data obtained for a control current between 0 and 2 A. The average current on the main winding as well as ripple values  $\Delta i_{main}$  are taken directly from the oscilloscope readings.  $V_{load}$  is obtained with a multimeter because

TABLE II: Experimental data for  $V_{Dlink} = 40$  V

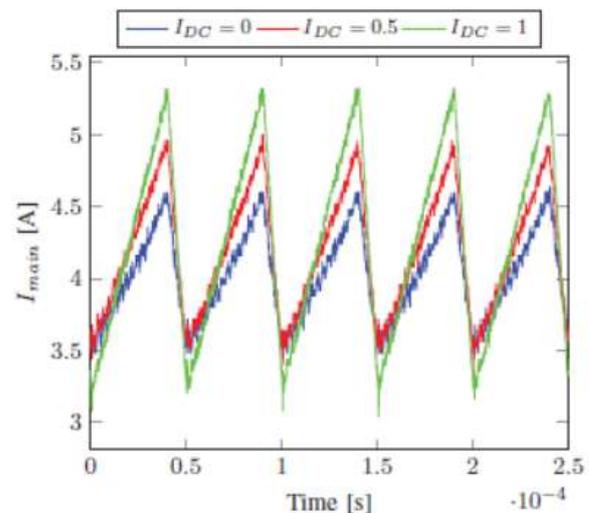
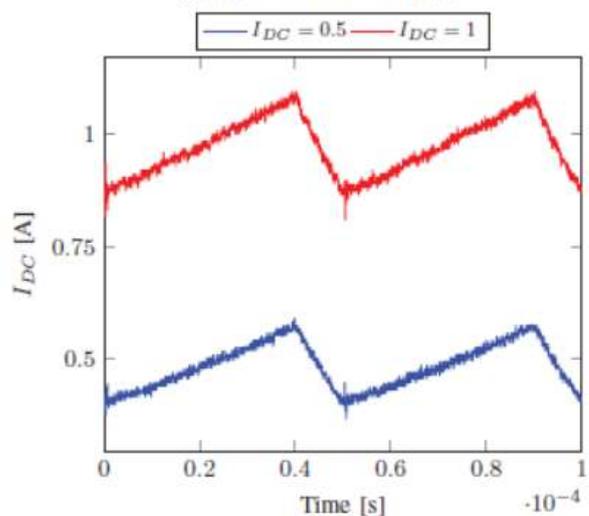
$I_{DC}$	$i_{main\_avg}$	$\Delta i_{main}$	$V_{load}$	$L_{main}$ (mH)
0	4,18	1,12	27,8	0,4357
0,1	4,18	1,19	28	0,4034
0,2	4,18	1,26	28	0,381
0,3	4,2	1,34	28	0,3582
0,4	4,12	1,42	28,1	0,3352
0,5	4,16	1,54	28,2	0,3065
0,6	4,11	1,66	28,15	0,2855
0,7	4,14	1,84	28,1	0,2587
0,8	4,14	2	28,1	0,238
0,9	4,13	2,12	28,1	0,2245
1	4,18	2,26	28,1	0,2106
1,1	4,2	2,46	28	0,1951
1,2	4,2	2,52	28,05	0,1897
1,3	4,22	2,58	28,1	0,1845
1,4	4,18	2,68	28,05	0,1783
1,5	4,13	2,8	28	0,1714
1,6	4,12	2,84	28,2	0,1662
1,7	4,13	2,86	28	0,1678
1,8	4,12	2,94	28	0,1633
1,9	4,11	2,96	28	0,1622
2	4,11	3,06	27,9	0,1582

it allows for better precision at different IDC levels.

The average value for the main current stays relatively constant, despite the increase in control current. Moreover, the voltage at the terminals of the load is also unaffected by the increase in DC current.

The peak to peak value of the main current was registered for all the values of DC current and it is clear that in this experiment an higher DC current leads to higher ripple. The waveform representation of  $i_{main}$  for three values of IDC at 0, 0.5 and 1 A is shown on Fig. 5a and this increase is clearly visible. At  $IDC = 0$  A the ripple value amounts to only 26.8% of  $i_{main\_avg}$ . With  $IDC = 2$  A the ripple accounts for 74.5% of the main current value. An higher ripple value will be responsible for higher losses on the system, particularly in the magnetic core. Moreover, induced voltages on the control windings are proportional to the rate of change of the magnetic flux. If the ripple increases, this rate of change will also increase. One of the great advantages of the VI implementation is the ability to control this effect and maintain the power current with minimum ripple. Fig. 5b shows the effect of the induced voltages on the control winding circuit. Even though the DC current source outputs a constant current, its waveform is affected by the voltage reflections on the control circuit. As previously stated, the design chosen of Fig. 2a cancels the induced voltages on the control windings, albeit not completely. Therefore, these induced voltages cause the control current to have a triangular shape, similar to the one on the power circuit.

The rightmost column of Table II displays the inductance of the main winding. Its calculation is done with (3). The only variable that changes is the ripple, therefore as the ripple increases the inductance decreases. This behaviour is plotted on Fig. 6 which shows the inductance as a function of the control current. The inflection point does not appear on this curve and the maximum inductance is obtained when no control current is injected. Therefore, this state of operation is relative to a characteristic curve that only has the B operation area behaviour, as shown in Fig. 2c (orange curve). In order to explain the reason for this behaviour it is important to look at Fig. 2a. The right core will be always saturated because both fluxes add each other. Without control current both cores have a magnetomotive force  $F_{main}$ . When the control circuit is activated the left core has a total magnetomotive force given by equation (4).

(a)  $i_{main}$  for different  $IDC$ .(b) Waveform of  $i_{DC}$ .Fig. 5: Waveforms of  $i_{main}$  and  $i_{DC}$  for  $V_{DClink} = 40$  V

$$F_{total} = F_{main} - F_{DC} \quad (4)$$

The left core has an initial saturation state due to  $i_{main}$ . However, the graphical representation on Fig. 6 shows that both cores saturate when the control current rises, which can be concluded by seeing that the inductance is always decreasing. This is attributed to the fact that the left core starts to saturate due to the DC flux. In that sense, the initial value of  $F_{main}$  is small enough so that  $F_{DC}$  at  $IDC = 0.1$  A is much higher than  $F_{main}$  in this point of operation.

For small values of operating current in the main windings, the inflection point is not visible and the left core saturates due to the DC flux. An application that requires lowering the inductance with an increase in control current needs to have this kind of characteristic. The implementation of this kind of VI is not very efficient due to the need to saturate the cores even further to get those results, which causes further losses in the system.

**B. Operating current  $i_{main\_avg} = 7.3$  A**

The second experimental test involves, as shown in Table III, the increase of the DC link voltage from 40 V to 70 V.

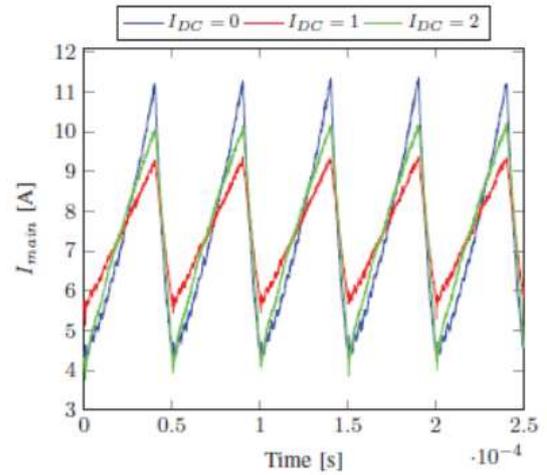
By increasing this voltage, the average current  $i_{main\_avg}$  will increase and put the magnetic cores with a saturation level higher than the previous test.

Similarly to the initial experiment, the average current and the voltage at the load remain stable throughout the change in IDC. The ripple value has a maximum value at IDC = 0 A and reaches its minimum value at IDC = 0.9 A, when the left core is unsaturated. Fig. 7a shows the difference between  $i_{main}$  waveforms with three IDC values. The ripple decreases until IDC = 0.9 A and then increases again for higher DC control currents. The three waveforms are relative to control currents of 0, 1 and 2 A. It is also important to note that the higher the value of  $i_{main\_avg}$  the higher will be  $\Delta i_{main}$ .

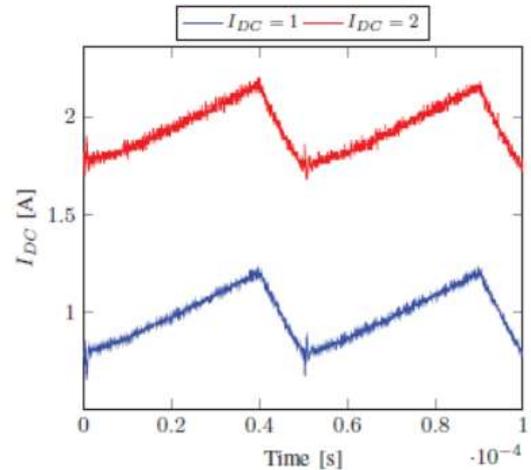
Without DC flux present, the ripple accounts for 108% of the average value and is reduced significantly to 54% with a control current of 1 A. In terms of experimental observation it was possible to know when the inductance was increasing or decreasing by observing the ripple variation. In addition, the waveforms on Fig. 7a show that under higher core saturation,  $i_{main}$  presents a non linear characteristic that is seen on the blue waveform. With IDC = 1 A the red waveform has a more linear behaviour. The two control current waveforms shown in Fig. 7b are more or less equivalent to the ones shown in Fig. 5b with the only difference being the constant values considered for this case (1 and 2 A).

TABLE III: Experimental data for  $V_{Dclink} = 70$  V

$I_{control}$	$I_{main}$	$\Delta i_{main}$	$V_{load}$	$L_{main}$ (mH)
0	7,33	7,92	48,7	0,1076
0,1	7,37	7,76	48,6	0,1103
0,2	7,38	7,6	48,7	0,1121
0,3	7,38	7,44	48,7	0,1145
0,4	7,34	6,64	48,7	0,1283
0,5	7,27	6,24	48,6	0,1372
0,6	7,32	5,04	48,7	0,1690
0,7	7,37	4,64	48,6	0,1845
0,8	7,33	3,68	48,6	0,2326
0,9	7,33	3,44	48,6	0,2488
1	7,33	4	48,6	0,214
1,1	7,36	4,08	48,7	0,2088
1,2	7,35	4,4	48,6	0,1945
1,3	7,37	4,48	48,7	0,1901
1,4	7,35	4,64	48,7	0,1836
1,5	7,31	4,8	48,7	0,1775
1,6	7,28	5,04	48,7	0,1690
1,7	7,29	5,2	48,7	0,1638
1,8	7,34	5,52	48,7	0,1543
1,9	7,26	5,6	48,7	0,1521
2	7,36	5,81	48,8	0,1459



(a)  $i_{main}$  for different  $I_{DC}$ .



(b) Waveform of  $i_{DC}$ .

Fig. 7: Waveforms of  $i_{main}$  and  $i_{DC}$  for  $V_{Dclink} = 70$  V

It is known that the initial saturation state of both cores is higher than before, as such their permeability is smaller. Moreover,  $F_{\text{main}}$  is also higher and to cancel it on the left core, more control current is needed. Indeed, by following the same thought process with (4), it is possible to conclude that the inflection point will occur due to the higher magnitude of main flux. The first values of control current reduce the saturation on the left core, increasing its permeability and therefore the inductance, as depicted in Fig. 8. At some point  $F_{\text{main}} \approx F_{\text{DC}}$  and the inductance reaches a maximum value due to the maximum permeability, which in this case happens at around  $I_{\text{DC}} = 0.9$  A. If the control current is further increased, the left magnetic core will start to saturate again but this time due to the DC flux. The ripple of  $i_{\text{main}}$  will increase again and the inductance gets smaller. The plot of Fig. 8, that is made with the values from Table III summarizes this behaviour. This curve displays both operation areas A and B that were referred in Fig. 2c. On area A  $F_{\text{main}} > F_{\text{DC}}$  whereas on area B  $F_{\text{main}} < F_{\text{DC}}$ .

These two experiments show the behaviour of the inductance curves when the main current is increased, i.e. its shift to the right, as pictured in the curves of Fig. 2c. The results of the first experiment shown in Fig. 6 allow for a variation only on area B, while the results of the second experiment regulate the VI on both areas, as illustrated in Fig. 8. The orange curve with only area B and the red curve with both areas, shown in Fig. 2c, have a similar representation to the ones obtained experimentally, as can be observed in Fig. 6 and Fig. 8. It is also important to note the difference on the inductance variation on Fig. 6 and Fig. 8: the first experiment has a variation of 175% relative to the minimum value, whereas on the second test the variation is 131%. Considering that the  $i_{\text{main}}$  ripple on the second test is higher it is possible to conclude that the magnetic cores on the second test are more saturated, so the variation of inductance that can occur is more limited.

#### IV. Conclusion

This work provides a study of a double toroid operation under experimental test conditions.

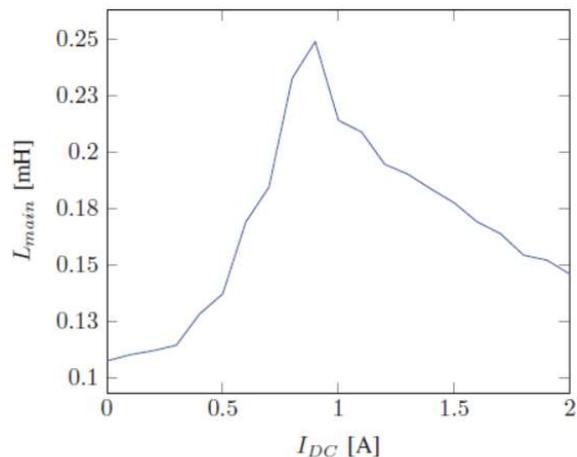


Fig. 8:  $L_{\text{main}}$  as a function of IDC for  $V_{\text{DClink}} = 70$  V

A prototype, based on a DC-DC Buck converter, was built and data was retrieved in order to analyze the VI operation. Brief considerations regarding the applicability of the VI are made. The system description and parameterization is also addressed.

Two experimental tests were done to display the operation of the VI under two different modes. The first test with a small  $I_{\text{main}}$  shows an inductance behaviour in which both cores are lightly saturated by the main magnetic flux, as seen by the small ripple values. In this test, a small control current is enough to saturate the left core due to the high number of turns, producing a dominant DC flux. Consequently, the saturation level will be caused by FDC not allowing the observation of the inflection point. Increasing the control current will saturate both cores even more, one due to the DC flux and the other due to both fluxes. Therefore, the inductance will only display the behaviour shown by operation area B in Fig. 2c, i.e. decreases with the increase in DC current. The second test with a higher  $I_{\text{main}}$  increases the  $F_{\text{main}}$  and for that reason more DC current is necessary to generate an opposing FDC, in order to obtain the maximum inductance value. From this point there are two options to decrease the inductance, which is done by increasing or decreasing the DC current. Despite having the same inductance values, operating on area A results in less Joule losses in the control windings.

Observing the ripple in the current waveforms on the main windings is enough to understand when the inductance is rising or decreasing, by watching its value decrease or increase, respectively.

## References

- [1] R. Hooper, B. Guy and R. Perrault, "A current-controlled variable inductor," in *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, vol. 14, no. 4, pp. 39-44, Aug. 2011.
- [2] J. M. Alonso, M. Perdigão, M. A. Dalla Costa, S. Zhang and Y. Wang, "Variable inductor modeling revisited: The analytical approach," 2017 *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Cincinnati, OH, 2017, pp. 895-902.
- [3] M. W. Beraki, J. P. F. Trovão, M. S. Perdigão and M. R. Dubois, "Variable Inductor Based Bidirectional DC-DC Converter for Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 10, pp. 8764-8772, Oct. 2017.
- [4] J. M. Alonso, M. S. Perdigão, G. Z. Abdelmessih, M. A. Dalla Costa and Y. Wang, "SPICE Modeling of Variable Inductors and Its Application to Single Inductor LED Driver Design," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 7, pp. 5894-5903, July 2017.
- [5] S. M. Ahsanuzzaman, T. McRae, M. M. Peretz and A. Prodić, "Lowvolume buck converter with adaptive inductor core biasing," 2012 *Twenty-Seventh Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Orlando, FL, 2012, pp. 335-339.
- [6] M. S. Perdigão, J. P. F. Trovão, J. M. Alonso and E. S. Saraiva, "Large-Signal Characterization of Power Inductors in EV Bidirectional DC-DC Converters Focused on Core Size Optimization," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 5, pp. 3042-3051, May 2015.
- [7] M. S. Perdigão, M. F. Menke, Á. R. Seidel, R. A. Pinto and J. M. Alonso, "A Review on Variable Inductors and Variable Transformers: Applications to Lighting Drivers," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52, no. 1, pp. 531-547, Jan.-Feb. 2016.
- [8] E. A. Bitencourt, M. R. Cosetin, I. G. Vegner and R. N. do Prado, "A ferromagnetic based variable inductor analysis and design methodology," 2015 *IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)*, Fortaleza, 2015, pp. 1-5.
- [9] K. Nakamura et al., "Development of Concentric-Winding Type Three-Phase Variable Inductor," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 51, no. 11, pp. 1-4, Nov. 2015.
- [10] Y. Hu, L. Huber and M. M. Jovanović, "Universal-input single-stage PFC flyback with variable boost inductance for high-brightness LED applications," 2010 *Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Palm Springs, CA, 2010, pp. 203-209.
- [11] M. Martins, M. S. Perdigão, A. M. S. Mendes, R. A. Pinto and J. M. Alonso, "Analysis, Design, and Experimentation of a Dimmable Resonant-Switched-Capacitor LED Driver With Variable Inductor Control," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 4, pp. 3051-3062, April 2017.
- [12] Cheon-Yong Lim, J. H. Kim, Yeonho Jeong, Dong-Kwan Kim, Han-Shin Youn and Gun Woo Moon, "A high efficiency critical mode boost PFC using a variable inductor," 2016 *IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia)*, Hefei, 2016, pp. 2792-2797.
- [13] Y. Gu, D. Zhang and Z. Zhao, "Input Current Ripple Cancellation Technique for Boost Converter Using Tapped Inductor," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 10, pp. 5323-5333, Oct. 2014.
- [14] R. A. Pinto, J. M. Alonso, M. S. Perdigão, M. F. da Silva and R. N. do Prado, "A New Technique to Equalize Branch Currents in Multiarray LED Lamps Based on Variable Inductors," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52, no. 1, pp. 521-530, Jan.-Feb. 2016.
- [15] M. Beraki, M. Perdigão, F. Machado and J. P. Trovão, "Auxiliary converter for variable inductor control in a DC-DC converter application," 2016 *51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Coimbra, 2016, pp. 1-6.



## A ENGENHARIA AO SERVIÇO DA SEGURANÇA

No mercado da segurança privada, ganhar concursos de vigilância humana à custa da redução sistemática dos custos deixou de ser suficiente e passou a ser necessário repensar o modelo de negócio de modo a antecipar as novas exigências do sector e em particular para tentar corresponder às novas expectativas dos clientes.

As expectativas dos clientes relativamente aos serviços de segurança têm evoluído das competências mais simples (que ainda imperam) para competências de cariz mais sofisticado, exigindo mais capacidade de criação de valor e emprego mais qualificado na prestação dos serviços.

Existem de fato competências que podem ser associadas ao desempenho de funções mais complexas, exigentes e criativas no sector da prestação dos serviços de segurança privada e que se podem traduzir em economias de escala, quer para o cliente, quer para a empresa contratada.

O aprofundamento da especificação dessas competências mais sofisticadas permite conjecturar uma segmentação mais pormenorizada das tendências das expectativas dos clientes nos futuros cadernos de encargos, aproximada ao respetivo grau de sofisticação.

São essencialmente três, as componentes necessárias para o dimensionamento dos serviços que incluem competências mais sofisticadas:

- Solução tecnológica;
- Customização dos serviços integrando tecnologia;
- Integração dos serviços numa política interna de segurança aprovada pelo cliente;

A solução tecnológica deve estar associada à redução da dependência do fator humano nas tarefas “automatizáveis”

(exemplo: deteção intrusão, controlo de acessos, deteção de incêndio).

A customização dos serviços integrando tecnologia deve estar relacionada com as dinâmicas específicas dos processos adaptativos que têm em conta a relação com o cliente, a criatividade, o desenvolvimento de soluções e a identificação das formas de colaboração e cooperação num contexto de interação com a organização interna do cliente.

A integração dos serviços numa política interna de segurança aprovada pelo cliente deve ser pensada com base em seis competências base, adaptadas à segurança: Comunicação, decidir / resolver problemas, manual de posto, liderança, profissionalismo e trabalho de equipa.

Do ponto de vista operacional, as principais expectativas dos clientes quando contratam serviços integrados de segurança são conseguir, por um lado: a deteção imediata (meios técnicos) de qualquer situação de risco que ponha em causa a normal atividade da empresa e, por outro: implementar uma capacidade efetiva de intervir (meios humanos) e eliminar esse risco, afetando o menos possível, a atividade da empresa.

Para se poderem saber quais os “meios” adequados a aplicar, é preciso ter bem claros quais os “fins” a que se destinam e para isso é fundamental que seja definida uma política de segurança adequada ao nível de risco identificado para a empresa.

Política de segurança é, ou deve ser, a estratégia de proteção de pessoas e bens considerada necessária e suficiente para manter controlado o nível de risco identificado para a empresa em geral e para cada uma das suas instalações em particular.

Eficácia dos meios versus o seu custo é portanto o fator chave para o adequado desenvolvimento e definição de uma oferta integrada de serviços de segurança, à medida das necessidades e que corresponda às expectativas das áreas operacionais da empresa.

A vantagem deste processo de abordagem é o de permitir à empresa tomar decisões fundamentadas, baseadas num compromisso de nível de serviço que, por sua vez, está sustentado na relação custo / eficácia, assumida também pelo prestador de serviços de vigilância humana.

Ou seja, para que a oferta de serviços de segurança privada possa corresponder efetivamente às expectativas dos clientes, é preciso que:

- Os procedimentos operacionais sejam considerados logo na fase de projeto. Caso contrário, o interface homem-máquina não será efetivo.
- As medidas de segurança eletrónica sejam pensadas e implementadas para complementar os procedimentos da vigilância humana:
  - SADI - Sistema Automático Detecção Incêndio;
  - SADG – Sistema Automático Detecção Gases;
  - SADIR - Sistemas Automático Detecção Intrusão e Roubo;
  - SACA – Sistema Automático Controlo Acessos;
  - CFTV – Circuito Fechado Televisão;
  - PSI – Plataforma Segurança Integrada

Resumindo:

A solução tecnológica deve ser estruturada do ponto de vista da empresa (cliente) e não do ponto de vista da empresa de segurança que se propõe prestar os serviços.

O objetivo é reduzir e controlar os principais riscos detetados, sustentados por um nível de prestação de serviços capaz de efetuar a deteção precoce de eventos com

risco potencial (deteção eletrónica) e, caso se confirme a intenção criminosa, de uma efetiva capacidade de interrupção dessas ocorrências (operativa de reação por parte da empresa de prestação de serviços de vigilância humana).

É fundamental que os órgãos superiores de gestão da empresa ponderem sobre a real necessidade de implementação de uma política de segurança interna e que aprovelem as linhas de orientação que considerem ajustarem-se às atuais necessidades de segurança da empresa em geral e de cada uma das suas instalações em particular.

Estas linhas de orientação são de extrema importância para o dimensionamento e arquitetura da solução tecnológica de segurança a considerar num eventual caderno de encargos, pois são elas que irão servir de base para a definição dos pressupostos de funcionamento, operação e interação com os serviços internos (responsáveis direta e indiretamente implicados na segurança de cada instalação) e externos de segurança (prestação de serviços).

A solução tecnológica de segurança permitirá definir níveis de serviço (internos e externos), dissuadindo contra tentativas de roubo e de abusos de confiança e funcionando como ferramenta de gestão e controlo de qualidade desses mesmos serviços.

Não será de desprezar o impacto positivo da implementação de uma política de segurança interna na imagem da empresa transmitida a clientes, fornecedores, colaboradores e visitas.

A implementação faseada das diversas medidas com a preocupação de envolver previamente todos os departamentos implicados direta e indiretamente nas mudanças de procedimentos, transmitirá mais confiança e responsabilidade às chefias e mais organização e controlo a todos os funcionários e colaboradores.

A acompanhar as mudanças, deverão ser definidos indicadores para avaliar o aumento dos níveis de segurança e

do aumento do índice de satisfação dos colaboradores, fornecedores e até clientes (eventualmente incorporar as medidas no plano de Qualidade).

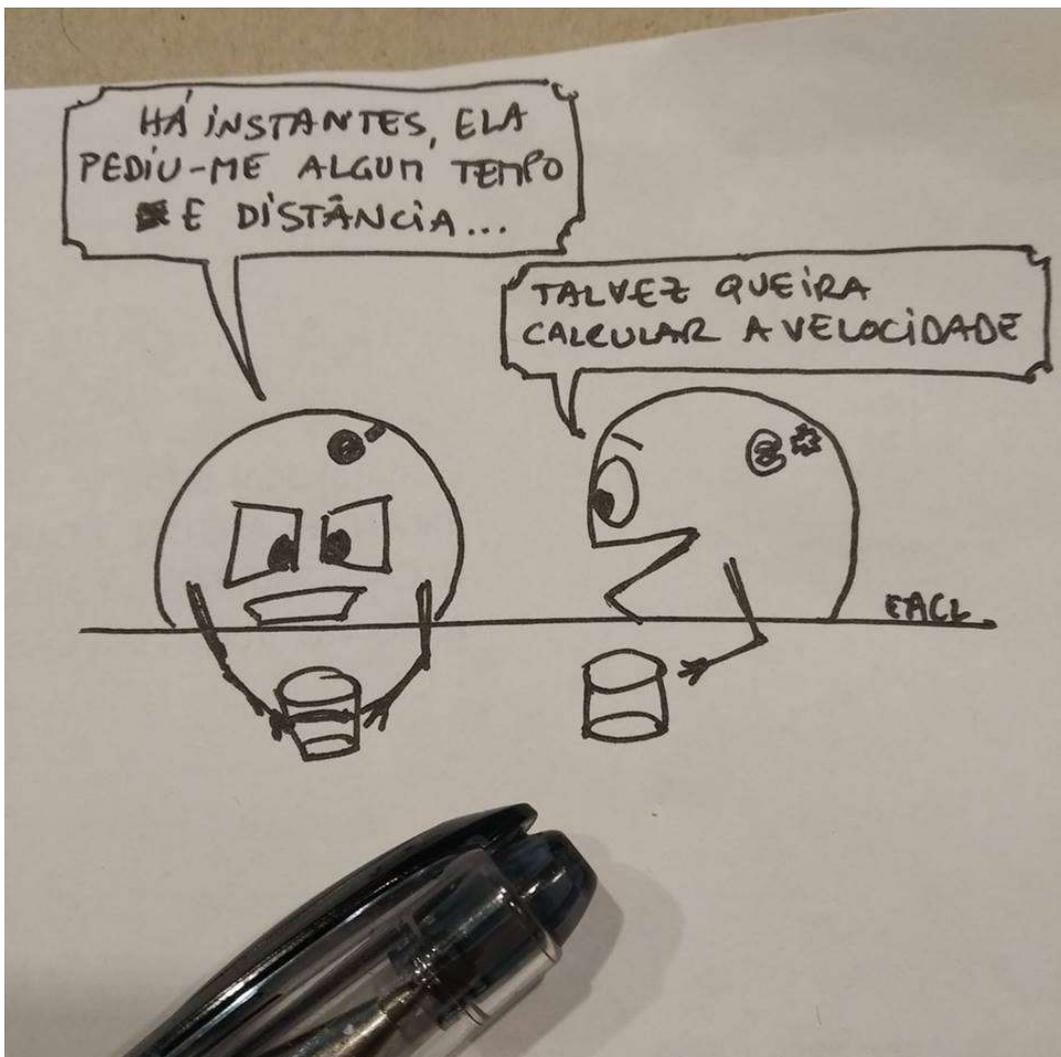
Só assim se consegue minimizar o risco de falha humana e fazer o contrato de prestação de serviços depender de um nível de serviço pré-acordado com a empresa.

Se estes pressupostos passarem a ser tidos em linha de conta pelas empresas, é de prever que a forma e o objeto dos cadernos de encargos de segurança eletrónica e

vigilância humana, sejam drasticamente alterados num futuro próximo, passando a basear-se em políticas de segurança e a apresentar verdadeiras soluções integradas (equipamentos + serviços), à medida das reais necessidades de segurança das empresas.

Num mercado em transformação como o da segurança privada onde a tecnologia, sofisticação e complexidade são conceitos já do presente, qualquer vantagem competitiva pode e deve ser aproveitada.

HUMOR ELETRO





## REGULAMENTOS TÉCNICOS NO ÂMBITO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

### 1. Aspetos gerais

A atividade de técnico responsável por instalações elétricas <sup>(1)</sup> é, e será sempre, cada vez mais, uma atividade estimulante e com constante necessidade de atualização e evolução.

Trata-se de uma atividade extremamente vasta e diferenciada, requerendo, por um lado, um profundo conhecimento, relativamente a normas, regulamentos, materiais, equipamentos, soluções técnicas e tecnologias e, por outro lado, a intervenção numa diversificada área de instalações.

A segurança dos utilizadores, das instalações e dos equipamentos elétricos é a preocupação primeira e fundamental dos técnicos responsáveis pelo projeto (projetistas), pela execução e pela exploração das instalações elétricas.

Ao técnico responsável pelo projeto de instalações elétricas, é exigido encontrar a melhor solução técnico-económica para a instalação em questão, considerando como fator preponderante a segurança de pessoas e bens.

O projeto de instalações elétricas deverá ser objeto de um estudo específico de forma a que a solução final proposta traduza as necessidades e características próprias da instalação, e não que o mesmo não se confine a uma mera cópia adaptada de um outro de uma instalação semelhante, deve, ainda, funcionar como um elemento dinamizador da aplicação de novos aparelhos, equipamentos e conceitos até então desconhecidos ou pouco aplicados, bem como uma

garantia superiormente fornecida acerca da correta utilização dos aparelhos, bom senso na conceção das instalações e adequada segurança e conforto dos utilizadores.

A existência de um projeto de instalações elétricas, deve conferir, por si só, uma garantia de qualidade, segurança e funcionalidade, flexibilidade e fiabilidade das instalações, bem como, por vezes, a diminuição dos custos de execução e exploração das mesmas.

Ao técnico responsável pela execução das instalações elétricas, é exigido a execução das instalações em conformidade com o definido no projeto, cumprindo a regulamentação e mais legislação aplicável e observando as boas regras da arte.

Ao técnico responsável pela exploração, é exigido verificar, através da realização de verificações periódicas, que as instalações mantêm as condições que permitam o seu funcionamento garantindo a segurança de pessoas, animais e bens.

### 2. Regulamentos no âmbito das instalações elétricas

Para se poder ser, de uma forma cabal, responsável pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas é imprescindível o conhecimento exato dos diversos diplomas legais, em vigor, que enquadram a instalação e a atividade em questão.

Seguidamente serão indicados os principais regulamentos no âmbito das instalações elétricas.

<sup>(1)</sup>**Técnico responsável por instalações elétricas:** *Indivíduos que, preenchendo os requisitos fixados na Lei n.º 14/2015, 16 de março, podem assumir a responsabilidade pelo projeto, pela execução ou pela exploração de instalações elétricas.*



#### iv. Alterações ao Regulamento de Segurança e de Subestações, Postos de Transformação e de Seccionamento

Portaria N.º 37/70, de 17 de janeiro: Aprova as instruções para os primeiros socorros em acidentes pessoais produzidos por correntes elétricas e, igualmente, aprova o modelo oficial das referidas instruções para afixação obrigatória nas instalações elétricas, sempre que o exijam os regulamentos de segurança respetivos.

Decreto-Lei N.º 14/77, de 18 de fevereiro: Dá nova redação aos artigos 32.º, 38.º, 54.º, 61.º, 62.º e 67.º do Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento, aprovado pelo Decreto N.º 42895, de 31 de março de 1960.

Decreto Regulamentar N.º 56/85, de 5 setembro: Altera os artigos 34.º, 38.º, 42.º, 62.º, 63.º, 64.º e 65.º do Regulamento de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento, aprovado pelo Decreto-Lei N.º 42 895, de 31 de março de 1960.

#### 2.2. Linhas elétricas de alta tensão

O Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão<sup>(3)</sup> foi aprovado pelo Decreto Regulamentar N.º 1/92, de 18 de fevereiro, conforme estabelecido pelo Decreto-Lei N.º 180/91, de 14 de Maio.

960

DIÁRIO DA REPÚBLICA — I SÉRIE-B

N.º 41 — 18-2-1992

Ensaio	Preço
<b>Granulado, regranolado e pó</b>	
Massa volumica .....	2 900\$00
Granulometria .....	3 870\$00
Humidade (por secagem) (cada três provetes) .....	2 580\$00
Humidade (método xilol) (cada três provetes) .....	4 840\$00
Condutibilidade termica (regime permanente) .....	19 360\$00
<b>Aglomerado negro acústico</b>	
Absorção acústica (método tubo) .....	16 130\$00
<b>Aglomerado negro térmico</b>	
Humidade .....	2 580\$00
Massa volumica .....	1 420\$00
Resistência à flexão .....	3 550\$00
Tensão de rotura paralela às faces ( <i>shear strength</i> ) .....	6 000\$00
Tensão de rotura perpendicular às faces ( <i>coesão</i> ) .....	6 000\$00
Condutibilidade termica .....	23 220\$00
Deformação sob carga fixa .....	4 840\$00
Deformação sob carga móvel .....	4 840\$00
Propagação superficial da chama .....	16 130\$00
Absorção de água por imersão .....	3 230\$00
Absorção de água por capilaridade .....	3 230\$00
Resistência à água fervente .....	1 940\$00
Transmissão de vapor de água .....	23 220\$00
<b>Grude animal</b>	
Humidade .....	2 580\$00
Cinzas .....	1 416\$00
pH .....	3 870\$00
Absorção de água .....	3 230\$00
Ponto de fusão .....	3 230\$00
Tensão de gelia .....	4 840\$00
Viscosidade .....	7 740\$00
<b>Recolha de amostras</b>	
Efectuada por pessoal da EFN .....	1 500\$00
<b>Ensaio</b>	
<b>Pez</b>	
Densidade relativa .....	1 620\$00
Grau .....	1 290\$00
Índice de acidez .....	1 940\$00
Índice de saponificação .....	1 940\$00
Poder rotatório .....	1 940\$00
Temperatura de amolecimento .....	1 620\$00
Tendência para a cristalização .....	1 940\$00
Teor em ácido sulfúrico .....	1 940\$00
Teor em cinzas .....	2 900\$00
Teor em cobre .....	3 550\$00
Teor em ferro .....	3 550\$00
Teor em impurezas insolúveis no éter de petróleo .....	2 900\$00
Teor em impurezas insolúveis no tolueno .....	1 940\$00
Teor em matérias insaponificáveis .....	2 900\$00
Teor em óleo volátil .....	2 260\$00
<b>Aguarrás</b>	
Análise cromatográfica .....	7 420\$00
Densidade relativa .....	1 940\$00
Destilação .....	3 550\$00
Índice de acidez .....	1 940\$00
Índice de refração .....	2 260\$00
Massa volumica .....	2 900\$00
Poder rotatório .....	2 900\$00

Ensaio	Preço
Ponto de inflamação .....	2 900\$00
Resíduo de evaporação .....	3 230\$00
Resíduo de oxidação nitrica .....	4 510\$00
Solubilidade em álcool .....	2 900\$00
<b>Gema</b>	
Teor em água .....	2 260\$00
Teor em aguarrás .....	5 810\$00
Teor em impurezas .....	2 900\$00

#### MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E ENERGIA

#### Decreto Regulamentar n.º 1/92 de 18 de Fevereiro

A regulamentação de segurança das instalações eléctricas reveste-se da maior relevância, não só em consideração à vida humana, como à actividade económica, e carece de constante actualização, decorrente da evolução da técnica e do aparecimento de novos materiais e equipamentos.

O anterior Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão, anexo ao Decreto n.º 46 847, de 27 de Janeiro de 1966, foi objecto de alterações parciais por intermédio dos Decretos Regulamentares n.ºs 14/77 e 85/84, de 18 de Fevereiro e de 31 de Outubro, respectivamente, carecendo, porém, de uma revisão global.

Dada a sua extensão e complexidade, esta revisão implicou um longo e laborioso trabalho realizado pela Direcção-Geral de Energia e teve parecer favorável da CORIEL — Comissão para o Estudo e Revisão dos Regulamentos de Segurança das Instalações Eléctricas.

O Regulamento que agora se publica destina-se, naturalmente, a substituir o que se encontra em vigor e contempla as muito altas tensões, a generalização da técnica dos trabalhos em tensão e a evolução da técnica entretanto verificada.

Assim:

Ao abrigo do disposto no artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 180/91, de 14 de Maio, e nos termos da alínea c) do artigo 202.º da Constituição, o Governo decreta o seguinte:

Artigo 1.º — 1 — É aprovado o Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão, anexo ao presente decreto regulamentar e dele fazendo parte integrante.

2 — Nas linhas eléctricas de alta tensão que, na data da entrada em vigor deste decreto regulamentar, já possuam licença de estabelecimento ou para as quais já tenha sido requerida vistoria, se não carecerem de licenciamento prévio, o cumprimento das disposições inovadoras deste Regulamento só será obrigatório relativamente às obras de ampliação, modificação ou renovação.

3 — Os serviços oficiais competentes poderão impor, de acordo com os preceitos deste Regulamento, a execução das modificações ou adaptações que se tornarem necessárias para a segurança das pessoas ou da exploração.

#### Decreto Regulamentar N.º 1/92, de 18 de fevereiro

#### i. Campo de aplicação do Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão

O regulamento aplica-se às linhas eléctricas de alta tensão, aéreas ou subterrâneas, que se designarão abreviadamente «linhas». Aplica-se também às linhas de telecomunicação adstritas à exploração das linhas eléctricas de alta tensão e estabelecidas nos mesmos apoios.

<sup>(3)</sup>Linha de alta tensão - linha eléctrica em que o valor eficaz ou o valor constante da tensão nominal excede os valores seguintes:

- 1000 V: em corrente alternada;
- 1500 V: em corrente contínua.

## ii. Objetivo do Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão

O regulamento destina-se a fixar as condições técnicas a que devem obedecer o estabelecimento e a exploração das instalações elétricas indicadas anteriormente, com vista à proteção de pessoas e coisas e à salvaguarda dos interesses coletivos.

## v. Diplomas revogados pelo Decreto-Lei N.º 180/91, de 14 de maio

O Decreto-Lei N.º 180/91, de 14 de Maio que previu a publicação do Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão, revogou o anterior Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão, anexo ao Decreto n.º 46847, de 27 de Janeiro de 1966, e posteriores alterações parciais realizadas por intermédio dos Decretos Regulamentares n.ºs 14/77 e 85/84, de 18 de Fevereiro e de 31 de Outubro.

## 2.3. Redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão

O Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão<sup>(4)</sup> foi publicado pelo Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de dezembro.

## i. Campo de aplicação do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão

I SÉRIE — N.º 297 — 26-12-1984

3871

Quadro de pessoal do Centro de Saúde Distrital de Viseu

Número de lugares	Categoria	Letra de vencimento
...	III — Pessoal técnico-profissional e administrativo	...
...	4) Pessoal técnico-profissional:	...
1	Técnico auxiliar sanitário coordenador	G
7	Técnico auxiliar sanitário principal ....	H
(a) 12	Técnico auxiliar sanitário de 1.ª classe	I
(a) 13	Técnico auxiliar sanitário de 2.ª classe	J

(a) Se das regras de transição constantes do artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 272/83, de 17 de Agosto, resultar a necessidade de integrar nestas categorias um número superior de funcionários, serão aditados os lugares por conta das vagas existentes nas categorias superiores, a extinguir quando vagarem.

## MINISTÉRIOS DA AGRICULTURA E DO COMÉRCIO E TURISMO

### Despacho Normativo n.º 177/84

Ao abrigo do disposto nos n.ºs 1 e 3 do Decreto-Lei n.º 303/77, de 29 de Julho, e em adiamento à tabela n.º 2 — Produtos Fitofarmacêuticos, aprovada pelo Despacho Normativo n.º 346/80, publicado no *Diário da República*, 1.ª série, n.º 250, de 28 de Outubro de 1984, é autorizado o lançamento no mercado das embalagens com o conteúdo líquido (peso) de 200 g, 5 kg e 25 kg para os produtos fitofarmacêuticos com peso em manêbe, formulados em pó, com o teor de 50 % (p/p) de substância activa.

Ministérios da Agricultura e do Comércio e Turismo, 3 de Dezembro de 1984. — O Ministro da Agricultura, *Álvaro Roque de Pinho Bissaia Barreto*. — O Ministro do Comércio e Turismo, *Joaquim Martins Ferreira do Amaral*.

## MINISTÉRIOS DA INDÚSTRIA E ENERGIA E DO EQUIPAMENTO SOCIAL

### Decreto Regulamentar n.º 90/84 de 26 de Dezembro

A regulamentação de segurança das instalações eléctricas carece de constante actualização decorrente da evolução da técnica e do aparecimento de novos materiais e equipamentos.

O Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão, publicado em Janeiro de 1966, não podia fugir à regra. O trabalho da sua revisão foi iniciado há 7 anos pela CORIEL (Comissão para o Estudo e Revisão dos

Regulamentos de Segurança das Instalações Elétricas), mas só agora foi concluído.

O Regulamento que agora se publica destina-se, naturalmente, a substituir o que se encontra em vigor e contempla a utilização, nas redes aéreas, de condutores dotados de isolamento especial, resistente à intempérie, agrupados em feixe (torçada).

Aproveitou-se a oportunidade para elevar o limite da baixa tensão para 1000 V (entre fases), em corrente alternada, e para 1500 V, em corrente contínua, tendo assim em conta as prescrições internacionais.

Para assegurar a protecção das pessoas contra contactos indirectos nas redes de distribuição, à semelhança da prática usada em muitos países de técnica evoluída, prescreve-se a ligação das massas ao neutro e deste à terra, associada ao emprego de um aparelho de corte automático.

Ao capítulo da protecção das instalações foi dado um desenvolvimento compatível com a segurança e fiabilidade das instalações, matéria insuficientemente tratada no anterior Regulamento.

Finalmente, é de referir que foram tornadas obrigatórias as inspecções periódicas às redes de distribuição, com vista a garantir, ao longo do tempo, a sua segurança e a qualidade de serviço.

Nestes termos:

O Governo decreta, nos termos da alínea c) do artigo 202.º da Constituição, o seguinte:

Artigo 1.º — 1 — O estabelecimento e a exploração das redes de distribuição de energia eléctrica em baixa tensão deverão obedecer às disposições do Regulamento anexo a este decreto regulamentar, que dele faz parte integrante.

2 — Nas redes de distribuição existentes, o cumprimento das disposições inovadoras do novo Regulamento só será obrigatório relativamente às obras de ampliação, modificação ou renovação.

3 — Nas redes de distribuição existentes, a fiscalização do Governo poderá impor, de acordo com os preceitos do novo Regulamento, a execução das modificações ou adaptações que se tornarem necessárias para a segurança das pessoas ou da exploração.

Art. 2.º Os projectos-tipo, as recomendações, os guias, as especificações ou as instruções técnicas elaborados e aprovados pela Direcção-Geral de Energia, depois de obtido o parecer da Comissão para o Estudo e Revisão dos Regulamentos de Segurança de Instalações Elétricas (CORIEL), serão divulgados através da publicação de um aviso no *Diário da República*, o qual indicará o grau de obrigatoriedade e o âmbito da sua aplicação.

Art. 3.º Os artigos 3.º e 4.º do Regulamento de Segurança de Instalações Colectivas de Edifícios e Entradas, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 740/74, de 26 de Dezembro, passam a ter, respectivamente, a redacção constante dos n.ºs 25 e 24 do artigo 3.º do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão, anexo.

Art. 4.º Enquanto não forem revistos os restantes regulamentos de segurança das instalações eléctricas em vigor, considerar-se-á que uma instalação ou parte de instalação será de alta ou baixa tensão conforme o valor eficaz ou constante da sua maior tensão nominal excede ou não:

- a) Em corrente alternada: 1000 V;
- b) Em corrente contínua: 1500 V.

## Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de dezembro

O regulamento aplica-se às redes de distribuição pública de energia eléctrica em baixa tensão, as quais deverão ainda obedecer, na parte aplicável e a que não se oponha este Regulamento, às demais prescrições de segurança em vigor e, bem assim, às regras da técnica.

O Regulamento aplica-se também, sem prejuízo da especificidade dessas instalações, às instalações de utilização de energia eléctrica, de corrente alternada ou de corrente contínua, com estrutura semelhante à das redes de distribuição, incluindo as instalações eléctricas de sinalização e ou de telecommando.

<sup>(4)</sup> Rede de distribuição de energia eléctrica em baixa tensão ou, simplesmente, rede de distribuição - Instalação eléctrica de baixa tensão destinada à transmissão de energia eléctrica a partir de um posto de transformação ou de uma central geradora, constituída por canalizações principais e ramais.

## ii. Objetivo do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão

O Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão destina-se a fixar as condições técnicas a que devem obedecer o estabelecimento e a exploração das instalações elétricas indicadas anteriormente, com vista à proteção de pessoas e coisas e à salvaguarda dos interesses coletivos.

## vi. Diplomas revogados pelo Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de dezembro

O Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de dezembro revogou o Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão, aprovado pelo Decreto n.º 46847, de 27 de Janeiro de 1966, e o artigo 5.º do Regulamento de Segurança de Instalações Coletivas de Edifícios e Entradas, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 740/74, de 26 de Dezembro.

## vii. Alterações de diplomas realizadas pelo Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de dezembro

O Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de Dezembro alterou os artigos 3.º e 4.º do Regulamento de Segurança de Instalações Coletivas de Edifícios e Entradas, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 740/74, de 26 de Dezembro, que passaram a ter, respetivamente, a redação constante dos n.ºs 25 e 24 do artigo 3.º do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão.

## 2.4. Instalações de utilização de energia elétrica em baixa tensão

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão foram publicadas pela Portaria N.º 949-A/2006 de 11 de setembro, conforme estabelecido pelo Decreto-Lei N.º 226/2005, de 28 de dezembro.

6682-(2)

Diário da República, 1.ª série N.º 175 11 de Setembro de 2006

### MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DA INOVAÇÃO

Portaria n.º 949-A/2006  
de 11 de Setembro

O Decreto-Lei n.º 226/2005, de 28 de Dezembro, estabeleceu que as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão são aprovadas por portaria do ministro que tutela a área da economia, sob proposta do director-geral de Geologia e Energia.

As Regras Técnicas definem um conjunto de normas de instalação e de segurança a observar nas instalações eléctricas de utilização em baixa tensão.

Na sua elaboração foram considerados os documentos de harmonização relevantes do Comité Europeu de Normalização Electrotécnica (CENELEC) e da Comissão Electrotécnica Internacional (IEC), bem como utilizados termos contidos no Vocabulário Electrotécnico Internacional (VEI), que se reputam importantes para a compreensão daqueles textos.

Por esta razão, a ordenação das oito partes em que se subdividem as Regras Técnicas respeita a estrutura seguida pela IEC e adoptada pelo CENELEC, por forma a facilitar futuras actualizações decorrentes daqueles documentos de harmonização.

As Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão foram objecto dos procedimentos de notificação à Comissão Europeia previstos no Decreto-Lei n.º 58/2000, de 18 de Abril, que transpôs para o direito interno a Directiva n.º 98/34/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Julho.

Assim:

Manda o Governo, pelo Ministro da Economia e da Inovação, ao abrigo do n.º 1 do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 226/2005, de 28 de Dezembro, que sejam aprovadas as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, que constam do anexo à presente portaria e que dela faz parte integrante.

Pelo Ministro da Economia e da Inovação, António José de Castro Guerra, Secretário de Estado Adjunto, da Indústria e da Inovação, em 20 de Abril de 2006.

#### ANEXO

#### Regras técnicas das instalações eléctricas de baixa tensão

1 — Generalidades.

11 — Campo de aplicação.

11.1 — As presentes Regras Técnicas aplicam-se às instalações eléctricas de:

- a) Edifícios de habitação;
- b) Edifícios de usos comerciais;
- c) Estabelecimentos recebendo público;
- d) Estabelecimentos industriais;
- e) Estabelecimentos agro-pecuários;
- f) Edifícios pré-fabricados;
- g) Caravanas, parques de campismo e instalações análogas;
- h) Estaleiros, feiras, exposições e outras instalações temporárias;
- i) Marinas e portos de recreio.

11.2 — Instalações (ou partes de instalação) a que se aplicam as presentes Regras Técnicas:

a) Circuitos alimentados a uma tensão nominal não superior a 1000 V em corrente alternada ou a 1500 V em corrente contínua; em corrente alternada, as frequências preferenciais consideradas no âmbito das presentes Regras Técnicas são 50 Hz, 60 Hz e 400 Hz, no entanto, não são excluídas outras frequências para aplicações específicas;

b) Circuitos funcionando a tensões superiores a 1000 V, alimentados a partir de instalações de tensão não superior a 1000 V em corrente alternada (como por exemplo, circuitos de lâmpadas de descarga, despejadores electrostáticos, etc.), com excepção dos circuitos internos dos próprios aparelhos;

c) Canalizações que não sejam abrangidas por prescrições relativas aos aparelhos de utilização;

d) Instalações eléctricas (de utilização) situadas no exterior dos edifícios;

e) Canalizações fixas de telecomunicação, de sinalização ou de telemando, com excepção dos circuitos internos dos aparelhos;

f) Ampliações ou modificações das instalações, bem como partes das instalações existentes, afectadas por essas alterações.

11.3 — As Regras Técnicas não se aplicam a:

- a) Veículos de tracção eléctrica;
- b) Instalações eléctricas de automóveis;
- c) Instalações eléctricas a bordo de navios;
- d) Instalações eléctricas a bordo de aeronaves;
- e) Instalações de iluminação pública;
- f) Instalações em minas;
- g) Sistemas de redução das perturbações electromagnéticas, na medida em que estas não comprometam a segurança das instalações;
- h) Cercas electrificadas;
- i) Instalações de para-raios de edifícios (embora tenham em conta as consequências dos fenómenos atmosféricos nas instalações eléctricas, como por exemplo, na selecção de descarregadores de sobretensões).

11.4 — As presentes Regras Técnicas não se aplicam igualmente às instalações de produção, de transporte e de distribuição de energia eléctrica.

11.5 — As presentes Regras Técnicas apenas consideram os equipamentos eléctricos no que respeita à sua selecção e às suas condições de estabelecimento, incluindo o caso dos conjuntos pré-fabricados submetidos aos ensaios de tipo previstos nas prescrições que lhes são aplicáveis.

11.6 — A aplicação das presentes regras não dispensa o respeito pelas regras especiais relativas a certas instalações.

11.7 — A execução, a ampliação, a modificação ou a manutenção das instalações eléctricas, devem ser feitas por pessoas classificadas como BA4 ou como BA5 (veja-se 322.1) e nos termos da legislação vigente.

12 — Objectivo.

12.1 — As presentes Regras Técnicas indicam as regras para o projecto e para a execução das instalações eléctricas por forma a garantir, satisfatoriamente, o seu funcionamento e a segurança tendo em conta a utilização prevista.

### Portaria N.º 949-A/2006 de 11 de setembro

#### i. Campo de aplicação:

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão aplicam-se às instalações eléctricas de:

- a) Edifícios de habitação;
- b) Edifícios de usos comerciais;
- c) Estabelecimentos recebendo público;

- d) Estabelecimentos industriais;
- e) Estabelecimentos agropecuários;
- f) Edifícios pré-fabricados;
- g) Caravanas, parques de campismo e instalações análogas;
- h) Estaleiros, feiras, exposições e outras instalações temporárias;
- i) Marinas e portos de recreio.

Instalações (ou partes de instalação) a que se aplicam as presentes Regras Técnicas:

- a) Circuitos alimentados a uma tensão nominal não superior a 1000 V em corrente alternada ou a 1500 V em corrente contínua; em corrente alternada, as frequências preferenciais consideradas no âmbito das presentes Regras Técnicas são 50 Hz, 60 Hz e 400 Hz; no entanto, não são excluídas outras frequências para aplicações específicas;
- b) Circuitos funcionando a tensões superiores a 1000 V, alimentados a partir de instalações de tensão não superior a 1000 V em corrente alternada (como por exemplo, circuitos de lâmpadas de descarga, despoiradores electrostáticos, etc.), com exceção dos circuitos internos dos próprios aparelhos;
- c) Canalizações que não sejam abrangidas por prescrições relativas aos aparelhos de utilização;
- d) Instalações elétricas (de utilização) situadas no exterior dos edifícios;
- e) Canalizações fixas de telecomunicação, de sinalização ou de telecomando, com exceção dos circuitos internos dos aparelhos;
- f) Ampliações ou modificações das instalações, bem como partes das instalações existentes, afetadas por essas alterações.

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão não se aplicam a:

- a) Veículos de tração elétrica;
- b) Instalações elétricas de automóveis;
- c) Instalações elétricas a bordo de navios;
- d) Instalações elétricas a bordo de aeronaves;
- e) Instalações de iluminação pública;

- f) Instalações em minas;
- g) Sistemas de redução das perturbações eletromagnéticas, na medida em que estas não comprometam a segurança das instalações;
- h) Cercas eletrificadas;
- i) Instalações de pára-raios de edifícios (embora tenham em conta as consequências dos fenómenos atmosféricos nas instalações elétricas, como por exemplo, na seleção de descarregadores de sobretensões).

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão não se aplicam igualmente às instalações de produção, de transporte e de distribuição de energia elétrica.

## ii. Objetivo

As Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão indicam as regras para o projeto e para a execução das instalações elétricas por forma a garantir, satisfatoriamente, o seu funcionamento e a segurança tendo em conta a utilização prevista.

## iii. Diplomas revogados aquando da publicação Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão

O Decreto-Lei N.º 226/2005, de 28 de dezembro, que estabeleceu os procedimentos de aprovação das regras técnicas das instalações elétricas de baixa tensão determinou a revogação do artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 740/74, de 26 de Dezembro, e os Regulamentos anexos ao mesmo diploma, a partir da data da publicação da portaria de publicação das Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

## iv. Alterações à Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão

A Portaria n.º 252/2015, de 19 de agosto procedeu à alteração da Portaria n.º 949 -A/2006, de 11 de setembro, por aditamento da secção 722 à parte 7 das RTIEBT — Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

## 2.5. Parques de campismo e de marinas

O Regulamento de Segurança de Parques de Campismo e de Marinas foi publicado pelo Decreto-Lei N.º 393/95, de 9 de outubro.

3330 I SÉRIE — N.º 232 — 9-10-1985

**MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E ENERGIA**

**Decreto-Lei n.º 393/85**  
de 9 de Outubro

No estabelecimento e na exploração das instalações eléctricas de parques de campismo e de marinas tem sido aplicado o Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 740/74, de 26 de Dezembro.

A importância da matéria, tendo em conta a especificidade das instalações destinadas a fornecer energia eléctrica a caravanas, tendas de campismo e embarcações de recreio, bem como o perigo que essas instalações podem causar às pessoas e bens, torna indispensável a existência de um regulamento próprio, na elaboração do qual participou a Comissão para o Estudo e Revisão dos Regulamentos de Segurança das Instalações Eléctricas (CORIEL). Aliás, no âmbito da Comissão Electrotécnica Internacional já existe uma publicação (CEI-585-1) específica sobre esta matéria, que serviu de base ao Regulamento aprovado pelo presente diploma.

O Regulamento inclui ainda disposições sobre as instalações eléctricas interiores das caravanas, tendo em vista o aumento da sua segurança, bem como a dos seus utilizadores.

Em virtude das precárias condições em que se encontram muitas instalações eléctricas de parques de campismo, foi previsto um prazo de 3 anos para serem efectuadas as modificações indispensáveis à garantia da segurança das pessoas e bens.

Nestes termos:

O Governo decreta, nos termos da alínea a) do n.º 1 do artigo 201.º da Constituição, o seguinte:

**Artigo 1.º** — 1 — O estabelecimento e a exploração das instalações eléctricas de parques de campismo e de marinas que se destinam ao fornecimento de energia às caravanas, tendas e embarcações de recreio, bem como às instalações interiores das caravanas, deverão obedecer às disposições do Regulamento aprovado pelo presente decreto-lei e a ele anexo.

2 — Nas instalações eléctricas de parques de campismo e de marinas existentes o cumprimento das disposições inovadoras do Regulamento só será obrigatório relativamente às obras de ampliação, modificação ou renovação.

3 — Nas instalações eléctricas de parques de campismo e de marinas existentes a fiscalização do Governo poderá impor, de acordo com os preceitos do Regulamento, a execução das modificações ou adaptações que se tornarem necessárias para a segurança das pessoas ou da exploração.

**Art. 2.º** As instalações eléctricas de parques de campismo e de marinas existentes à data da entrada em vigor do presente decreto-lei deverão ser remodeladas no prazo máximo de 3 anos, por forma a satisfazerem, no mínimo, o disposto nos artigos 5.º, 7.º, 8.º, 13.º e 16.º do Regulamento.

**Art. 3.º** — 1 — Uma das inspecções previstas no artigo 15.º do Estatuto do Técnico Responsável por Instalações Eléctricas de Serviço Particular, aprovado pelo Decreto Regulamentar n.º 31/83, de 18 de Abril, deverá ser realizada obrigatoriamente nos meses de Abril ou Maio.

2 — O técnico responsável pela exploração e a entidade exploradora deverão providenciar para que na recepção do parque de campismo ou da marina existam sempre, devidamente actualizados, o projecto das instalações eléctricas e os relatórios anuais de exploração.

**Art. 4.º** As alterações ao Regulamento anexo serão aprovadas por decreto regulamentar.

**Art. 5.º** O presente decreto-lei será aplicável no território do continente e entrará em vigor 60 dias após a data da sua publicação.

**Art. 6.º** A aplicação do presente decreto-lei às regiões autónomas dependerá de diploma regional.

Visto e aprovado em Conselho de Ministros de 22 de Agosto de 1985. — *Mário Soares* — *Rui Manuel Parente Chancelerle de Machete* — *Eduardo Ribeiro Pereira* — *José Veiga Simão* — *Joaquim Martins Ferreira do Amaral* — *José de Almeida Serra*.

Promulgado em 27 de Setembro de 1985.

Publique-se.

O Presidente da República, **ANTÓNIO RAMALHO EANES**.

Referendado em 30 de Setembro de 1985.

O Primeiro-Ministro, **Mário Soares**.

—

**Regulamento de Segurança de Instalações Eléctricas de Parques de Campismo e de Marinas (RPCM)**

**CAPÍTULO I**

**Disposições gerais**

**ARTIGO 1.º**

**Objectivo**

1 — O presente Regulamento destina-se a fixar as condições técnicas a que devem obedecer o estabelecimento e a exploração das instalações eléctricas indicadas no artigo seguinte, com vista à protecção de pessoas e coisas e à salvaguarda dos interesses colectivos.

2 — A fiscalização técnica do Governo poderá autorizar variantes às disposições do presente Regulamento nos casos, devidamente justificados, em que dificuldades de execução, despesas inerentes ou a evolução da técnica ou das especificações vinculativas as aconselhem, desde que dessas variantes não resulte diminuição de segurança.

3 — Os comentários — que não constituem obrigação legal — têm por fim esclarecer as condições impostas nos artigos, indicar como devem ser verificados ou recomendar o sentido em que convém melhorá-los.

**ARTIGO 2.º**

**Campo de aplicação**

1 — O presente Regulamento aplica-se às seguintes instalações eléctricas:

a) Instalações fixas de parques de campismo e de marinas, para fornecimento de energia eléctrica em baixa tensão a caravanas, tendas de campismo e embarcações de recreio;

b) Cabos conectores para a interligação das instalações interiores das caravanas às instalações fixas;

c) Instalações interiores de caravanas alimentadas em baixa tensão e dimensionadas para uma potência de 3,3 kVA.

### Decreto-Lei N.º 393/95, de 9 de outubro

#### i. Campo de aplicação

O Regulamento de Segurança de Parques de Campismo e de Marinas aplica-se às seguintes instalações eléctricas:

- a) Instalações fixas de parques de campismo e de marinas, para fornecimento de energia eléctrica em baixa tensão a caravanas, tendas de campismo e embarcações de recreio;

- b) Cabos conectores para a interligação das instalações interiores das caravanas às instalações fixas;
- c) Instalações interiores de caravanas alimentadas em baixa tensão e dimensionadas para uma potência de 3,3 kVA.

As referidas instalações deverão ainda obedecer, na parte aplicável e a que não se oponha este Regulamento, aos Regulamentos de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica/Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão e de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão, às demais prescrições de segurança em vigor e, bem assim, às regras da técnica.

Às instalações não incluídas nas alíneas a) e b), tais como restaurantes, supermercados, balneários, etc., aplica-se o Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica/Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão.

#### ii. Objectivo

O Regulamento de Segurança de Parques de Campismo e de Marinas destina-se a fixar as condições técnicas a que devem obedecer o estabelecimento e a exploração das instalações eléctricas indicadas anteriormente, com vista à protecção de pessoas e coisas e à salvaguarda dos interesses colectivos.

### 3. Conclusões

Apenas com o conhecimento atualizado dos regulamentos aplicáveis às instalações elétricas, é que os técnicos responsáveis podem exercer a sua profissão de forma adequada, garantido a segurança de pessoas, bens e instalações.

Embora o corpo regulamentar no âmbito das instalações elétricas tenha, em regra, um tempo de vigência bastante significativo, é importante garantir que se trabalha sempre com base na regulamentação em vigor.

### Referências

- [1] Regulamento de Segurança e de Subestações, Postos de Transformação e de Seccionamento(2), Decreto N.º 42895, de 31 de março de 1960.
- [2] Portaria N.º 37/70, de 17 de janeiro.
- [3] Decreto-Lei N.º 14/77, de 18 de fevereiro
- [4] Decreto Regulamentar N.º 56/85, de 5 setembro
- [5] Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão, Decreto Regulamentar N.º 1/92, de 18 de fevereiro.
- [6] Decreto-Lei N.º 180/91, de 14 de Maio.
- [7] Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão, Decreto Regulamentar N.º 90/84, de 26 de dezembro.
- [8] Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Portaria N.º 949-A/2006 de 11 de setembro.
- [9] Decreto-Lei N.º 226/2005, de 28 de dezembro.
- [10] Portaria n.º 252/2015, de 19 de agosto.
- [11] Regulamento de Segurança de Parques de Campismo e de Marinas, Decreto-Lei N.º 393/95, de 9 de outubro.

### HUMOR ELETRO



## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**Aleksandra Wawrzyniak**

**1150113@isep.ipp.pt**

Erasmus student at ISEP from Warsaw University of Technology from master's degree in electrical engineering - Networks and Electricity Systems. Engineering Degree in Electrical Engineering. Worked on projects in concerning power electronics and design of electrical installations.



**Alexandre Chamusca**

**achamusca@xkt.pt**

Engenheiro Eletrotécnico. Consultor Soluções Integradas Segurança. XKT - Soluções Integradas de Segurança.

**André P. Mendes**

**pereiramendes.andre@gmail.com**

Instituto de Telecomunicações, Department of Electrical and Computer Engineering, 3030-290 Coimbra, Portugal

**André M. S. Mendes**

**amsmendes@ieee.org**

Department of Electrical and Computer Engineering, University of Coimbra/Instituto de Telecomunicações, 3030-290 Coimbra, Portugal



**António Augusto Araújo Gomes**

**aag@isep.ipp.pt**

Professor adjunto do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999.

**Bruno Baptista**

**brunoricardo@weg.net**

WEGeuro - Indústria Eléctrica, S.A., 4470-605 Maia, Portugal



**Célia Maria dos Santos Carneiro**

**celia\_carneiro@live.com.pt**

Licenciada em Engenharia Electrotécnica – Ramo Sistemas de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia. Em 2016 entrou para o programa de Trainees da empresa REN, onde atualmente, desempenha funções de operadora da rede eléctrica de MAT no COR- Vermoim.

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**César M.S. Sanos**

**cesar.s.santos03@gmail.com**

Licenciatura em Engenharia de Sistemas de Engenharia Renovável, no Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Aluno do curso de mestrado em Energias Sustentáveis, no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

**João Dias**

**joao.dias@ua.pt**

CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, UA – Universidade de Aveiro, Aveiro.



**João Pedro Pereira da Rocha**

**1181274@isep.ipp.pt**

Aluno do curso de mestrado em Energias Sustentáveis, no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

**Marina S. Perdigão**

**perdigao@isec.pt**

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra/Instituto de Telecomunicações, 3030-199 Coimbra, Portugal



**Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo**

**pma@isep.ipp.pt**

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

