

# NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica

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

*Voltámos à vossa presença com a vigésima primeira edição da nossa revista semestral. Este semestre um pouco mais tarde que o habitual, pois os afazeres dos responsáveis pela edição da revista no fim de um ano letivo são sempre muitos e complicados. No entanto, entendemos 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 11 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**

Página deixada intencionalmente em branco!

## Índice

- Editorial	5
- Máquinas Elétricas de Corrente Contínua. Reação Magnética do Induzido e Comutação. José António Bezeza Carvalho	9
- A Tecnologia LED nas Redes de Iluminação Pública. Resultados de um Caso Prático. Madalena Camões, Teresa Nogueira	23
- Comparação de Tecnologias em Veículos Automóveis António Carvalho de Andrade	29
- Conceção de um sistema fotovoltaico híbrido. Térmico e elétrico. José Maurício, Teresa Nogueira	37
- Reforço de potência de Venda Nova III Nuno Eduardo Ribeiro	43
- Energy Storage in isolated electrical system. Miguel Miguel; Teresa Nogueira; Florinda Martins	51
- Mechanical power remote transmission António Quadros Flores	61
- Desenvolvimento do ARS Simulator. Seleção de comercializadores de energia. Allon Soares da Silva; Rodrigo Luiz Joench; Samuel Sandmann Cembranel; Judite Ferreira	69
- iTCalc. Desenho e Cálculo de Infraestruturas de Telecomunicações Hélder Martins; Sérgio Filipe Carvalho Ramos	75
- Autores	79

## FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	José António Bezeza Carvalho, Doutor
SUBDIRETORES:	António Augusto Araújo Gomes, Eng. Roque Filipe Mesquita Brandão, Doutor Sérgio Filipe Carvalho Ramos, Doutor
PROPRIEDADE:	Área de Máquinas e Instalações Elétricas Departamento de Engenharia Electrotécnica Instituto Superior de Engenharia do Porto
CONTATOS:	<a href="mailto:jbc@isep.ipp.pt">jbc@isep.ipp.pt</a> ; <a href="mailto:aag@isep.ipp.pt">aag@isep.ipp.pt</a>
PUBLICAÇÃO SEMESTRAL:	ISSN: 1647-5496

Página deixada intencionalmente em branco!

Estimados leitores

Voltámos à vossa presença com a vigésima primeira edição da nossa revista semestral. Este semestre um pouco mais tarde que o habitual, pois os afazeres dos responsáveis pela edição da revista no fim de um ano letivo são sempre muitos e complicados. No entanto, entendemos 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 11 anos em que sem interrupções honramos o compromisso que temos convosco.

Ao longo dos últimos anos o interesse pela nossa revista foi crescendo gradualmente, destacando-se o aumento da procura por parte de leitores de países estrangeiros. Este facto leva-nos a publicar com alguma regularidade artigos em língua Inglesa, especialmente os de carácter mais científico. Nesta edição publicamos dois artigos em língua Inglesa, um intitulado “Energy Storage in Isolated Electrical System”, baseado num estudo efetuado na ilha da Madeira que analisa os benefícios técnicos e ambientais com a introdução de baterias para fortalecer a rede de energia elétrica, quantificando o impacto das baterias nas tecnologias existentes de energia eólica e termoelétrica.

Outro artigo publicado em língua Inglesa, intitulado “Mechanical Power Remote Transmission”, pretende de uma forma simples e clara associar à transmissão remota de energia os fenómenos eletromagnéticos que justificam a conversão eletromecânica de energia, na forma que ela é atualmente obtida e utilizada.

Nesta edição merecem particular destaque os assuntos relacionados com as máquinas elétricas, os veículos elétricos, as energias renováveis, as infraestruturas de telecomunicações, e um artigo sobre redes de iluminação pública baseados nas tecnologias inerentes às lâmpadas LED.

Outro assunto muito interessante publicado nesta edição da nossa revista, tem a ver com o projeto de reforço de potência da central de Venda Nova, intitulada Venda Nova III. Nesta central foram instalados dois grupos assíncronos de indução, reversíveis com uma potência de cerca 495 MVA cada. Neste artigo apresentam-se os principais passos do desenvolvimento do projeto que, neste âmbito, foi inovador a nível mundial.

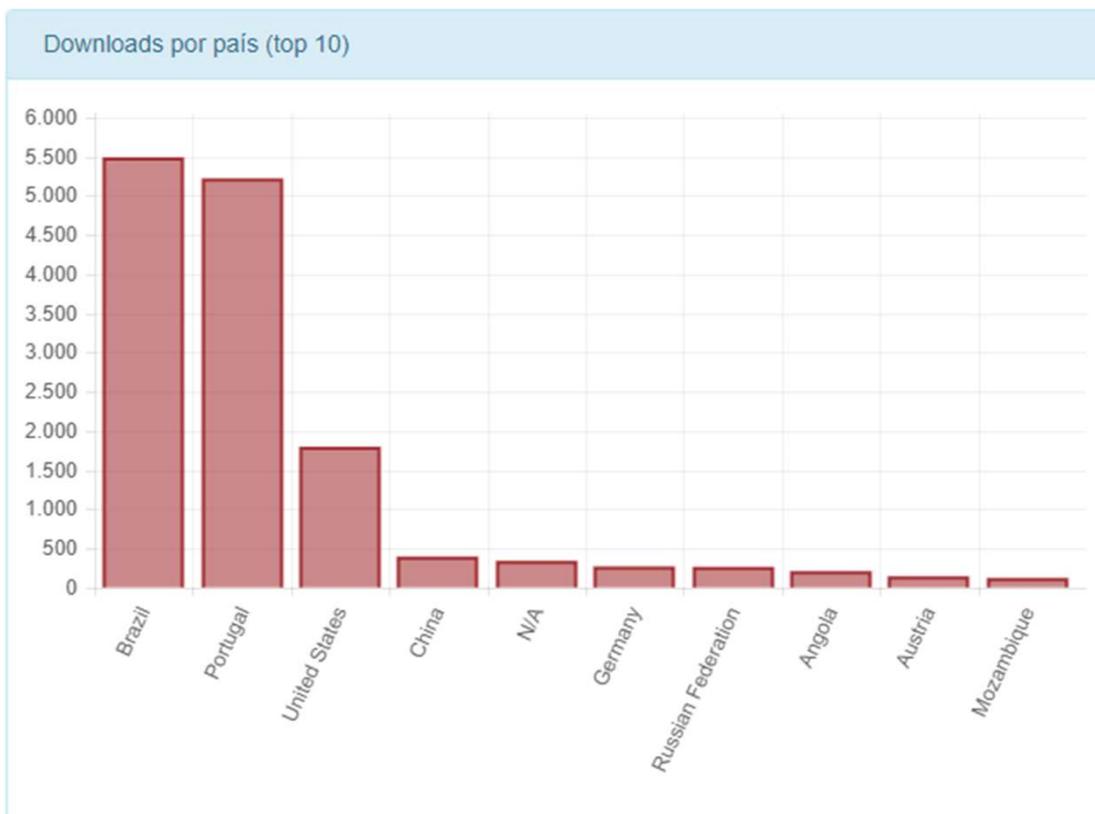
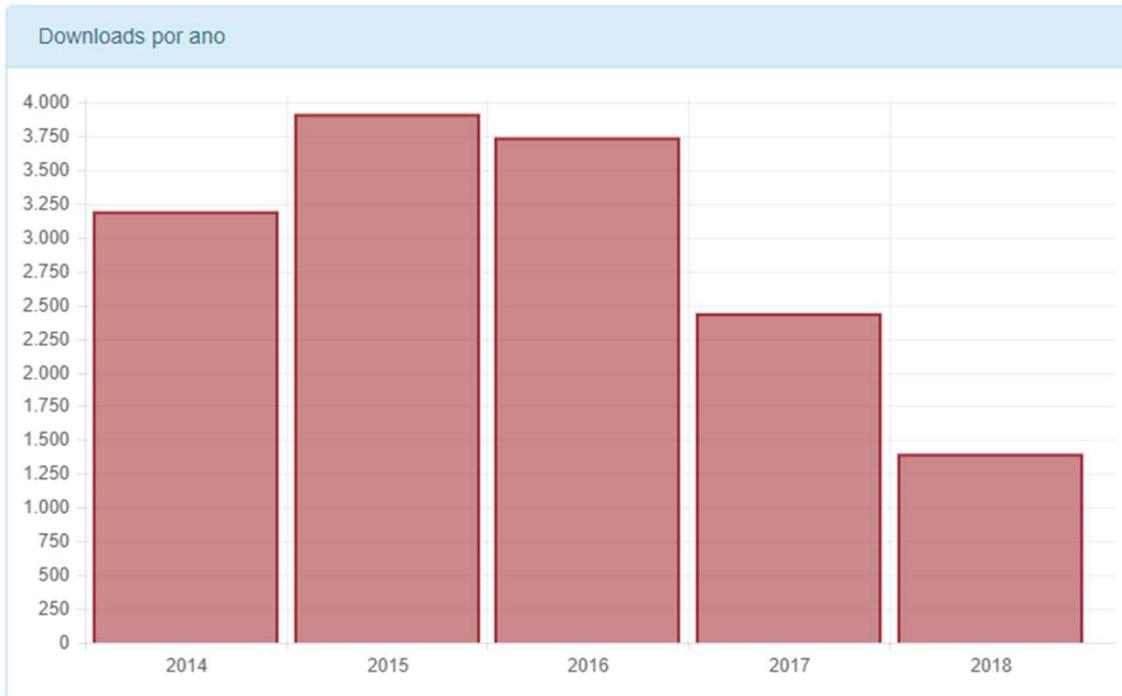
Fazendo votos que esta edição da revista “Neutro à Terra” vá novamente ao encontro das expectativas dos nossos leitores, estes semestre um pouco mais tarde que o habitual, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, julho de 2018  
José António Beza Carvalho

Página deixada intencionalmente em branco!

Repositório Científico do Instituto Politécnico do Porto:

<http://recipp.ipp.pt/>



Blog:

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

Histórico de visualizações

30 776

Entrada	Visualizações de páginas
Portugal	23038
Estados Unidos	2728
Brasil	1714
Alemanha	454
França	432
Rússia	379
Angola	204
Reino Unido	171
Ucrânia	162
Espanha	119



## MÁQUINAS ELÉTRICAS DE CORRENTE CONTÍNUA

### REAÇÃO MAGNÉTICA DO INDUZIDO E COMUTAÇÃO

#### 1. Introdução

Na máquina elétrica de corrente contínua (máquina DC) vai manifestar-se a existência de dois campos magnéticos que vão compor-se entre si originando um campo resultante no entre ferro da máquina, cuja amplitude direção e sentido tem fortes consequências no funcionamento da máquina, particularmente no que diz respeito ao fenómeno da comutação da máquina de corrente contínua.

Estes campos magnéticos são devidos à excitação do circuito indutor e do circuito induzido da máquina. A excitação do circuito indutor e o respetivo campo magnético obtido, são uma condição fundamental para o funcionamento desta máquina elétrica. Quando não existe corrente no induzido (ou armadura) da máquina DC, o campo magnético na máquina são devidos apenas à excitação magnética do



circuito indutor principal da máquina, como se apresenta na Figura 1.

Este campo apresenta-se na máquina numa direção longitudinal ao entre ferro da máquina. É denominado campo indutor principal, ou campo longitudinal da máquina DC.

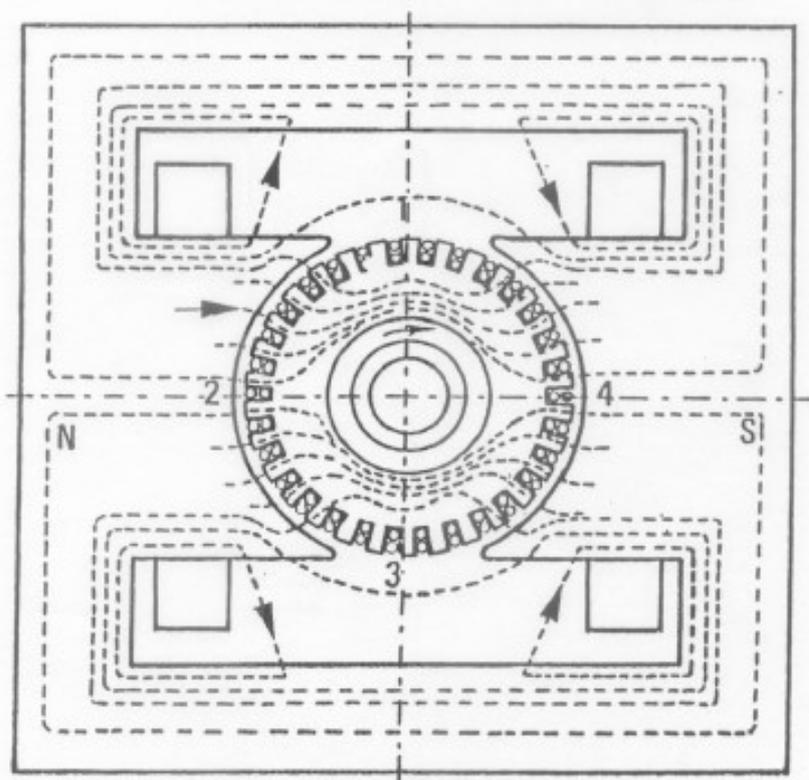


Figura 1. Campo indutor principal da máquina DC. Percurso das linhas de força do campo magnético

Na Figura 2 apresenta-se a variação deste campo ao longo do entre ferro da máquina.

Este campo é responsável pela manifestação da força eletromotriz em vazio da máquina DC.

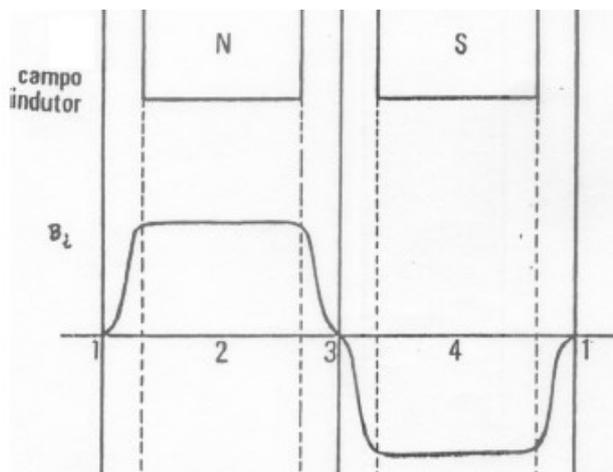


Figura 2. Variação no entre ferro do campo indutor principal da máquina DC

Quando a máquina DC se encontra em carga, flui corrente elétrica no circuito induzido da máquina. Esta corrente originará a excitação magnética do induzido, ou armadura, que se apresentará numa direção perpendicular ao campo indutor principal, que resulta na denominação de reação magnética do induzido ou reação transversal do induzido ou armadura.

A Figura 3 apresenta o campo magnético na máquina DC na hipotética situação de só existir corrente no induzido da máquina.

## 2. Campo de reação do induzido

Para fazer-se o estudo prático deste campo, admite-se que se faz passar através do induzido a corrente que lá passaria em carga sem que no entanto exista qualquer campo indutor. Deste modo o único campo a assinalar na máquina será o campo de reação do induzido, como se apresenta na Figura 3.

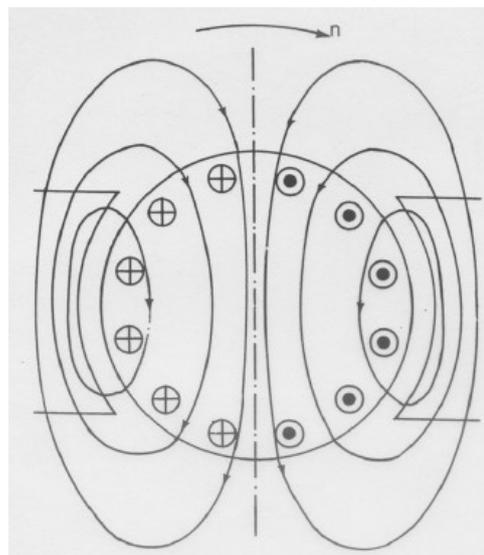


Figura 3. Campo magnético produzido pela reação do induzido na máquina DC

O campo do induzido cujas linhas de força têm o aspeto de feijões, tem, no entre ferro, valor nulo na linha dos pólos, como facilmente se conclui reparando que acima dessa linha o campo tem um dado sinal e abaixo um sinal contrário, como se pode ver na Figura 4. Verifica-se assim, que em metade do pólo o campo de reação do induzido reforça o campo indutor principal e, na outra metade, atenua o campo indutor principal.

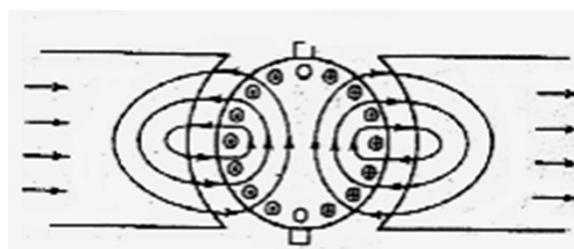


Figura 4. Sentido do campo magnético produzido pela reação do induzido

Partindo do ponto dois da Figura 5, por exemplo, à medida que se aproxima da aresta da expansão polar cada vez será maior a densidade do fluxo, pois que agora cada vez serão em maior número os condutores cujas correntes originarão esse campo.

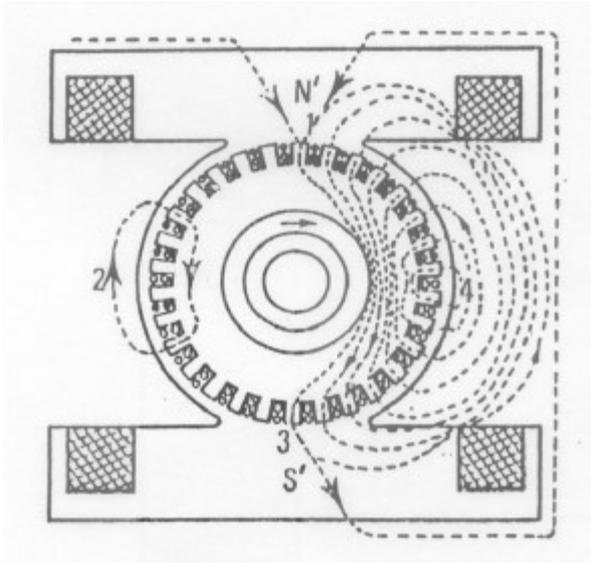


Figura 5. Campo reação do induzido da máquina DC.  
Percurso das linhas de força do campo magnético.

De dois até aresta tem-se então um aumento. A partir desta o campo volta a diminuir, pois que embora haja mais condutores em ação, agora as linhas de força são abrigadas a fechar-se, através de um maior entre ferro aumentando consequentemente a relutância e diminuindo a indução. Na linha neutra em vazio, agora já não se pode considerar um campo nulo, como no caso do campo indutor principal, pois não há inversão do sentido dos campos. A variação do campo de reação do induzido tem no entre ferro o aspeto do diagrama representado na Figura 6.

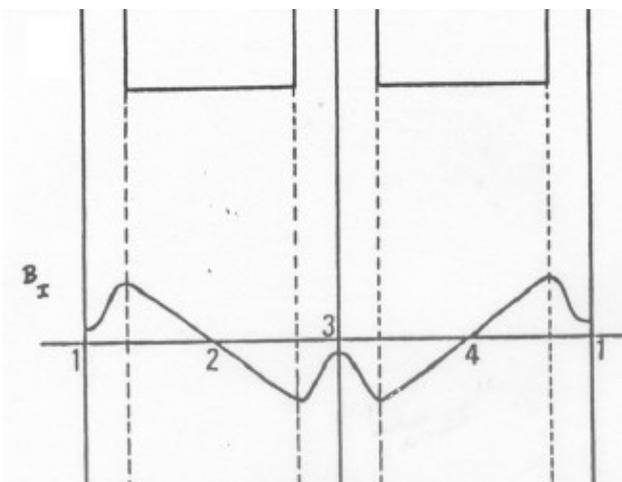


Figura 6. Variação no entre ferro do campo reação do induzido da máquina DC

### 3. Campo resultante

Considerando agora a presença simultânea dos dois campos magnéticos, vai haver uma nova distribuição das linhas de força, constituindo o campo magnético resultante, como se pode ver na Figura 7. Nas zonas entre 1 e 2, e entre 3 e 4 os dois campos têm o mesmo sinal e então o campo resultante aparecerá reforçado, enquanto que nas zonas 2-3 e 4-1, os campos opõem-se resultando um abaixamento do campo nestas regiões.

Com estas alterações a linha neutra (linha fronteira entre o campo que entra e o que sai do induzido) deixa a posição que tinha em vazio. Aparece uma nova linha neutra, a linha neutra em carga, que como se observa pela composição dos campos magnéticos, aparece deslocada da anterior no sentido do movimento do induzido (ver os novos zeros do campo resultante na Figura 8). Ao longo do entre ferro, o campo resultante obter-se-á, somando para cada abcissa o valor das ordenadas dos campos parciais. Na curva resultante, verifica-se o reforço do campo nas arestas de saída dos pólos e o enfraquecimento nas arestas de entrada dos pólos.

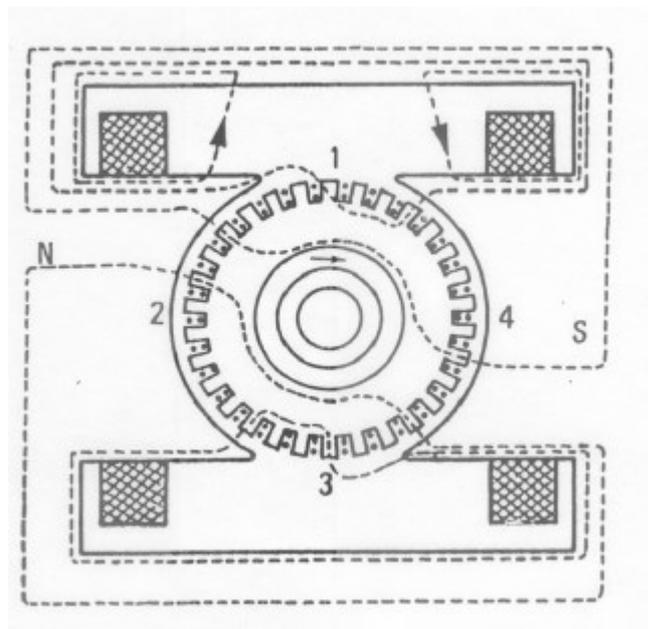


Figura 7. Campo resultante na máquina DC

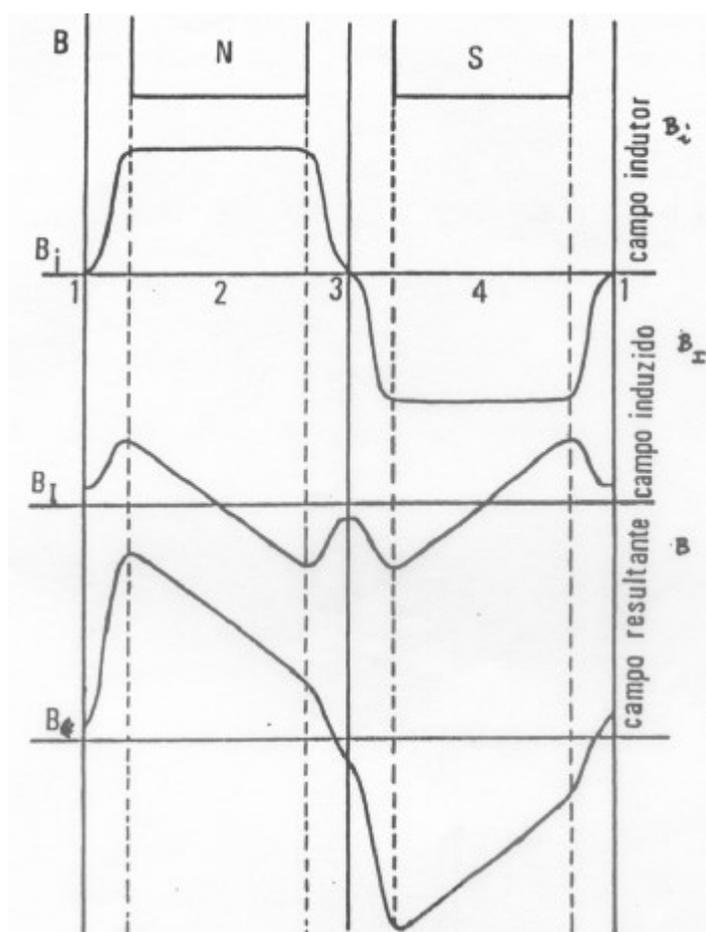


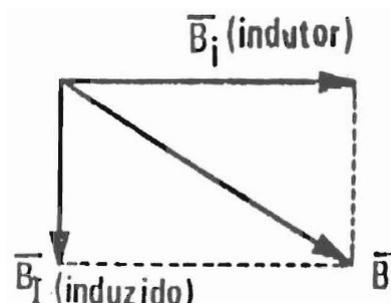
Figura 8. Composição dos campos magnéticos e campo resultante na máquina DC

Se a máquina fosse um motor, como para o mesmo sentido de rotação as correntes no induzido teriam sentido oposto, o reforço dos campos dar-se-á nas arestas de entrada e o enfraquecimento nas arestas de saída.

O reforço dos campos, ao produzir maiores forças eletromotrizes, cria maior diferença de potencial entre secções e, conseqüentemente, entre lâminas do coletor. Isto pode causar o aparecimento de arcos elétricos entre lâminas, se o coletor não estiver em boas condições de funcionamento.

Representando por um vetor o campo indutor e por outro vetor o campo do induzido, verifica-se a perpendicularidade entre os dois. Tudo se passa como se surgissem dois novos pólos fictícios  $N'$  e  $S'$ , que representam a reação do campo do induzido.

Dada a posição perpendicular do campo de reação do induzido, resulta na denominação deste campo, campo de reação magnética do induzido ou reação transversal do induzido ou armadura.



Este campo terá um sentido de acordo com o movimento de rotação do induzido.

O campo resultante será a soma vetorial dos dois, aparecendo as linhas neutras perpendiculares aos respectivos vetores.

#### 4. Influência da saturação magnética

Na curva das induções ao longo do entre ferro soma-se ordenada por ordenada as induções parciais dos campos indutor e induzido. Ora este processo nem sempre é lícito. Quando existem correntes no indutor e no induzido manifesta-se uma excitação indutora e uma excitação induzida e a excitação total será em cada ponto a soma algébrica das duas; porém, para se passar de excitação para indução, há que contar com a permeabilidade do material e esta pode não ser constante quando varia o valor da excitação  $H$ . Supor que o material da expansão polar tem uma curva de magnetização como se apresenta na Figura 9.

Seja a excitação indutora  $H_i$  e a excitação do induzido  $H_l$ , a que correspondem separadamente as induções  $B_i$  e  $B_l$ . Nas zonas em que os campos se somam (arestas de saída dos pólos) as excitações também se somam, sendo a excitação total  $H_t = H_i + H_l$ . Porém, a esta excitação  $H_t$  corresponde uma indução  $B_t$ , bastante inferior ao valor da soma das duas

induções parciais  $B_i+B_I$ . Este facto verifica-se porque a excitação total  $H_t=H_i+H_I$  é superior à de saturação e, como tal, vai apanhar a curva de magnetização ou ciclo histerético já na parte menos ascendente. Evidentemente que se não se atingir a curva da saturação, mantendo-se na zona linear, é perfeitamente lógico que se some os campos parciais para se obter o campo total.

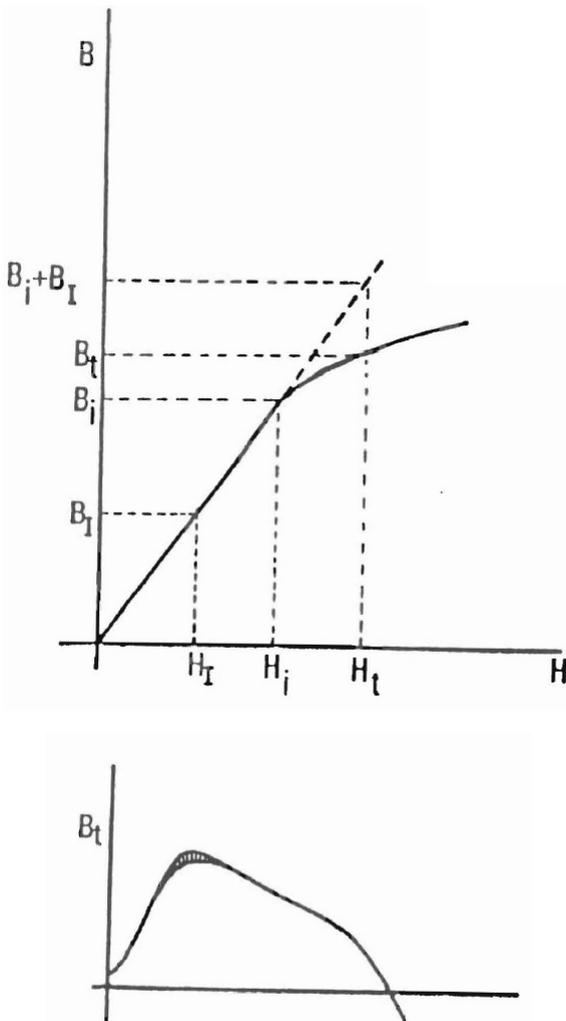


Figura 9. Efeito da saturação devido ao campo de reação do induzido na máquina DC

Pode-se assim constatar que se for atingida a saturação nas zonas das arestas de saída dos pólos em que os campos se somam, aparecerá uma indução inferior à soma das parciais e na curva resultante haverá que registar um abaixamento do valor da indução máxima, com se pode ver na Figura 9.

Assim, sem saturação, o fluxo de reação do induzido que se soma ao do indutor em metade do pólo vai subtrair-se na outra metade e o fluxo resultante será igual ao fluxo em vazio (apenas devido ao campo indutor). Se houver saturação isto já não é verdade e o que se subtrai é mais do que o que se soma, diminuindo o fluxo resultante.

A diminuição do fluxo provoca a diminuição da força eletromotriz gerada pela máquina, consequência importante de haver saturação no ferro das expansões polares ou dos dentes da armadura.

Em resumo, as principais consequências da reação magnética do induzido ou armadura, são:

- Distorção do campo magnético na máquina;
- Deslocamento da linha neutra da máquina;
- Abaixamento do valor da força eletromotriz, se houver saturação;
- Maior diferença de potencial entre lâminas do coletor, na zona de reforço dos campos magnéticos.

##### 5. Modificação da posição das escovas

Até agora tem-se considerado as escovas a curto-circuitar as secções que estão a passar na linha neutra em vazio. Ao variar-se a posição das escovas, altera-se a distribuição das correntes no induzido e consequentemente o campo de reação do induzido.

Como exemplo, vai-se supor o induzido de um dínamo com as escovas na linha neutra em vazio, como se apresenta na Figura 10. Nela suprimem-se as ranhuras, considerando-se apenas um condutor a representar todos os condutores alojados na ranhura e colocam-se as escovas diretamente sobre os condutores a que realmente estão ligadas através do coletor.

Desloque-se as escovas de um certo ângulo no sentido do movimento. Houve uma alteração na distribuição das correntes segundo o novo esquema apresentado na Figura 10.

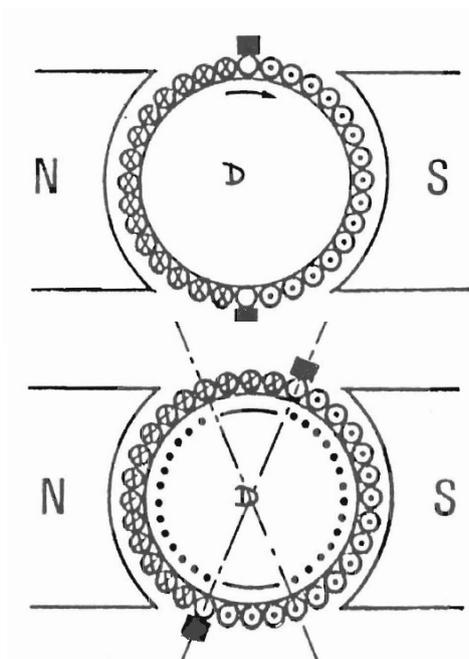


Figura 10. Modificação da posição das escovas na máquina DC

A direção do campo de reação do induzido, agora já não aparecerá segundo a perpendicular ao indutor, mas segundo uma linha, que é a nova linha das escovas. Querendo, podemos decompor este campo em dois. Um perpendicular ao indutor, a que se chama campo de reação transversal do induzido, e outro colinear com o indutor, que se chama campo de reação longitudinal do induzido. Será responsável pelo primeiro destes campos, os condutores marcados no setor a pontuado, e pelo segundo o dos setores a cheio. O diagrama vetorial será o da figura 11.

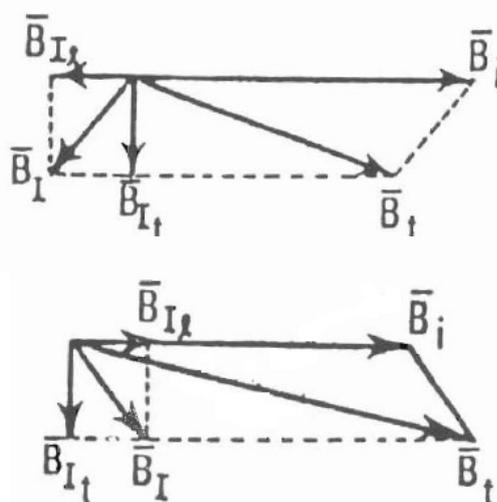


Figura 11. Diagrama fasorial

Se o deslocamento das escovas em vez de ser feito no sentido do movimento fosse no sentido contrário ao do movimento, os condutores dos setores a cheio apareciam percorridos por correntes de sentidos contrários aos do caso anterior e então o sentido do campo de reação longitudinal, em vez de ser de oposição ao do indutor, como se viu antes, aparecia a reforçá-lo tal como mostra a figura acima apresentada.

Ao verificar-se que a deslocação das escovas no sentido contrário ao do movimento vai aumentar o valor do campo resultante pode pensar-se que essa é uma boa solução, porém, não é assim pois prejudicaria muito a comutação, ponto esse essencial ao bom funcionamento da máquina.

Se a máquina funcionar como motor, as correntes têm o sentido inverso para o mesmo sentido de rotação, logo as conclusões quanto à deslocação das escovas são inversas quanto à situação do funcionamento como dínamo.

Uma das formas de eliminar, ou pelo menos atenuar o efeito da reação magnética do induzido, é utilizar enrolamentos de compensação nas superfícies das massas polares. Este enrolamento é o prolongamento da bobinagem do induzido e, portanto, percorrido pela corrente que circula no induzido e que origina a respetiva reação magnética do mesmo. Este facto, permite que o enrolamento de compensação crie um campo de igual amplitude e com polaridade que permite anular o de reação magnética do induzido, como se pode ver na figura 12.

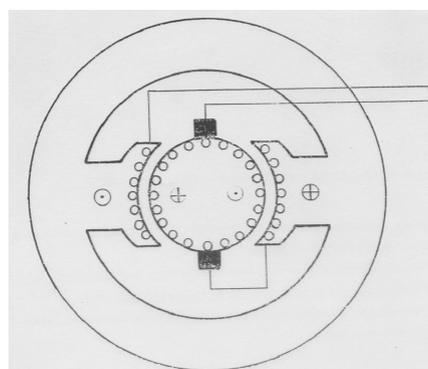


Figura 12. Utilização de enrolamentos de compensação nas superfícies das massas polares

## 6. Comutação

O fenómeno da comutação verifica-se quando uma secção passa duma via para a via seguinte e em que, portanto, o sinal da intensidade de corrente que a percorre se inverte. O estudo da comutação é dos mais complexos nas máquinas de corrente contínua e o cálculo duma máquina que apresente boa comutação é uma das preocupações dos construtores.

Considere-se um troço de enrolamento de um dínamo que inclua uma secção em comutação, como se apresenta na Figura 13.

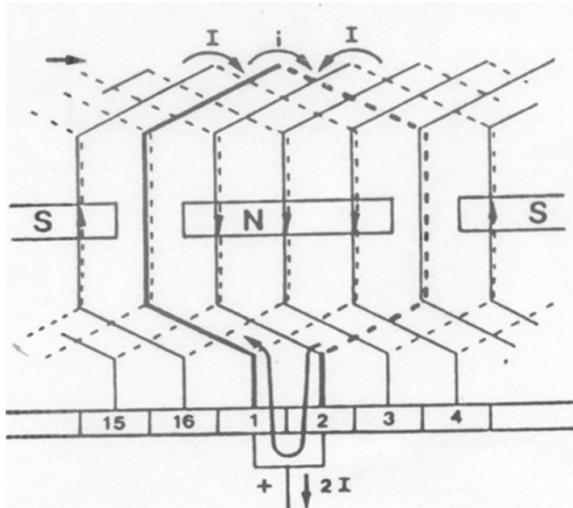


Figura 13. Secção em comutação na máquina DC

Supõe-se que as várias secções figuradas, representam as sucessivas posições tomadas pela secção no seu movimento de rotação. Verifica-se que antes da comutação a secção é percorrida por uma corrente com um determinado sentido e após a comutação quando entra na outra via será percorrida por uma outra corrente igual e de sentido contrário. Enquanto se encontra curto-circuitada pela escova, na secção circula uma corrente  $i$ , variável entre o valor da corrente numa via e o valor da corrente na via seguinte, isto é, se fixarmos o primeiro dos sentidos como positivo será entre  $+I$  e  $-I$ .

Relativamente à corrente  $2I$  colhida na escova a corrente  $i$  não influirá, pois que se vai somar dum lado e subtrair do outro. O estudo do modo como varia a corrente de circulação  $i$ , na secção em comutação, é fundamental para o estudo deste fenómeno da comutação.

## 7. Comutação ideal

Na comutação ideal (ou linear) a que corresponde o diagrama da Figura 14 admite-se uma variação uniforme da intensidade de corrente que percorre a secção desde  $+I$  a  $-I$ . Então, as ordenadas dessa reta indica-nos o valor da corrente  $i$  na secção em comutação.

Para cada instante  $t$  pode-se saber os valores das correntes convergentes para a escova, respectivamente  $I+i$  e  $I-i$ . Admitindo o induzido a girar com uma velocidade constante, as abcissas de cada ponto considerado serão proporcionais às superfícies de contacto escova-lâminas da secção em comutação.

Assim no instante  $t$ ,  $\sigma_1$  indicará a área de contacto da escova com a lâmina 1 e  $\sigma_2$  a referida área de contacto com a lâmina 2. Como se vê pelo diagrama, quando a lâmina 2 larga a escova (instante  $T$ ) já na secção em comutação a corrente atingiu o valor  $-I$  que vai ter quando pertencer à nova via. Tudo se passaria, assim, sem variações bruscas nem quaisquer outros problemas.

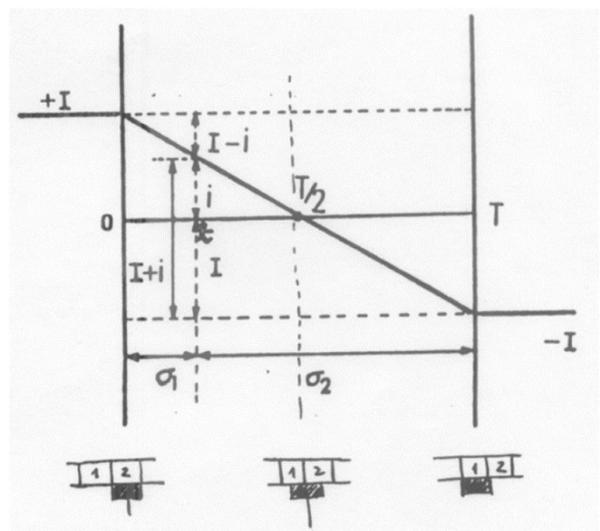


Figura 14. Comutação ideal na máquina DC

## 8. Comutação real

A comutação não se processa de forma linear e a prática mostra que o diagrama referente à variação da corrente  $i$  pode ter o aspeto do da Figura 15.

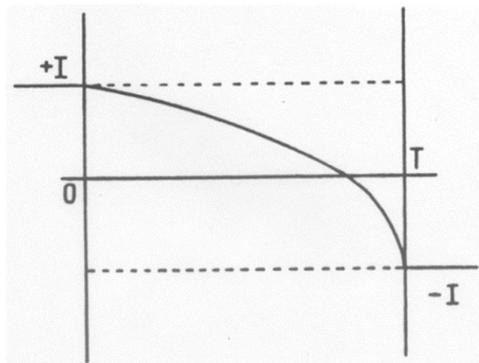


Figura 15. Comutação real na máquina DC

Na parte inicial a curva decresce mais lentamente, devido aos efeitos indutivos gerados na própria secção, para junto do final da comutação, abaixar rapidamente para o valor final  $-I$ . Muitas vezes este valor não é atingido no tempo  $T$ , isto é, até no instante em que a lâmina deixa a escova e então salta uma faísca entre ambos.

De facto se, quando a lâmina deixa a escova, a corrente na secção que estava em comutação ainda não atingiu o valor  $-I$  (corrente na nova via onde a secção entrou) vai haver um restabelecimento brusco. Como nessa altura a lâmina deixou de estar em contacto com a escova essa igualização só pode ser feita através do ar e saltará uma faísca. No diagrama, essa variação será representada como mostra o esquema da Figura 16. O aparecimento de faíscas no coletor é indicativo de má comutação. Provoca a deterioração do mesmo, devido à formação dos arcos elétricos.

De qualquer forma, o atraso que provoca o encurvamento final significa que a corrente que passa no contacto entre a escova e a lâmina que vai largar a escova (na figura a lâmina 2) é ainda muito intensa embora o contacto superficial já seja pequeno. Logo, grandes densidades de corrente e aquecimento elevado, que pode vir a danificar o coletor.

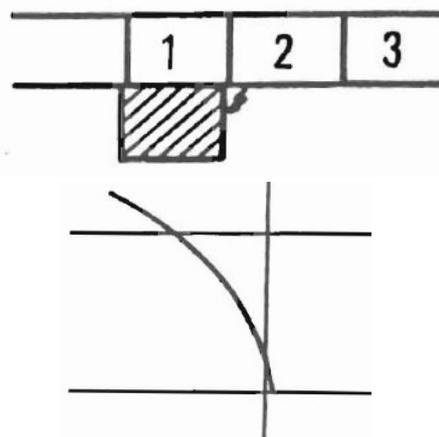


Figura 16. Comutação deficiente na máquina DC

## 9. Equação geral de Comutação

Para analisar convenientemente o fenómeno da comutação torna-se necessário encontrar uma equação matemática que traduza a variação da corrente  $i$  na secção em comutação. Para isso vai-se aplicar a 2ª lei de Kirchhoff à dita secção em comutação. Procura-se primeiro determinar com que forças eletromotrizes (f.e.m.) vai-se ter que contar. Como estas são originadas por campos magnéticos, vai-se considerar os existentes na máquina que são o campo indutor principal e o campo de reação do induzido. O campo de reação do induzido pode-se decompor em: Campo da própria secção em comutação, campo das outras secções em comutação e campo das secções não em comutação.

Analise-se agora quais destes campos originarão f.e.m. na secção em comutação que se está a estudar. Como se sabe, para que existam forças eletromotrizes (f.e.m.) é necessário que haja uma variação do campo no espaço ou no tempo. Relativamente ao campo indutor há na realidade um deslocamento da secção durante o tempo de comutação e se o campo não for nulo, na zona em que se encontram as escovas aparecerá uma f.e.m.. O campo da própria secção em comutação e criado pela corrente  $i$  que lá passa que, sendo variável, criará uma f.e.m. de auto-indução dada pela conhecida expressão:

$$-L \frac{di}{dt}$$

O campo das secções não em comutação é afinal, aquele que foi considerado no estudo da reacção do induzido e que na zona de comutação terá um certo valor, embora pequeno.

Como a corrente nas secções não em comutação é constante, a distância entre secções também é constante, só haverá f.e.m. por variar o meio devido à expansão polar. Porém, pelo que se disse, incluindo a pequena amplitude do campo, esta f.e.m. é de desprezar.

As outras secções em comutação sendo percorridas por correntes variáveis influenciarão a secção em estudo dum modo distinto, conforme se encontrem mais ou menos perto da secção em estudo que se encontra na comutação.

No caso do enrolamento ser diametral haverá nas mesmas ranhuras onde se encontram os lados da secção em estudo, lados de outras secções em comutação.

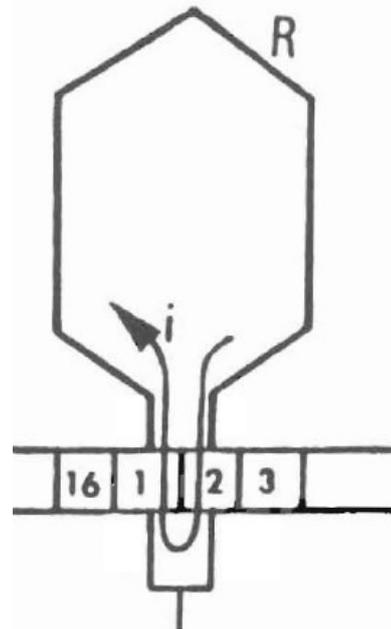
Consequentemente haverá uma forte influência mútua pelo facto dos referidos condutores se encontrarem muito próximos, podendo-se assim simplificar admitindo que o coeficiente de indução mútua é igual ao próprio coeficiente de autoindução,  $M=L$ .

Esta simplificação equivale a supor os lados coincidentes e então a f.e.m. de autoindução será:

$$-L \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt} \cong -2L \frac{di}{dt}$$

Para se determinar a equação de *Kirchhoff* é necessário saber quais as quedas de tensão pois já se conhecem as f.e.m..

Considere-se, então, uma secção em comutação, apresentada na Figura 17 em que:



- R resistência da secção em comutação;
- rc resistência de cada uma das pontas da secção às lâminas do coletor
- u11 tensão de contacto entre a lâmina 1 e a escova;
- u12 tensão de contacto entre a lâmina 2 e a escova.

Figura 17. Secção em comutação na máquina DC

Assim, representando-se por  $\varepsilon$  o valor da f.e.m. criada pelo campo indutor principal e pelo campo das outras secções não em comutação (à soma dos dois chama-se campo de comutação), aparecerá a equação geral da comutação:

$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} - M \frac{di}{dt} = Ri + 2r_c i + u_{11} - u_{12}$$

A integração desta equação diferencial é muito difícil porque se desconhece como variam as quedas de tensão u11 e u12 em função da corrente.

A sua integração tem sido feita admitindo hipóteses simplificadoras.

<sup>2</sup> No diagrama está implícito que  $|E_s| = |-E_r|$

## 10. Tensão de reactância

A Tensão de Reactância é um valor relacionado com as f.e.ms. de autoindução e de indução mútua geradas na secção em comutação e que permite avaliar a qualidade da comutação, pois como se viu são as f.e.m. mais perturbadoras da comutação.

Admitindo, que as escovas se encontram na linha neutra em carga o campo de comutação praticamente não terá influência, isto é,  $\mathcal{E} = 0$ . Ficará apenas a f. e.m.:

$$-2L \frac{di}{dt}$$

Então, admitindo que  $\mathcal{E}$  é nulo, que  $R_t$  é a resistência total da secção em comutação, que as densidades de corrente nas lâminas 1 e 2 são iguais  $i_{u11} = i_{u12}$  e que  $L = M$ , a equação geral de comutação é equivalente a:

$$-2L \frac{di}{dt} = R_t i \rightarrow 2L \frac{di}{dt} + R_t i = 0$$

Atendendo ao valor da corrente na secção no início da comutação ( $i(0)=I$ ), a solução da equação é a seguinte:

$$i(t) = I e^{-(R_t/2L)t}$$

sendo  $T$  a duração da comutação, tem-se:

$$i(T) = I e^{-(R_t/2L)T}$$

A existência da f.e.m. de autoindução e de indução mútua na secção em comutação tem como consequência um valor de corrente na secção diferente de  $-I$  quando a secção abandona o contacto com a escova. Quanto maior for esta diferença, mais intensas são as consequências nefastas sobre as lâminas do coletor (arcos elétricos mais intensos), logo maior o desgaste provocado no coletor.

A solução para este problema passa pelo desenvolvimento na secção em comutação de uma f.e.m. de origem exterior ( $\mathcal{E}$ ), que permita uma comutação aproximadamente linear como se apresenta na Figura 18.

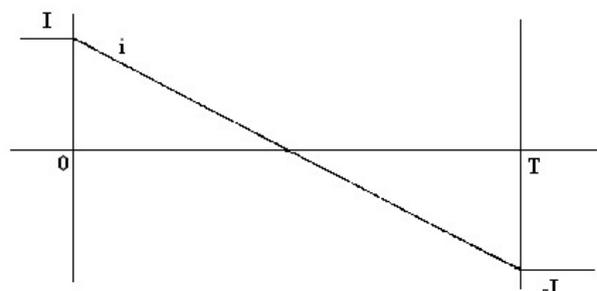


Figura 18. Comutação linear na máquina DC

A equação geral associada à secção em comutação será agora traduzida por:

$$\mathcal{E} - 2L \frac{di}{dt} = R_t i$$

Da Figura 18 pode-se obter a equação da respetiva função linear afim, e a respetiva derivada.

$$i(t) = -\frac{2I}{T}t + I \quad \frac{di}{dt} = -\frac{2I}{T}$$

Substituindo estes valores na equação geral associada à secção em comutação obtém-se:

$$\mathcal{E} - 4L \frac{I}{T} = R_t \left( -\frac{2I}{T}t + I \right)$$

Chama-se Tensão de Reactância ao valor médio da f.e.m. induzida na secção em comutação por efeito da reação do induzido, e será igual:

$$E_r \Rightarrow \mathcal{E} = 4L \frac{I}{T}$$

Foram determinados valores práticos que permitem, pelo conhecimento da tensão de reactância, saber se uma certa comutação é boa ou má. Quando a máquina não apresenta modificações especiais com vista a melhorar a comutação diz-se que tem uma Comutação Natural. Se a máquina possui dispositivos especiais para melhorar a comutação diz-se então que tem uma Comutação Artificial. Os valores práticos referidos dão as seguintes indicações:

- $E_r < 0,5 \text{ V}$  → Comutação Natural: máquinas sem dispositivos especiais para criação de f.e.m. exterior;
- $0,5 < E_r < 1 \text{ V}$  → Comutação natural razoável, necessário algum cuidado com a escolha das escovas;
- $E_r > 1 \text{ V}$  → Comutação Artificial.

#### 11. Processos para melhorar a comutação natural

- **Emprego de escovas apropriadas**

Já se referiu, a tensão de contacto escova-coletor era, como não podia deixar de ser, ponto fundamental no fenómeno da comutação. Verifica-se na prática que a substituição dumas escovas por outras de maior resistividade consegue, em muitos casos, melhorar suficientemente a comutação. Tal acção poderá explicar-se, sucintamente, pelo aumento da influência da resistência (fundamentalmente ter elevada resistência transversal), relativamente à influência da autoindução, no circuito da secção em comutação, isto é, o circuito fica menos indutivo. De qualquer forma, no caso de se detetar uma má comutação é sempre aconselhável verificar se as escovas em uso são as aconselhadas pelo fabricante da máquina, pois a má comutação pode ser o resultado de a máquina não estar a funcionar com as escovas apropriadas.

- **Diminuição do valor da autoindução da secção em comutação**

Este processo, só possível na fase de projeto das máquinas, consiste em procurar diminuir o valor da autoindução  $L$ .

Da expressão:

$$L = \frac{N^2}{R}$$

se conclui que dois caminhos se podem seguir: ou aumentar a relutância do circuito magnético da secção, ou diminuir o número de espiras. O aumento da relutância é um processo viável dentro de certos limites pois não pode ser feito de modo a aumentar a relutância do circuito magnético do fluxo indutor o que iria diminuir o valor do fluxo e, portanto, da f.e.m. Adiante, ver-se-á a importância que a forma das ranhuras adquire, relativamente a esta questão. A diminuição do número de espiras, é muito mais eficiente, pois  $N$  aparece ao quadrado. Se pretender-se do dínamo uma determinada tensão tem-se que manter um certo número de condutores ativos e, conseqüentemente, a diminuição do número de espiras por secção levará à necessidade de aumentar o número de secções. Este facto, irá tornar a máquina mais dispendiosa, por ter de se construir um maior número de secções e de lâminas no coletor.

- **Utilização de enrolamentos em corda diminui a tensão de reactância:  $L+M < 2L$**

Com o enrolamento em corda, isto é, encurtado ou alongado, os lados das secções em comutação não ficarão na mesma ranhura, e o coeficiente de indução mútua será nitidamente inferior ao de autoindução, isto é,  $L+M < 2L$  o que vai fazer diminuir a Tensão de Reactância.

#### 12. Comutação artificial

- **Calagem das escovas**

Um dos processos de realizar uma melhoria na comutação consiste em deslocar as escovas de um certo ângulo (ângulo de calagem) no sentido do próprio movimento para que a f.e.m. desenvolvida na secção em comutação e devida ao campo de comutação ( $\epsilon$ ) se vá opor ao de autoindução com um valor suficiente para que sejam anuladas os seus efeitos (ver equação geral da comutação).

Como se pode ver raciocinando com o sentido dos fluxos esse deslocamento nos dínamos deverá ser feito no sentido do próprio movimento do induzido pois tem-se de procurar a posição em que os campos indutor e reação do induzido se oponham. Uma dificuldade surge pelo facto do campo indutor variar bruscamente, quando se aproxima a aresta de entrada dos pólos. Daí a enorme dificuldade em regular a posição das escovas, pois se avançar mais que o devido o efeito seria contraproducente. Por outro lado, cada vez que variar a carga da máquina varia o valor do campo de reação do induzido e, portanto, devia modificar-se a calagem das escovas.

Quando anteriormente se apresentou a reação do induzido devido ao deslocamento das escovas referiu-se que aparecia uma reação transversal e outra longitudinal, e que no caso do deslocamento se fazer no sentido contrário ao do movimento, o efeito da reação longitudinal é reforçar o campo indutor. Disse-se também que este efeito à primeira vista benéfico, não se podia aproveitar por prejudicar a comutação. Verifica-se agora que de facto assim é, pois o deslocamento das escovas no sentido contrário ao do movimento, vai criar uma f.e.m. na secção em comutação que se irá somar à de autoindução em vez de a ir compensar como se desejaria. Claro está que, para motores, as deslocações das escovas terão sentidos inversos aos considerados para os dínamos.

- **Pólos auxiliares de comutação**

No caso anterior fazia-se a calagem das escovas para procurar um fluxo que gerasse na secção em comutação uma f.e.m. de oposição à de autoindução. Com os pólos auxiliares de comutação não é necessário deslocar as escovas pois que esses pólos são colocados na própria zona de comutação e fornecerão o fluxo necessário para a desejada compensação.

Estes pólos auxiliares, de menor volume, são colocados entre os pólos principais e, como é óbvio, a sua polaridade será tal que o campo por eles criado, se oponha ao campo de reação do induzido na zona de comutação.

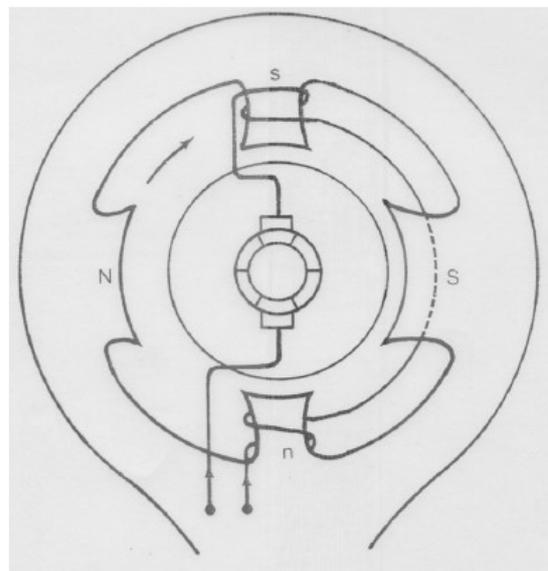


Figura 19. Pólos auxiliares de comutação na máquina DC

O fluxo destes pólos é criado por uma corrente que é função da própria corrente de carga da máquina o que permite manter a compensação mesmo com variações de carga. Por outro lado, o sistema além de ser independente do sentido de rotação, também permite que a máquina funcione quer como dínamo quer como motor sem qualquer modificação, pois nos motores, como se sabe, para um mesmo sentido de rotação a corrente no induzido tem o sentido contrário da que aparece nos dínamos. Como o fluxo dos pólos de comutação é criado por essa mesma corrente, havendo inversão na reação do induzido também haverá neste fluxo, como se pode ver na Figura 18.

- **Influência da largura das escovas**

Tem-se até agora raciocinado supondo as escovas com uma largura mínima. Analise-se agora as consequências na comutação se aumentar a largura das escovas. Se assim acontecer, entram em comutação várias secções ao mesmo tempo, aumenta a autoindução e a indução mútua, e pode parecer que aumenta a tensão de reactância. Acontece, porém, que pelo facto da escova ser mais larga também será maior o tempo de comutação, que começa quando a lâmina entra em contacto com a escova e só acaba quando termina esse contacto.

Como aumenta o numerador e o denominador a tensão de reactância  $E_r$  permanecerá sensivelmente constante. Por outro lado o aumento da largura das escovas, trás o benefício da diminuição da densidade de corrente no contacto escova-coletor pelo aumento da superfície de contacto.

O aumento da largura das escovas, terá, porém, um limite pois que não se pode conceber que estejam em comutação condutores diretamente influenciados e destinados à criação de f.e.m., isto é, a largura das escovas é limitada pelo espaço entre as expansões polares, isto é, pela zona neutra, ou quase neutra.

#### Referências bibliográficas

- Belezza Carvalho, J. A., Máquinas Eléctricas de Corrente Contínua. Apontamentos da disciplina de Máquinas Eléctricas I. ISEP, Porto, março de 2014.
- Sen, P.C., Principles of Electric Machines and Power Electronics. Editor: John Wiley & Sons.
- Fitzgerald, A.E., Charles Kingsley. Electric Machinery. Editor: McGraw Hill.
- Carlos Ferreira, Máquinas Eléctricas de Corrente Contínua. Apontamentos das disciplinas de Máquinas Eléctricas. Edição: ISEP.
- M. Kostenko e L. Piotrovski, Máquinas Eléctricas volumes I e II. Editor: Lopes da Silva Editora

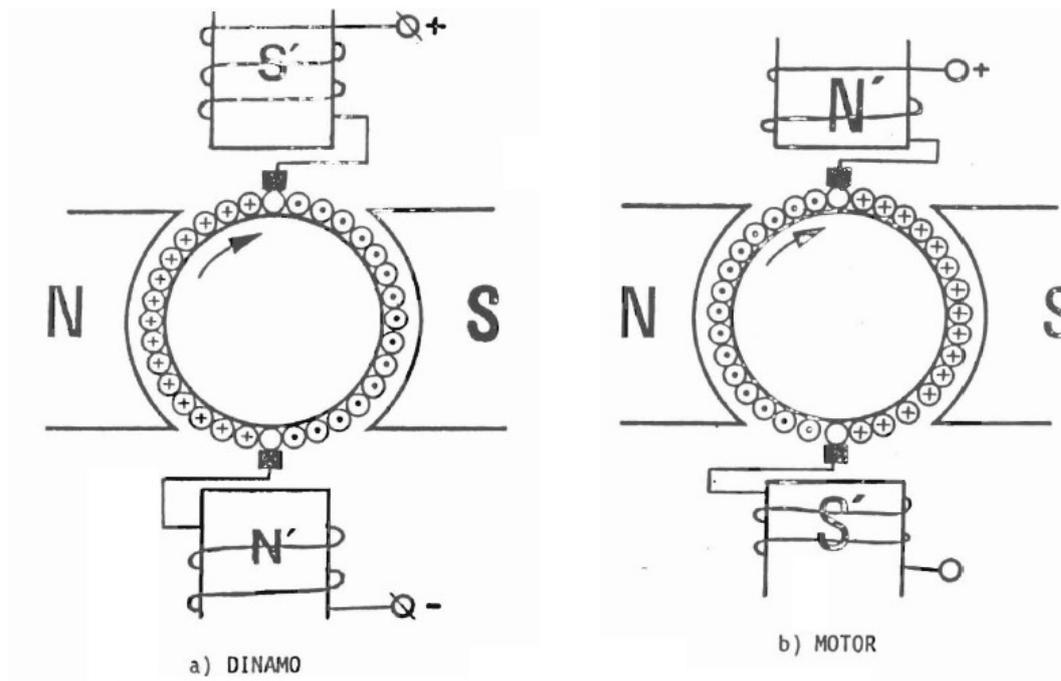


Figura 20. Comutação artificial através de pólos auxiliares na máquina DC

**Título:** Instalações Elétricas de Média Tensão – Postos de Transformação e Seccionamento  
**Autor:** António Augusto Araújo Gomes, José António Beleza 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 Beleza 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 CIBERBUS – 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, Quaternos – 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 Beleza 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 Cambes 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.



## A TECNOLOGIA LED NAS REDES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

### RESULTADOS DE UM CASO PRÁTICO

#### Resumo

*Este artigo tem por objetivo demonstrar que a introdução de luminárias de tecnologia LED nas redes de iluminação pública conduz a benefícios económicos e ambientais sem prejuízo da qualidade de serviço prestada aos utentes do espaço público. O artigo tem por base um projeto que foi implementado, permitindo constatar os efetivos benefícios inerentes à substituição das luminárias convencionais por luminárias LED. São apresentados os resultados da sua aplicação a um caso prático, um exemplo real relativo a um município português.*

**Palavras-chave:** Iluminação Pública. Eficiência Energética. Tecnologia LED

#### I. INTRODUÇÃO

A iluminação dos espaços públicos é um serviço prestado pelos municípios, através da concessionária da rede elétrica, com grande impacto na qualidade de vida das populações. A Iluminação Pública (IP) é um fator decisivo para a melhoria dos níveis de segurança pública, de segurança rodoviária e de conforto para os utilizadores das vias [1].

As instalações de IP em Portugal representam, aproximadamente, 3% dos consumos dos Concelhos [2], com previsão de aumento continuado. Os Municípios são as entidades que assumem os encargos relativos a esse consumo, podendo representar cerca de 70% da despesa total com a energia elétrica das instalações municipais [3].

A situação relativa à IP tem-se agravado nos últimos tempos, fruto de algumas medidas políticas e económicas que se estabeleceram: em novembro de 2011 com a passagem da taxa do IVA sobre a eletricidade de 6% para 23%; em 31 de

dezembro de 2012 com a extinção da tarifa especial para a IP e a 1 janeiro de 2013 com os consumos a passarem a ser faturados de acordo com a tarifa tri-horária e com a aplicação da taxa de potência a essas instalações. A conjugação destes fatores originou um considerável incremento na fatura da eletricidade dos Municípios que se viram obrigados a iniciar processos de procura de soluções tecnológicas que permitissem tornar as instalações de IP mais eficientes e menos dispendiosas.

#### II. ENQUADRAMENTO DO PROJETO

A IP é uma área na qual a utilização de equipamentos mais eficientes se traduz diretamente em reduções significativas dos consumos energéticos. Na maioria dos casos tais equipamentos não são apenas rentáveis, contribuem também para a melhoria da qualidade da iluminação.

Foi neste contexto que, em 2015, um município português implementou um projeto de eficiência energética na Iluminação Pública, com o apoio do Fundo de Coesão, no âmbito do Programa Operacional Temático Valorização do Território (POVT) [4] que se enquadra no PNAEE – 2016.

Com o objetivo de reduzir a fatura de energia elétrica associada às redes de IP e dar o seu contributo para os objetivos regionais, nacionais e comunitários de redução das emissões de CO<sub>2</sub> e da diminuição da intensidade energética do Produto Interno Bruto (PIB), o Município definiu os seguintes objetivos estratégicos:

- Melhoria do desempenho energético-ambiental das instalações de IP do município
- Redução da fatura de energia elétrica
- Redução dos custos de manutenção da rede
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à rede de IP.

Numa primeira fase, entendeu-se como essencial identificar, dentro da totalidade das instalações cuja a responsabilidade da manutenção estivesse a cargo do município, aquelas que apresentavam maior consumo e maior potencial de poupança. Contam-se entre estas as instalações com lâmpadas de grande potência, luminárias claramente ineficientes, instalações com níveis de iluminância excessivos ou desadequados em relação ao seu uso.

Uma vez recolhida essa informação, procedeu-se à pesquisa das soluções tecnológicas passíveis de uso em cada situação. Das opções disponibilizadas pelo mercado, optou-se pela tecnologia LED porque apresentava um conjunto de características que permitiam atingir, de uma forma mais eficaz, os objetivos da intervenção [5]:

- Elevada eficiência luminosa
- Melhor restituição cromática
- Maior longevidade quando comparadas com as lâmpadas instaladas
- Menores custos operacionais
- Menor consumo de energia elétrica;
- Impacto ambiental diminuto
- Fácil adaptação à instalação existente.

Da escolha resultou o projeto que neste artigo se apresenta, expondo de forma realista, as poupanças esperadas com a intervenção, bem como o investimento necessário para a sua implementação. São apresentados os indicadores económicos e energéticos antes e depois da sua implementação.

### III. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE INTERVENÇÃO

A zona objeto da intervenção estende-se por cerca de 5 km, ao longo da costa marítima, representado na Fig. 1, destacada a lilás.

Antes da intervenção a IP da zona era realizada quase exclusivamente por 532 lâmpadas de iodetos metálicos, instaladas em 340 candeeiros de 8 m de altura.



Fig. 1 - Zona de estudo

Aproximadamente 36% dessas lâmpadas destinavam-se a iluminação indireta, funcionando apenas como elemento decorativo.

Nesta rede de IP, dependendo do perfil da via a iluminar, existiam dois tipos de solução: candeeiros tipo Aura DI Duplo, com duas luminárias e candeeiros do tipo Aura DI Simples, com uma luminária. As Figuras 2 e 3 ilustram o tipo de candeeiros existentes e a sua disposição no espaço.



Fig. 2 - Candeeiros  
Aura DI Duplo



Fig. 3 - Candeeiros  
Aura DI Simples

Esta rede registava um elevado consumo energético, cerca de 2% do consumo da IP do município o que, associado aos encargos de manutenção, constituíam uma preocupação para a Autarquia.

A Tabela 1 caracteriza o cenário existente antes da intervenção, indicando a quantidade de luminárias instaladas, as potências e respetivos consumos.

O consumo anual da rede registava um valor médio de 278.465,10 kWh, representando um custo de 31.191,12€ (s/IVA), para o preço médio do kWh calculado com base nos consumos e preço de energia ativa do ano 2013 (ano de referência do projeto).

Tabela 1 - Caracterização da solução do cenário inicial

Tipo luminária	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpadas [W]	Potência instalada [kW] <sup>(1)</sup>	Consumo [kWh/ano]
Iluminação direta+Iluminação Indireta	192	150+70	45,8	183.541,23
Iluminação direta	148	150	23,7	94.950,87

<sup>(1)</sup> Para o cálculo da potência instalada foram consideradas as potências unárias do sistema (lâmpada + equipamento), de acordo com o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública

#### IV. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

A solução preconizada no projeto teve em conta dois fatores fundamentais, por um lado, não prejudicar os níveis fotométricos da instalação existente e, por outro, respeitar o projeto de arquitetura do espaço. Nesse sentido, optou-se por instalar nas colunas existentes luminárias de tecnologia LED com o mesmo design das anteriores.

De acordo com a solução existente no terreno, estabeleceram-se os seguintes tipos de ação:

- Tipo 1

Substituição das luminárias equipadas com 2 lâmpadas de iodetos metálicos, de 150W (iluminação direta) e de 70W (iluminação indireta), por luminárias de tecnologia LED com 55W e 5W, respetivamente.

- Tipo 2

Substituição das luminárias equipadas com 1 lâmpada de iodetos metálicos de 150W, (iluminação direta) por luminárias de tecnologia LED de 55W.

Tratando-se de intervenções parciais, não havendo lugar a reposicionamento de pontos de luz, entendeu-se que o disposto no Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública [6] não se aplicava a este projeto, tendo como base o ponto 1.3 do referido documento, que estabelece que “O disposto neste documento não se deve aplicar a: Remoções parciais, processos de manutenção ou operação das redes existentes”.

Acima de tudo, foram consideradas as intervenções cujo resultado final fosse, claramente, superior ao existente.

Após a validação do desempenho luminotécnico da solução através dos estudos luminotécnicos, procedeu-se à avaliação técnico-económica e de impacto ambiental da solução, considerando os seguintes pressupostos:

- A estimativa do consumo anual teve por base uma utilização por ano de 4010 horas de iluminação
- Custo do kWh para IP de 0,1120€
- Este valor foi calculado tendo por base o consumo total da IP e os preços do kWh, nos diferentes períodos horários
- Perdas elétricas nos balastros consideradas de acordo com o documento de referência “Eficiência na Iluminação Pública”
- Valor de investimento indicado teve por base o valor médio de mercado para os equipamentos projetados, no ano de elaboração do projeto, 2014.

### A. Simulação energética do investimento e das economias previstas

A Tabela 2 mostra as poupanças energéticas previstas para cada tipo de ação estabelecida no projeto.

Tabela 2- Estimativa orçamental e resumo de valores de redução associados à instalação projetada

Designação	Tipo Lâmpada	Pot. luminária [W]	Quantidade Luminarias	Potência instalada (kW) [kW]	Investimento [€] (s/IVA)	Redução Consumo [kWh]	Redução Energia Primária [tep/ano] <sup>(1)</sup>	Redução Emissões CO <sub>2</sub> [ton/ano] <sup>(2)</sup>
Ação Tipo 1	LED	55+5	192	45,8	131.520	137.346	29,53	64,55
Ação Tipo 2	LED	55	148	23,7	77.700	62.309	13,40	29,29
Totais				69,4	209.220	199.656	42,93	93,84

A redução do consumo previsto na rede de IP em estudo, apontava para uma diminuição do valor da fatura de eletricidade que se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3- Economia prevista no primeiro ano de exploração

Consumo Energético previsto [kWh/ano]	78.836
Economia Energética [kWh/ano]	199.656
Economia Energética [€/ano] (s/IVA)	22.361

Foram também, calculados alguns indicadores de eficácia económica do investimento para as poupanças esperadas, num período equivalente ao do tempo de referência de projeto - 15 anos, os quais constam da Tabela 4.

Tabela 4- Indicadores de eficácia económica do investimento para a poupanças previstas, num período equivalente ao do tempo de referência do projeto

Instalação de Luminárias LED	
Investimento total s/IVA [€]	209.220
Redução do consumo de energia [kWh/ano]	199.656
Redução de custos energéticos s/IVA [€/ano]	22.361
Investimento/Redução de consumo energia (a 15 anos) [€ investido/kWh poupado]	0,07
Investimento/Redução de custos energia (a 15 anos) [€ investido/€ poupado em energia]	0,62
Redução de custos de manutenção [€/ano]	1.681
Investimento/Redução de custos (a 15 anos) [€ investido/€ poupado em energia e manutenção]	0,58

O valor da redução anual relativo à manutenção foi obtido tendo por base o histórico dos custos anuais efetivos da autarquia com a manutenção das instalações em causa.

Procedeu-se também ao cálculo dos rácios do investimento relativos aos custos por consumo equivalente de petróleo evitado e por emissões de dióxido de carbono evitadas, durante o tempo de referência de projeto, os quais se

apresentam na Tabela 5.

Tabela 5 - Custo por tep e por ton CO<sub>2</sub> evitados

Rácios do investimento	
Investimento Total [€]	209.220
Consumo Evitado [tep] (1)	42,93
Custo por tep evitado [€/tep]	324,9
Emissões Evitadas [ton CO <sub>2</sub> ] (2)	93,84
Custo por ton CO <sub>2</sub> evitado [€/ton CO <sub>2</sub> ]	148,6
(1)Fator de conversão 1kWh=0,000215tep, de acordo com o Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho.	
(2)Fator de conversão 1kWh=0,47kgCO <sub>2</sub> , de acordo com o Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho.	

Da avaliação económica efetuada para o período de 15 anos, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 6, podendo constatar-se a viabilidade económica do projeto.

Tabela 6 - Indicadores económicos do investimento para o período de 15 anos, na fase de projeto.

Avaliação Económica	
Investimento Total [€]	209.220
Poupança Anual – Energia [€/ano]	22.361
Redução Anual – Manutenção [€/ano]	1.681
Taxa atualização	5%
VAL	40 332€
TIR	8%
Período Retorno [anos]	8,7

## B. Resultados Obtidos

Após a monitorização dos resultados, durante o primeiro ano de exploração, foi atualizada a avaliação técnica-económica e de impacto ambiental do projeto implementado.

O valor do kWh considerado foi de 0,1324€, valor preço médio calculado com base nos consumos IP e preço de energia ativa do ano 2016. Os resultados obtidos estão explanados nas Tabelas 7, 8, 9 e 10, estudo calculado para um período de 15 anos, tempo de referência do projeto.

Tabela 7 - Indicadores de eficácia económica do investimento para a poupanças reais

Instalação de Luminárias LED	
Investimento total s/IVA [€]	192.500,20
Redução do consumo de energia [kWh/ano]	199.656
Redução de custos energéticos s/IVA [€/ano]	26.434
Investimento/Redução de consumo energia (a 15 anos) [€ investido/kWh poupado]	0,06
Investimento/Redução de custos energia (a 15 anos) [€ investido/€ poupado em energia]	0,48
Redução de custos de manutenção [€/ano]	1.681
Investimento/Redução de custos (a 15 anos) [€ investido/€ poupado em energia e manutenção]	0,46

Tabela 8- Quadro resumo comparativo do cenário de referência sem e com implementação do projeto considerando os valores verificados no primeiro ano de exploração

Quadro resumo comparativo Sem Projeto e Com Projeto				
Investimento s/IVA [€]	Consumo de energia [kWh/ano]			
	Sem Projeto	Com Projeto	Redução [kWh/ano]	Redução [%]
192.500,00	278.492,10	78.836,60	199.655,50	72
	Custos de energia [€/ano]			
	36.872,40	10.438,00	26.434,40	72
	Custos manutenção [€/ano]			
	1.681,00	0,00	1.681,00	100
	Energia Primária [tep/ano]			
	59,90	16,90	42,90	72
	Emissões CO <sub>2</sub> [ton/ano]			
130,90	37,10	93,80	72	

Tabela 9 - Custo por tep e por ton CO<sub>2</sub> evitados, considerando os valores reais de investimento e economia

Rácios do Investimento	
Investimento Total [€]	192.500,20
Consumo Evitado [tep](1)	42,93
Custo por tep evitado [€/tep]	299
Emissões Evitadas [ton CO <sub>2</sub> ](2)	93,84
Custo por ton CO <sub>2</sub> evitado [€/ton CO <sub>2</sub> ]	137
(1)Fator de conversão 1kWh=0,000215tep, de acordo com o Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho.	
(2)Fator de conversão 1kWh=0,47kgCO <sub>2</sub> , de acordo com o Despacho n.º 17313/2008 de 26 de Junho.	

Tabela 10 - Indicadores económicos do investimento, considerando os valores reais de investimento e economia

Avaliação Económica	
Investimento Total [€]	192.500,2
Poupança Anual – Energia [€/ano]	26.434
Redução Anual – Manutenção [€/ano]	1.681
Taxa atualização	5%
VAL	99 319 €
TIR	12%
Período Retorno [anos]	6,8

## V. CONCLUSÃO

Um ano após a monitorização do projeto confirmaram-se as expectativas de poupança, tendo mesmo sido superados alguns dos indicadores económicos e ambientais inicialmente, previstos. Estes desfasamentos devem-se, essencialmente, a fatores económicos. Por um lado, a diminuição do preço de mercado das luminárias LED implicou um menor valor do investimento e, por outro, o preço do kWh do primeiro ano de exploração (2016) foi bastante superior ao valor considerado no estudo económico.

Deste modo, com um menor investimento de cerca de 16.720€ abaixo da estimativa, conseguiu-se diminuir o período de retorno em 1,9 anos, bem como obter melhores indicadores de eficácia económica. É importante referir que, na área intervencionada, os candeeiros existentes são parte integrante do projeto de arquitetura, pelo que não foi possível optar por luminárias de menor custo.

Caso se tratasse de uma rede onde a opção das luminárias a instalar não estivesse condicionada a um único modelo, o investimento necessário por kWh poupado seria, certamente, muito inferior.

Em relação à redução de custos energéticos, neste primeiro ano de exploração a poupança foi superior ao valor esperado, cerca de 4.073€, isto porque, em 2016, o valor médio considerado para o kWh foi de 0,1324€, ou seja, superior ao valor do kWh de 2013 que serviu de base para o cálculo na fase de estudo.

Em conclusão, a substituição das luminárias convencionais por luminárias LED na área intervencionada permitiu obter uma redução de energia elétrica na ordem dos 72%, uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>, associadas à rede em causa, na ordem dos 72%, uma diminuição da potência instalada em cerca de 28% e uma poupança anual de 1.681€ em despesas de manutenção. Permitiu ainda uma melhoria substancial das condições de visibilidade do espaço devido ao maior índice de restituição cromática que a solução LED apresenta em relação às lâmpadas de iodetos metálicos.

Perante estes resultados obtidos, tanto em termos económicos como energético-ambientais, haverá interesse em promover outros estudos com o objetivo de replicar este tipo de ação.

Seria também fundamental que os municípios definissem estratégias de abordagem para a escolha do tipo de iluminação a integrar nos diferentes espaços públicos, criando as condições necessárias para que, em todas as operações urbanísticas a realizar, seja obrigatória a inclusão de luminárias LED nas redes de IP.

Neste sentido, é de salientar a importância do Protocolo que a Associação Nacional de Municípios Portugueses e a EDP Distribuição formalizaram para a alteração ao Anexo I do Contrato-Tipo de Concessão da distribuição de energia elétrica em baixa tensão, aprovado pela Portaria nº 454/2001, de 5 maio, por forma a consagrar as luminárias de

tecnologia LED, a instalar nos municípios, como equipamentos de uso corrente, significando que a manutenção e conservação desses equipamentos são assegurados pela concessionária da rede [7].

Este protocolo permitirá a progressiva substituição da atual tecnologia da IP pela tecnologia LED na totalidade da rede, tornando-a desta forma mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

- [1] EDP Distribuição, “Aparelhos de Iluminação Elétrica e Acessórios - Guia técnico de iluminação pública,” DTI – Direção de Tecnologia e Inovação, Nov 2017.
- [2] DGGE - Direção Geral de Energia e Geologia, “Energia Elétrica - Consumos por Concelho - Por Sector de Actividade,” 2015.  
[Online] Available:  
<http://www.dgeg.gov.pt/?cn=68917002707171207607AAA>.
- [3] ERSE, “Guia sobre a Distribuição da Energia Elétrica em Baixa Tensão,” Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2018.
- [4] POVT, “Relatório Execução 2010,” Programa Operacional Temático de Valorização do Território, 2011.
- [5] N. C. Solutions, “Lighting Evolution: Benefits of LED Lighting,” white paper, 2016.
- [6] RNAE, “Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública,” Associação das Agências de Energia e Ambiente, 2012.
- [7] EDP Distribuição, “Manual de Iluminação Pública - Revisão,” EDP Distribuição, ISR-UC, 2016.

## COMPARAÇÃO DE TECNOLOGIAS EM VEÍCULOS AUTOMÓVEIS

### Resumo

*O domínio do Motor de Combustão Interna (MCI) começa a ser ameaçado pelo aparecimento das tecnologias Zero Emissão (ZE). Há mesmo países que já anunciaram a intenção de proibir a comercialização dos automóveis com MCI a partir de 2030, devido às suas emissões poluentes. Neste artigo são analisadas as duas tecnologias ZE disponíveis e comparadas com o MCI [1].*

### 1. Problemas ambientais

As energias fósseis foram um fator fundamental para o desenvolvimento industrial e social até à atualidade. Mas a sua utilização não é neutra do ponto de vista ambiental devido à libertação de gases de efeito de estufa (GEE), que estão a alterar o equilíbrio da atmosfera que existia no período pré-industrial. Apoiado em estudos científicos cada vez mais credibilizados pela comunidade científica, o poder político está a ficar cada vez mais consciente das suas consequências climáticas, já visíveis e penalizadoras no ponto de vista social e económico, e por isso empenhado em mudar a matriz energética com vista à sua progressiva redução, substituindo-as por energias renováveis.

Devido à poluição estima-se que em 2015 tenha havido 9 milhões de mortes prematuras, correspondendo a 16 % de todas as mortes em todo o mundo, sendo três vezes superior às provocadas pela sida, tuberculose e malária e 15 vezes superior em que a causa é atribuída à guerra ou outras formas de violência [2].

#### 1.1. A poluição a nível global

Como se pode ver na figura 1.1, o sector que mais contribui para a emissão de CO<sub>2</sub> a nível global corresponde ao sector da produção de eletricidade e calor com 42 % [3].

Mas, já há várias décadas que as centrais mais poluidoras estão a ser substituídas por centrais neutras ou com menor impacto ambiental, prevendo-se inclusivamente que até 2030 a maioria das centrais a carvão sejam desativadas. A entrada em serviço, para o parque produtor, de centrais com tecnologias neutras (eólicas e solares), permitiu que a produção de energia elétrica tenha cada vez mais incorporação de energias renováveis, que em Portugal no ano de 2016 atingiu 57 % [4]. O segundo sector que mais contribui para a emissão de CO<sub>2</sub>, a nível global, foi o dos transportes com uma percentagem de 24 % (ver figura 1.1).

Este sector está quase exclusivamente dependente dos combustíveis fósseis, porque a única medida tomada por vários países foi a incorporação de biodiesel no gasóleo e etanol na gasolina de um valor muito reduzido.

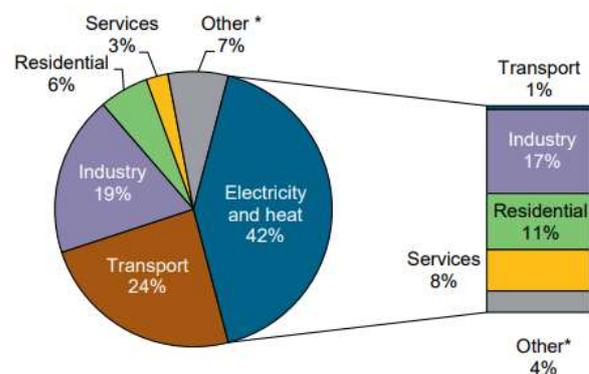


Figura 1.1 – Emissões globais de CO<sub>2</sub> por sector [3]

#### 1.2. A poluição nas cidades

Atualmente nas cidades vive a maioria da população mundial, com um consumo de energia elevado e consequente emissão de GEE também elevada.

Em várias capitais e cidades europeias quando a poluição atinge níveis acima dos valores máximos admissíveis a circulação é reduzida ou mesmo proibida nas zonas mais sensíveis.

A Diretiva Quadro Europeia da Qualidade do Ar (Diretiva 2008/50/CE<sup>1</sup>) que fixa os objetivos e parâmetros da qualidade do ar de forma a reduzir, prevenir e evitar os seus efeitos nocivos para a saúde humana, foi transposta pelo Decreto-Lei nº 102/2010<sup>2</sup>, de 23 de setembro para a legislação nacional.

A Câmara Municipal de Lisboa criou as Zonas de Emissão Reduzida (ZER), cuja 1ª fase entrou em vigor no dia 4 de julho de 2011, pelas razões que se transcreve [5]:

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

Em 1 de abril de 2012 e em 15 de janeiro de 2015 entraram em vigor respetivamente a 2ª e a 3ª fase aumentando a exigência em termos ambientais.

### 1.3. Mudança das políticas ambientais

Nas cidades europeias progressivamente será proibida a circulação dos veículos poluidores, permitindo só a circulação de veículos ZE.

Vários países europeus entre eles a Alemanha, a partir de 2030 irão proibir a venda de automóveis novos com emissões poluentes.

## 2. Veículos Zero Emissão

Nas últimas décadas para poderem cumprir a legislação europeia cada vez mais restritiva, os veículos com MCI têm evoluído na redução de emissões poluentes. A descoberta da manipulação por software das emissões poluentes, por várias marcas, indicia um limite tecnológico do MCI. Com os híbridos é possível reduzir as emissões poluentes, mas não as anulam, e por isso também serão proibidos de entrar nas cidades. Noutra estratégia, adotada por outros construtores, foram desenvolvidos os veículos ZE: veículo elétrico com fuel-cell (FCVE) e veículo elétrico (VE).

### 2.1. Veículos Elétricos com Fuel-Cell

O FCVE é um automóvel com acionamento elétrico que utiliza as fuel-cell para converter o hidrogénio em energia elétrica para carregar a bateria. Atualmente no norte da Europa já estão a ser comercializados pela Hyundai o ix35 FC e pela Toyota o Mirai.

#### - Constituição

Como exemplo da constituição de um FCVE apresenta-se na figura 2.1 o Toyota Mirai:

- Motor elétrico com 151 CV;
- Bateria de níquel de hidretos metálicos;
- Depósito de hidrogénio com capacidade de 5 kg;
- Autonomia de 500 km.



Figura 2.1. Toyota Mirai [6]

<sup>1</sup> Com a Rectificação do Jornal Oficial da União Europeia L 322, de 08 de dezembro de 2010, e as alterações introduzidas pela Diretiva 2015/1480 da Comissão, de 28 de agosto de 2015.

<sup>2</sup> Com as alterações introduzidas pelos Decreto-Lei n.º 43/2015, 27 de março e Decreto-Lei n.º 47/2017, de 10 de maio.

## Pontos Fortes

Comparando com os VE e MCI, os pontos fortes são:

- O tempo de abastecimento é de 5 minutos (equiparados aos MCI);
- Autonomia de 500 km;
- Maior rendimento da fuel-cell (60 %) face ao MCI (< 40%).

## Pontos Fracos

Os pontos fracos são:

- Preço elevado face aos VE;
- O menor rendimento da fuel-cell (60 %) face ao VE (80% global);
- O preço atual do hidrogénio (10 €/kg na Alemanha e Dinamarca) e um consumo de 1kg/100 km, ficam comparáveis aos MCI;
- A inexistência em Portugal de postos de abastecimento de hidrogénio.

## 2.2. Veículos Elétricos (VE)

O automóvel elétrico é um veículo com acionamento a partir de um motor elétrico que é alimentado exclusivamente com a energia elétrica armazenada na bateria. Por isso, a sua autonomia está dependente da capacidade da bateria, que é carregada a partir de uma fonte de eletricidade externa.

### Motor

O motor elétrico, face ao MCI, tem a vantagem de ser leve, ter elevado rendimento (>80%), muito robusto e fiável por ser constituído por poucos componentes.

Poderão ser do tipo Corrente Alternada (CA) de indução (figura 2.2) ou do tipo CA síncrono de ímãs permanentes (figura 2.3).



Figura 2.2. Motor AC de indução do Tesla S[7]



Figura 2.3. Motor AC síncrono de ímãs permanentes do Nissan Leaf [8]

## Baterias

A maioria das baterias atuais são construídas com células NCM (níquel, cobalto e manganês) e eletrólito de iões de lítio, colocadas na plataforma entre os eixos (figura 2.4 e 2.5).

A capacidade, presentemente, poderá ir até aos 100 kWh (Tesla S P100D), permitindo uma autonomia até 632 km [9] em testes normalizados, pois a autonomia real dependerá do modo de condução, das condições atmosféricas e do perfil da estrada.



Figura 2.4. Bateria do Nissan Leaf [10]

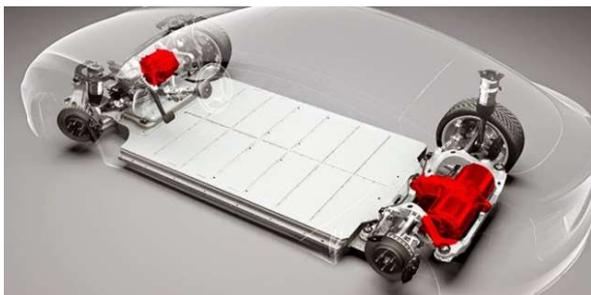


Figura 2.5. Bateria da Tesla [11]

O aumento da autonomia dos VE tem sido obtido através da evolução tecnológica das células, permitindo aumentar a capacidade das baterias sem aumentar o seu peso e volume, e também pelo aumento da economia de escala. Utilizando células NCM 622 (60 % de N, 20 % de C e 20 % de M) as baterias têm atualmente uma capacidade de 40 kWh (VE de gama média), mas com as NCM 811 (80 % + 10% + 10%) irão ter 60 kWh. As células NCM 811 já se encontram em produção, utilizando metade do cobalto, que é cinco vezes mais caro que o níquel, e por isso serão previsivelmente mais baratas.

O preço das baterias baixou de 1000 \$/kWh em 2010, para 216 \$/kWh em 2017, com uma redução em 2017 de 26 % face a 2016 (figura 2.6) [12].

#### - Tempo de carga

O tempo de carga da bateria irá depender da potência disponível para a carregar.

A maneira mais fácil de carregar um VE é nas garagens das nossas casas numa vulgar tomada monofásica de 16 A com terra. O VE do autor (Nissan Leaf2.zero) com bateria de 40 kWh com 20% de carga (ver figura 2.7) irá demorar 16 horas para ficar completamente carregada. Como se pode na mesma figura 2.7, o tempo de carga não é linear, pois a carga final irá demorar mais tempo.



Figura 2.7. Tempo de carga numa tomada monofásica de 16A

No primeiro mês após a compra e numa condução equivalente à que tinha com um Volvo V40 a gasóleo (80 a 90 % em autoestrada e o restante em cidade acima da velocidade legal mas dentro da tolerância permitida), teve um consumo médio de 16,5 kWh/100 km (figura 2.8). Com o custo da eletricidade de 0,115 €/kWh em vazio (contrato de fornecimento de energia com dupla tarifa), 100 km ficam por 1,9 €. Por esta razão, a sua utilização fica bastante económica além de ser neutro do ponto de vista ambiental.

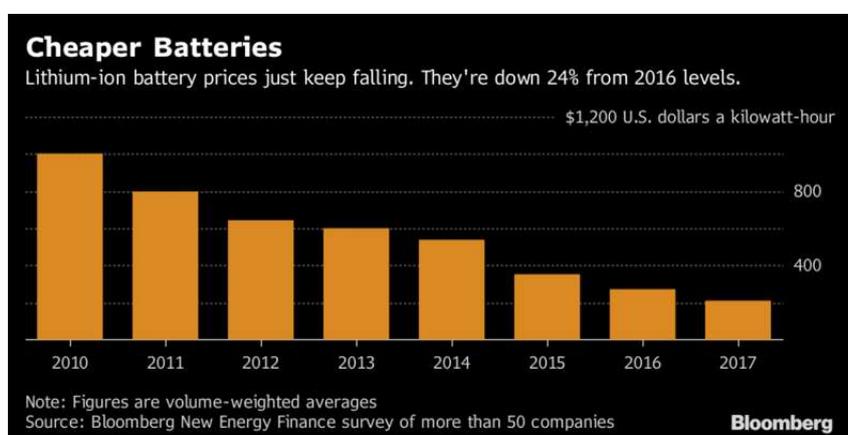


Figura 2.6. Redução do preço das baterias[12]



Figura 2.8. Consumo médio no primeiro mês

Em Portugal já estão disponíveis carregadores rápidos (CR) com 50 kW DC da rede MOBI-E. Os CR são ideais para quem vive em prédios com garagens coletivas com tomadas de serviços comuns. Na fase piloto os carregamentos na rede Mobi-E são gratuitos.

Nas cidades do Porto, Gaia e Matosinhos existem 4 CR que fase à procura já são insuficientes.

Na figura 2.9 podemos ver que o carro do autor a realizar um carregamento rápido (Chademo) a 44 kW, ao fim de 1,5 horas a carga estava completa. Mas neste tipo de cargas (CR) é aconselhável não ultrapassar os 80 a 90 % para preservar a bateria de um envelhecimento precoce.



Figura 2.9 – Carregamento rápido de 50 kW DC

### Pontos Fortes

Comparando com o FCVE e MCI, os pontos fortes são os seguintes:

- Elevada fiabilidade da bateria (um TESLA S chegou aos 400.000 milhas (643.737 km) em 3 anos e um Nissan Leaf de 24 kWh chegou aos 300.000 km);
- Maior rendimento global (80 %);
- O menor custo por km face aos MCI e FCVE;
- Menor custo de manutenção.

### Pontos Fracos

Presentemente os pontos fracos são os seguintes:

- Preço mais elevado em relação ao MCI, mas mais barato que o FCVE;
- O tempo de abastecimento é mais demorado;
- A autonomia poderá ser inferior, dependente do VE;
- Pontos de carga rápida em número reduzido.

## 3. Carregamento dos Veículos Elétricos

### 3.1. Carga lenta

A carga lenta, para as baterias atuais, é a ideal, permitindo menor degradação e maior longevidade da bateria.

### Habitação

Para quem tem uma potência contratada que permita o uso de uma tomada de 16 A (ver secção 2.2), a carga lenta é a ideal. Mas, com o previsível aumento de vendas irão aumentar os carregamentos domésticos, o que poderá sobrecarregar as redes de baixa tensão (BT). As redes elétricas BT são dimensionadas com fatores de simultaneidade inferiores a 1, por se verificar que a probabilidade de os consumidores ligarem ao mesmo tempo cargas elevadas é baixa, e se ligarem, é no período curto das refeições.

A carga do VE altera completamente este paradigma, por ser uma carga elevada e prolongar-se por muitas horas.

### Habitações coletivas (prédios)

Nos prédios, o carregamento de VE tem difícil resolução, dado que habitualmente as garagens serem coletivas e onde as tomadas são de serviços comuns com potência reduzida.

### 3.2. Supercarregadores da Tesla e Ultrarápidos

A Tesla está a criar a nível mundial uma rede de supercarregadores. No início de 2018 entraram em serviço os primeiros 2 [13], o primeiro em Fátima (ver figura 2.10) com 8 postos de carga a 120 kW cada, com alimentação a partir de um PT aéreo MT (15 kV) e junto a um restaurante e pensão localizado (eixo Porto-Lisboa). O segundo em Montemor (ver figura 2.11) com 8 postos de carga a 120 kW cada, integrado nas instalações de uma estrutura hoteleira (eixo Lisboa-Madrid).



Figura 2.10. Supercarregador da Tesla em Fátima



Figura 2.11. Supercarregador da Tesla em Montemor

Estes supercarregadores a 120 kW, permitem carregar a bateria de 100 kWh do Tesla S 100D em menos de uma hora.

Estão previstos pela Tesla abrir em breve em:

- Faro (eixo Algarve-Sevilha);
- Castro Verde (eixo Lisboa-Algarve);
- Guarda (eixo Porto-Espanha-França);
- Braga (eixo Porto-Galiza);
- Vila Real (eixo Portugal-Espanha-França).

O custo dos carregamentos depende do ano de aquisição do carro. Caso o Tesla tenha sido adquirido até 2017 são gratuitos, e para os restantes o custo é de 0,23 €/kWh tendo anualmente uma oferta de 400 kWh/ano por cada.

Atá agora a rede da Tesla tem privilegiado a carga nos eixos rodoviário, mas para ultrapassar a dificuldade das cargas na cidade de Los Angeles já está em funcionamento o primeiro supercarregador urbano da Tesla com 20 pontos de carga a 75 kW cada.

Numa crescente evolução das baterias, a Porsche desenvolveu as baterias com tecnologia de 800 V, duplicando a tensão elétrica das atuais. Estas novas baterias permitem os carregamentos ultrarápidos a 350 kW do tipo CCS (Combine Charges System), que neste momento se encontram em fase de testes com carregadores fornecidos pela Efacec [14]. A utilização até 2020 deste tipo de carga permitirá uma carga com um tempo mais próximo dos MCI.



Figura 2.12. Bateria a 800 V da Porsche (fonte: Porsche)

### 3.3. Soluções para um cenário de grande penetração de Veículos Elétricos

Num cenário muito provável de grande penetração de VE nos próximos anos, o aumento de carregadores rápidos e ultrarápidos até ao número de pontos de carga dos combustíveis tradicionais será a chave para resolver o problema da sua carga.

Existindo infraestruturas elétricas em todo o país, será fácil a implementação destes postos de abastecimento perto dos pontos fortes da rede elétrica, como por exemplo subestações AT/MT. Estes postos deverão ter desde os atuais 50 kW DC até carregadores ultra rápidos a 350 kW DC em número suficiente para fazer face à procura.

A utilização de baterias para o armazenamento de energia elétrica, com tripla utilização para minimizar o investimento, será outro aspeto importante a implementar, podendo:

- dar apoio à estabilidade das redes elétricas (controlo de frequência);
- absorver os excedentes de energias renováveis;
- minimizar o impacto dos carregamentos dos VE nas redes elétricas.

O aumento do consumo de energia elétrica deverá ser colmatado com novos aproveitamentos de energias renováveis, como por exemplo:

- sistemas fotovoltaicos, preferencialmente com armazenamento, aproveitando os recursos solares existentes nos telhados residenciais industriais ou terrenos que não tenham aptidão agrícola (cenário de verão);
- sistemas de cogeração, preferencialmente com armazenamento, produzindo calor e energia elétrica utilizando biomassa ou biocombustíveis, em alternativa utilizando um combustível de baixo carbono como o gás natural (cenário de inverno).

### 3. Conclusões

Nas próximas décadas, os veículos automóveis com MCI irão ser progressivamente proibidos de circular nas cidades devido às suas emissões poluentes. E, também, progressivamente a sua venda será proibida para os países poderem cumprir metas de redução de poluição assumidas internacionalmente.

Os veículos automóveis ZE aparecem como as únicas alternativas válidas, atualmente, para substituírem os com MCI, por serem neutros em termos ambientais.

Presentemente, o veículo elétrico é o ZE mais importante, por ter a maior eficiência global e, por isso, menor custo por quilómetro.

A bateria, que inicialmente era considerada o seu ponto fraco, está continuamente a baixar de preço e apresenta atualmente elevada fiabilidade, permitindo aos fabricantes oferecer uma garantia de oito anos na sua aquisição. Com o aumento da sua produção, as marcas irão aumentar a economia de escala, prevendo-se que em 2020 tenham um preço semelhante aos automóveis com MCI.

As redes de carregamento deverão evoluir progressivamente em número e potência disponível para se tornarem numa solução equivalente aos postos de abastecimento de combustíveis convencionais.

### 4. Bibliografia

- [1] António C. Andrade, “Qual o Futuro das Motorizações em Veículos Automóveis - Fuel - Cell | Elétrico | Combustão Interna” Revista Ingenium Nº162 da Ordem dos Engenheiros

- [2] Philip J Landrigan et al. - The Lancet Commission on pollution and health. [Consult.07Dez. 2017]– Disponível em:  
[http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(17\)32345-0.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(17)32345-0.pdf)
- [3] IEA: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - CO2 emissions from fuel combustion 2017 HIGHLIGHTS. [Consulta 07Dez. 2017]  
Disponível em:  
[www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf)
- [4] REN – Relatório de contas 2016–[Consulta 07 Dez. 2017]  
Disponível em:  
[http://relatoriocontas2016.ren.pt/media/78419/rc\\_completo.pdf](http://relatoriocontas2016.ren.pt/media/78419/rc_completo.pdf)
- [5] CML: Câmara Municipal de Lisboa - Deliberação n.º 247/CM/2011–[Consulta 07 Dez. 2017]  
Disponível em:  
[http://www.cmlisboa.pt/fileadmin/VIVER/Mobilidade/ZER/Proposta\\_247-CM-2011\\_-\\_1\\_Fase\\_ZER.pdf](http://www.cmlisboa.pt/fileadmin/VIVER/Mobilidade/ZER/Proposta_247-CM-2011_-_1_Fase_ZER.pdf)
- [6] TOYOTA. Toyota Mirai - [Consulta 07 Dez. 2017] – Disponível em:  
<https://www.toyota-europe.com/newcars/mirai/#/video/tfv2-3-0>
- [7] Motor AC de indução do Tesla S - [Consulta 07 Dez. 2017]  
Disponível em:  
<https://www.pinterest.pt/pin/423690277421509556>
- [8] Motor AC síncrono de ímanes permanentes do Nissan Leaf [Consulta 07 Dez. 2017]  
Disponível em:  
<https://www.quora.com/How-is-power-transmitted-from-electric-motor-to-wheels-in-Nissan-Leaf-car>
- [9] Disponível em:  
[https://www.tesla.com/pt\\_PT/models/design](https://www.tesla.com/pt_PT/models/design)
- [10] Disponível em:  
<https://www.nissanusa.com>
- [11] Disponível em:  
<https://teslaportugal.blogspot.pt/2015/01/autonomia-de-conducao-da-familia-model-s.html>
- [12] Blomberg  
Disponível em:  
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-05/latest-bull-case-for-electric-cars-the-cheapest-batteries-ever>
- [13] Observador.  
Disponível em:  
<https://observador.pt/2018/01/03/primeiros-supercarregadores-da-tesla-ja-chegaram>
- [14] EFACEC.  
Disponível em:  
<http://electricmobility.efacec.com/ev-high-power/>

## CONCEÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO: TÉRMICO E ELÉTRICO

### Resumo

*O rendimento dos painéis fotovoltaicos decresce com o aumento da temperatura de funcionamento, aspeto particularmente relevante em locais onde a temperatura diária máxima atinge temperaturas elevadas, como é o caso de Portugal. Este facto tem implicações no dimensionamento de um painel fotovoltaico, desde a fase de projeto no cálculo das correntes e tensões de operação dos equipamentos a jusante do painel, até à sua operação, com influência relevante nas condições económicas de exploração. Um rendimento elétrico inferior implica mais tempo para amortizar o painel, resultando num projeto de investimento menos atrativo.*

*Este estudo propõe a conceção de um sistema de arrefecimento térmico do painel, com base na circulação forçada de água, sendo apresentados benefícios que justificam a sua exploração.*

*A utilização do princípio de extração do calor pode ser integrada com sistemas de aquecimento de águas (painéis solares) existentes nos edifícios, permitindo diluir os custos da solução e aumentar o rendimento global elétrico e térmico através de um pré-aquecimento.*

### Palavras-chave:

Arrefecimento do painel. Painel Híbrido Térmico/Elétrico (PHTE). Permutador de calor. Rendimento do painel.

### 1. Introdução

A preocupação com o meio ambiente e com a sustentabilidade do planeta encaminham a produção da energia para a busca de fontes de energias renováveis, que,

registaram um considerável aumento nos últimos anos. Dentro destas energias de menor impacto ambiental, destaca-se a energia solar, por ser uma fonte limpa, abundante e inesgotável. A energia proveniente do sol pode ser utilizada de diversas maneiras, é o caso da produção direta de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos (FV) e a produção de energia térmica, devido ao calor produzido pela radiação solar [1].

O rendimento do painel FV varia de acordo com a temperatura do painel, o ângulo de inclinação do painel em relação ao chão, a limpeza da face exposta à luz solar e a radiação solar incidente no painel. O fator mais relevante e que tem maior impacto no rendimento do painel FV é a temperatura a que o painel PV está sujeito [2].

Nos dias em que a temperatura regista valores maiores, o painel pode atingir 60°C a 80°C. Estima-se que por cada grau acima de 25º celsius haja uma perda de 0,45% de rendimento elétrico do painel [3]. Assim, para  $T = 60^{\circ}\text{C}$  existe uma perda de 15,75% no rendimento do painel FV. Isto deve-se ao facto de as células fotovoltaicas serem constituídas por cristais semicondutores, sendo materiais bastante sensíveis à temperatura [4], o que vai alterar tanto a corrente de curto-circuito, como a tensão em circuito aberto.

O presente trabalho desenvolve e analisa um sistema híbrido térmico/elétrico na tentativa de obter um aumento da potencia produzida pelo painel pela sua diminuição da temperatura de funcionamento. Partindo do funcionamento de um painel FV comum, é aplicado a este uma estrutura que lhe permite um constante arrefecimento durante o seu tempo de funcionamento.

## 2. Conceção do painel híbrido

Para este projeto foi utilizado o painel fotovoltaico BP585U com potência máxima de 85 W, tensão e intensidade de corrente para a potência máxima, respetivamente, de 18,0 V e 4,72 A, valores em condições STC - *Standard Test Conditions*. O rendimento deste painel é naturalmente afetado pelas condições climáticas [5], as suas características elétricas relativas à tensão e corrente variam com a temperatura de acordo com as curvas apresentadas na Fig. 1.

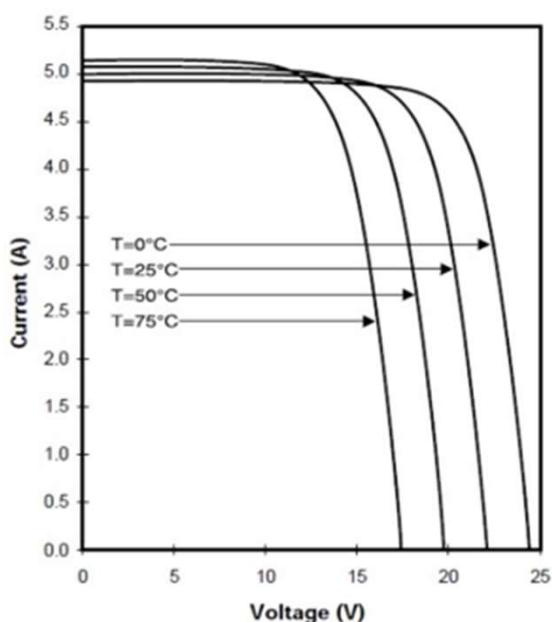


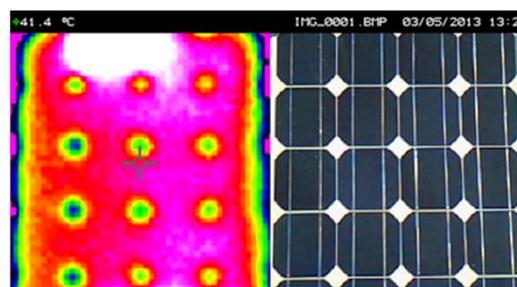
Fig. 1- Curvas de Tensão e Corrente do painel BP585U

De modo a criar uma estrutura de arrefecimento de raiz, a estrutura física do painel FV foi rearranjada para o adaptar à estrutura do Painel Híbrido Térmico/Elétrico (PHTE), tentando maximizar a área de contacto com o painel FV e, conseqüentemente, a transferência de calor. A área de contacto e a transferência de calor são diretamente proporcionais [6], de acordo com a equação (1):

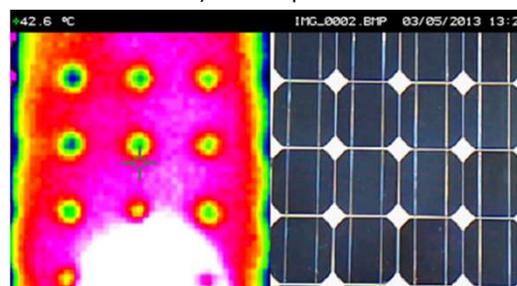
$$qk = -K * A * \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Com base neste critério, foram analisadas as dimensões do painel assim como a distribuição de calor ao longo da sua superfície.

Como se pode observar na Fig. 2, a distribuição de calor na superfície do painel fotovoltaico é relativamente uniforme, existindo um ponto mais quente na parte superior e outro na parte inferior, que foram tidos em consideração na construção do PHTE.



a) Parte superior



b) Parte inferior

Fig. 2- Distribuição de calor no painel FV

A aplicação deste estudo levou à conceção de um permutador de calor, com a estrutura da Fig. 3.

O protótipo consiste na sobreposição de uma placa de alumínio e acrílico separadas por um espaço de 7,5 mm por onde o fluido de arrefecimento irá circular, de acordo com o esquema da Fig. 4.

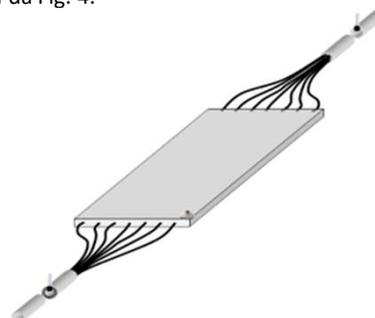


Fig. 3- Protótipo do PHTE

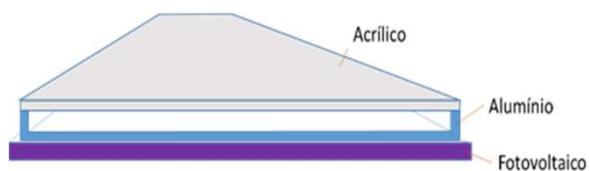


Fig. 4 - Configuração genérica do PHTE

A placa de alumínio será a que vai estar em contato com o painel, onde foram fixadas barras, também elas de alumínio, para se obter uma distribuição mais uniforme do fluido. Com isto tenta-se eliminar a formação de zonas críticas, isto é, zonas de formação de “remoinhos” nos vértices do PHTE, aumentando assim a uniformização da transferência de calor do painel FV com o PHTE.

O cálculo da potência térmica,  $Q$  (em W) é dado pela equação (2), tendo como variáveis o caudal  $m$  (l/s), a constante de condutividade térmica do fluido,  $C_p$  (J/Kg°C) e pela diferença de temperatura do fluido  $\Delta T$  (°C).

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad (2)$$

Neste caso, interessa medir a temperatura de entrada e de saída,  $T_{in}$  e  $T_{out}$  ou seja o valor de  $\Delta T$ .

Para tal, foi feito um furo com um diâmetro ligeiramente superior ao diâmetro que o sensor de temperatura LM35 ocupa, sendo o sensor introduzido até meio do tubo e vedado o que restava do furo.

O sistema baseia-se na circulação forçada de água através da estrutura do PHTE.

A água é armazenada num recipiente e, com uma bomba, é bombeada para o interior do PHTE, entrando pela base. Após percorrer o PHTE, a água sai pelo topo, sendo devolvida ao mesmo, tornando-se assim um ciclo fechado, visualizado na Fig. 5.

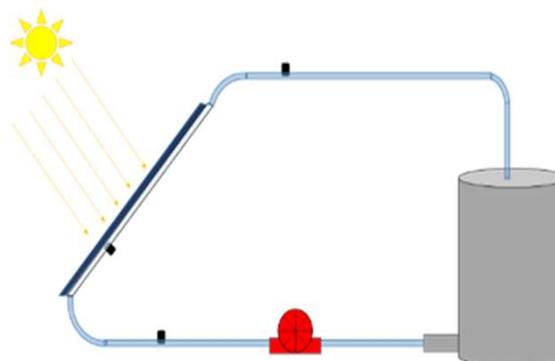


Fig. 5 - Esquema de funcionamento do PHTE

### 3. Análise dos resultados obtidos

Em relação à temperatura do painel FV é de salientar que, tal como os resultados obtidos assim o demonstram na Fig. 6, a tensão está diretamente relacionada com a temperatura: aumenta com a diminuição da temperatura, para uma radiação constante.

Note-se ainda que no “Ponto 1” da Fig. 6 é visível o início do arrefecimento do painel FV.

A Fig. 7 apresenta variação das temperaturas da água, à saída e à entrada, assim como a temperatura do painel e sua evolução ao longo do processo de arrefecimento do PV.

O “Ponto 2” representa a entrada de água no PHTE. O decréscimo da temperatura deve-se ao facto de que a temperatura da água está relativamente inferior a temperatura ambiente.

O “Ponto 3” representa a saída da água do PHTE. O pico de temperatura deve-se ao facto da temperatura do painel estar ainda muito elevada. Quando os valores se tornam constantes, observar-se que a temperatura da água à saída é quase igual à temperatura do PV.

Para cálculo da potência térmica, utilizam-se os valores de temperatura quando estes são constantes.

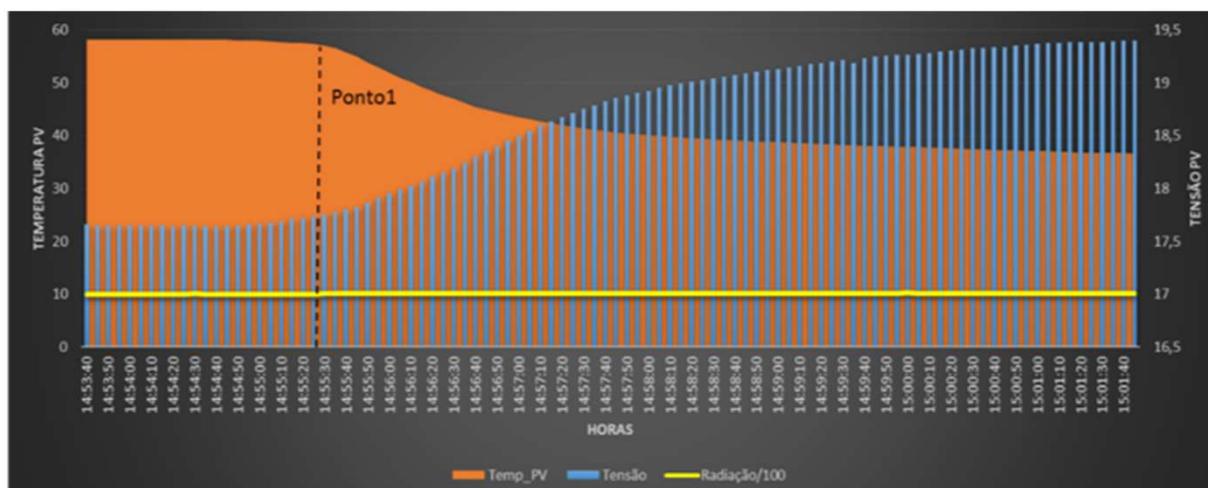


Fig. 6 - Relação entre Temperatura do PV e Tensão

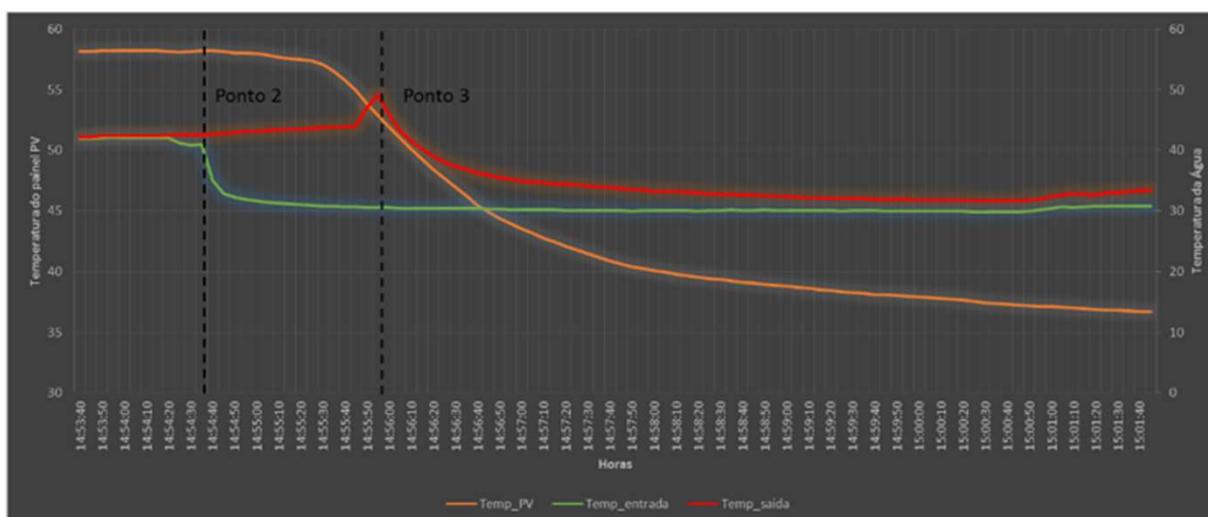


Fig. 7- Temperatura da água à entrada e saída do PHTE

Para uma melhor percepção da evolução da potência do painel PV com a aplicação do sistema proposto, foram efetuadas medições com o sistema de arrefecimento em funcionamento assim como medições com o sistema de arrefecimento desativado, as curvas obtidas estão presentes na Fig. 8. É visível que a potência máxima obtida pelo painel, sem arrefecimento, com uma radiação constante de 1100 W/m<sup>2</sup> foi cerca de 66W. Isto significa que, de acordo com a equação (3), perde-se cerca de 22% da potência máxima do painel PV.

De acordo com a equação (4), o rendimento elétrico para a potencia de 66W é cerca de 12%.

$$Perda\ Pot.\ max = \frac{Pot.\ max\ do\ PV - Pot.\ max\ obtida}{Pot.\ max\ do\ PV} \quad (3)$$

$$\eta_{elétrico} = \frac{Pot.\ max\ obtida}{Radiação * S} \quad (4)$$

Após o arrefecimento, com o mesmo nível de radiação, o PV debitava cerca de 78 W, estando-se a perder cerca de 8% da potência máxima.

O rendimento elétrico para esta potência é então cerca de 14%.

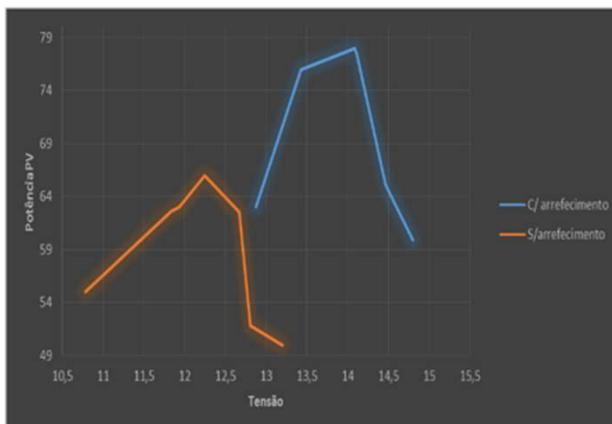


Fig. 8 - Potencia do painel, com e sem arrefecimento

Após os valores da temperatura do painel FV estabilizarem, procedeu-se ao cálculo da potência térmica, tendo sido registados as temperaturas da água:  $T_{in} = 36,59 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $T_{out} = 37,11 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Novamente, com a utilização da equação (1), verifica-se que o valor da potência térmica é de 152,4 W. De acordo com a equação (4), o rendimento térmico para esta potência é de 28%.

Na interpretação e análise dos dados foi possível verificar uma diminuição da temperatura do painel FV e, simultaneamente, um aumento de tensão em circuito aberto, de acordo com o que seria previsto.

Com este aumento de tensão verifica-se um aumento na potência produzida do painel FV, garantindo assim um efetivo aumento do seu rendimento.

#### 4. Análise financeira do PHTE

Para a análise financeira foi elaborado um processo de comparação de custos de investimento versus benefícios. O custo total do equipamento descrito tem um custo aproximado de 73,85€ com IVA (ou 60€, sem IVA), com um desconto comercial de 10% o custo final do PHTE fixou-se em 54,58€.

Foi visto anteriormente nos dados obtidos em ensaio que o painel não arrefecido (situação de uma instalação típica) produz uma potência elétrica de 66W e, quando aplicado o arrefecimento com o PHTE, a produção elétrica aumenta para 78W, correspondendo a um aumento de 15% na potência do painel.

No entanto, o ganho deste modelo não se reduz à potência elétrica. Os dados obtidos com a utilização do LABview indicam que a potência térmica ganha na transferência de calor do painel para a água foi de  $Q = 152\text{W}$ . O motor colocado para fazer fluir a água consome 49,5W, os quais se subtraem à potência ganha.

Os dados de radiação solar [7] permitem saber que, no local onde o painel foi colocado, o valor de radiação médio tem duração aproximada de 4 horas por dia e cerca de 120 dias por ano. Tendo em conta as condições referidas, podemos afirmar que a potência ganha no final de um ano é 54.960 W. Considerando um preço da energia de 0,1386 €/kWh, o retorno do investimento seria garantido entre o 7º e o 8º ano após o investimento no equipamento.

#### 5. Conclusão

Perante os resultados técnicos e económicos obtidos na elaboração do projeto, podemos afirmar que o PHTE é eficaz e viável. O rendimento elétrico do painel FV aumenta e o PHTE assegura o seu aproveitamento térmico.

Em relação à potência térmica  $Q$ , a análise dos dados mostra uma diferença de temperaturas na água de entrada e de saída do PHTE, que se traduz num aproveitamento térmico da temperatura do painel FV. Esta diferença de temperaturas é mais evidente no primeiro minuto de funcionamento do sistema, devido às elevadas temperaturas em que o painel se encontra.

Em termos económicos, o PHTE é um projeto rentável a partir de um determinado período de tempo, para as condições médias do local de ensaio, conseguindo assegurar a totalidade do investimento realizado.

## Referências

- [1] T.T.Chow, "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology," *Applied Energy*, Elsevier, vol. 87, n.º 2, pp. 365-379, fevereiro 2010.
- [2] Feature Reports: Solar, an Energy of the Future, "The Two Types of Solar Energy, Photovoltaic and Thermal," 24 dec 2014. [Online]. Available: <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/two-types-solar-energy-photovoltaic-and-thermal>. [Acedido em 2018].
- [3] N. Enteria, H. Yoshino, A. Satake, A. Mochida, R. Takaki, R. Yoshie e S. Baba, "Corrigendum to Development and construction of the novel solar thermal desiccant cooling system incorporating hot water production," *Applied Energy*, Elsevier, vol. 87, n.º 2, pp. 478-486, february 2010.
- [4] N. Ribeiro, "Análise de Sistema Híbrido Solar: Fotovoltaico e Térmico," Brasil, 2016.
- [5] Solarterra – Soluções em Energia Alternativa, "Energia Solar Fotovoltaica, Guia Prático," SolarTerra, S. Paulo.
- [6] A. Chapman, *Fundamentals of Heat Transfer*, University of Michigan: Macmillan, 1987.
- [7] A. Cavaco, H. Silva, P. Canhoto, S. Neves, J. Neto e M. Pereira, "Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade mensal e anual," IPES - Instituto Português de Energia Solar, 2016.

## Divulgação:



## REFORÇO DE POTÊNCIA DE VENDA NOVA III

### Abstract

*O projeto de Reforço de potência de Venda Nova III(VNIII) é o último projeto contruído de uma série de projetos hidroelétricos construídos na zona de Venda Nova , situados na serra do Gerês, em que o primeiro projeto, Venda Nova iniciou produção de energia elétrica em 1951. Todos os projeto deste empreendimento interligam, através de condutas com água, os rios Cávado e Rabagão. O projeto VNIII tem instalados dois grupos reversíveis com uma potência de cerca 495 MVA cada. Este artigo tem como objetivo descrever os principais fornecimentos, equipamentos, envolvidos na construção de um dos principais projeto desenvolvidos em Portugal, o projeto de Reforço de potência de Venda Nova III. Trabalho com suporte em documentação do projeto de execução de Venda Nova III, Site da EDP produção.*

**Termos chave:** Reforço de potência de Venda Nova III(VNIII), produção de Energia (PE), Grupos reversíveis (GR), plano nacional de barragens de elevado potencial hidroelétrico (PNBEPH), bombagem.

### I. INTRODUÇÃO

O projeto VNIII tem como dono de obra a EDP produção tendo este contratado para a execução do projeto dois grandes consórcio. O primeiro a ser adjudicado foi o consórcio de civil, constituído por MSF/Somague/ Mota-Engil/Spi Batignolles, e o segundo consórcio englobando a parte eletromecânico constituído pelas empresas Voith Hydro e a Siemens S.A. Este projeto estava inserido no Plano nacional de barragens de elevado potencial hidroelétrico (PNBEPH). Este, e outros projetos, que também foram implementados no âmbito do PNBEPH, colocam a hidroelétrica EDP no topo do fornecimento de energia elétrica no sistema elétrico nacional.

Este projeto está também inserido no aproveitamento hidroelétrico de Vila Nova que iniciou produção de energia elétrica em 1951, que é constituído por Vila Nova/Venda Nova, Venda Nova II( Frades) e Venda Nova III( Frades II). Todos estes projeto interligação os rios Rabagão e Cávado através de condutas que transportam água do Rabagão para o Cávado.

Os projeto mais recentes VNII e VNIII para além da produção de energia elétrica através da interligação destes dois rios, tem ainda a possibilidade de bombagem, em que o transporte de água é feito no sentido inverso ao da produção de energia elétrica, ou seja, transporta água do rio Cávado para o Rabagão.

Este tipo de tecnologia é alcançado com a utilização dos chamados grupos reversível, e estão cada vez mais a ser usado devido ao crescimento de produção de energia elétrica através de fontes renováveis, alcançar os objetivos nacionais traçados para aumentar a produção de energia através de energias renováveis e consequentemente a redução de emissões de gases causadores de efeito de estufa, a redução da dependência energética a partir de combustíveis fósseis. Existe ainda mais uma vantagem na utilização deste tipo de tecnologia, que é a possibilidade utilização de energia em excesso na rede, normalmente devido ao aumento registado na produção de energia com base eólica sendo consumida para a bombagem de água da albufeira de jusante para a albufeira de montante. Este sistema é dos mais vantajosos no armazenamento de energia, pois é possível armazenar energia em forma de água e “sem perdas”.

O investimento inicial global do projeto rondava os 322,5M€, tendo este valor sido ajustado ao longo do projeto.

O valor estimado de produção hídrica anual média 1441 GWh.

Este projeto VNIII foi implementado no concelho de Vieira do Minho, localizado na margem esquerda do rio Cávado. O acesso rodoviário é pela estrada nacional EN103, na freguesia de Ruivães faz-se o desvio para a estrada CM 1397 até á entrada da Central.

Este artigo está dividido por capítulos, abordando os seguintes temas, capítulo II, descreve o âmbito do fornecimento da construção civil, capítulo III apresenta os grupos instalados no projeto, capítulo IV descreve os equipamentos fornecidos á tensão de produção, capítulo V principais equipamentos fornecidos nos serviços auxiliares, capítulo VI pequena abordagem ao sistema de ventilação instalado no projeto, capítulo VII referências as proteções instaladas na central, capítulo VIII equipamento fornecido á tensão de emissão de energia e o capítulo IX pequena conclusão do artigo publicado.

## II. CONSTRUÇÃO CIVIL

O projeto VNIII é composto pela central, onde estão localizados os GR está localizada numa caverna com aproximadamente 150 metros de comprimento, 25 metros de largura e 55 metros de altura, formando assim o que usualmente é chamado de nave, figura 1.

Esta central está localizada a uma profundidade de cerca de 400metros, sendo o seu acesso realizado através de um túnel com cerca de 1500metros. A entrada de água é realizada pela tomada de água entrando depois num túnel, circuito hidráulico de montante, com cerca de 4 800 m, representado na figura 2 como L1. A saída da água está representada com L2 que tem aproximadamente 1.5km de túnel desde a central até á restituição, circuito hidráulico de jusante. Existem mais túneis de acesso aos diversos pontos na central, por exemplo, á zona dos transformadores potência, rolhão de jusante e rolhão de montante etc. Todos este túneis foram escavados pelo consórcio de civil perfazendo cerca de 10000m.

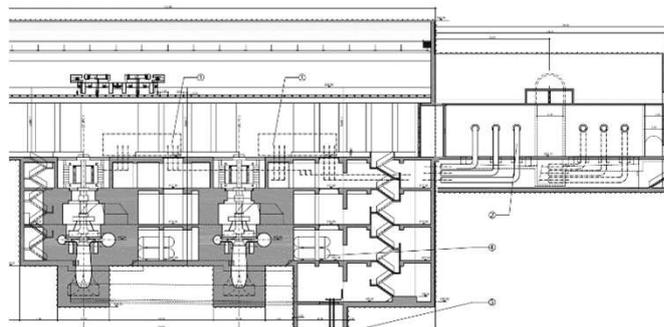


Figura 1 : Dimensões da Central

Para além da central, existem diversos edifícios de comando “espalhados” pelo projeto. Um na tomada de água, onde é feito o controlo das comportas enscadeiras e de segurança, que asseguram o fecho da entrada de água em caso de manutenção do circuito hidráulico de montante.

A restituição também tem um edifício de comando onde é monitorizado o controlo dos níveis da albufeira. A chaminé de equilíbrio também tem um pequeno edifício de comando que apenas serve para medir movimentações da altura da água durante a fase de operação, com especial atenção quando existem os chamados golpe de arietes, pois é por aqui que é libertada a energia/força que existe na movimentação da água de montante para jusante e vice-versa. O principal edifício e o maior é chamado edifício de comando dos 400kV, que fica implementado no exterior junto á plataforma de acesso ao túnel da central.

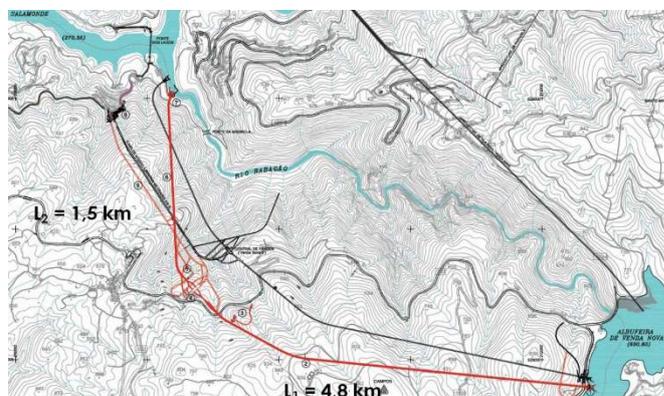


Figura 2: Implementação circuitos hidráulicos

### III. GRUPO/MAQUINA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

O projeto VNIII é composto por dois grupos reversíveis de velocidade variável, ou assíncronos.

Os Grupos são do tipo Francis e têm uma potência em modo turbina de 400MW e em modo bomba 390MW tendo até á pouco tempo sido as máquinas assíncronas com maior potência instalada no mundo aparentemente existe um projeto em desenvolvimento que terá potência superior mas que ainda não está em serviço. Estes grupos foram do fornecimento da *Voith Hydro* sediada em *Heidenheim* Alemanha.

Na figura 3 é possível observarmos o esquema unifilar geral da instalação.

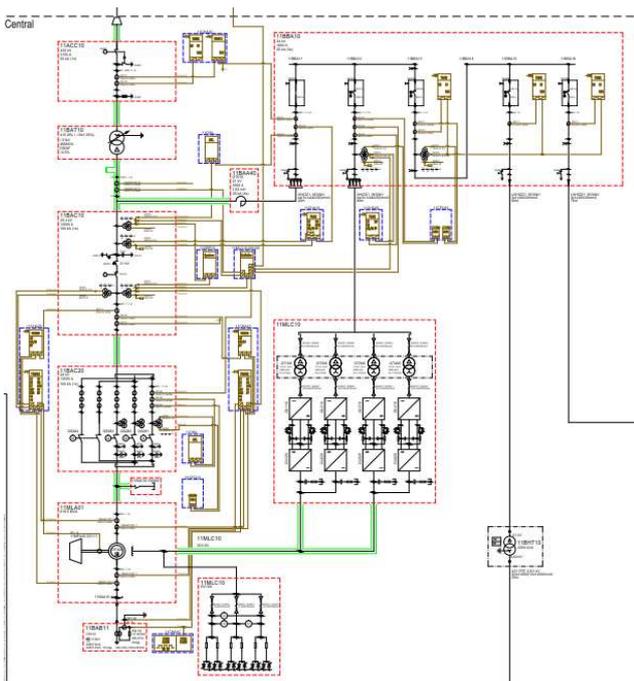


Figura 3: Esquema unifilar, grupo 1

Na figura 4 temos a montagem do rotor do grupo que foi realizada em obra dada as dimensões que são necessárias obter para alcançar as potências em jogo.

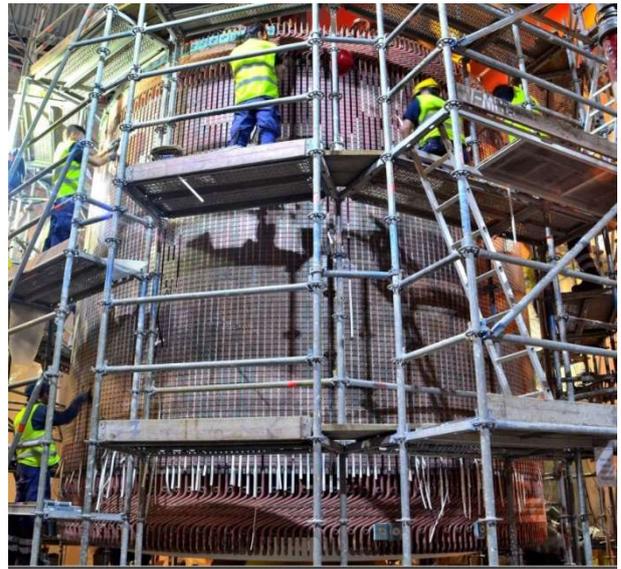


Figura 4: Rotor

### IV. EQUIPAMENTO Á TENSÃO DE PRODUÇÃO

Este nível de tensão de geração de energia é muito elevado isto porque a potência de cada grupo que é de 465MVA o que corresponde a uma corrente  $I = 13\ 000A$ . Para transportar a potência elétrica neste nível de tensão e com esta corrente foi utilizado um barramento do tipo isolado da marca EGE, ver figura 5.



Figura 5: Barramento Isolado

Na fig. 5 também é possível observar o seccionador inversor, que é o órgão responsável pela inversão de turbina para bombear trocando a sequência entre duas fases, assim como o chamado disjuntor de alternador que tem como função a proteção do grupo, ou seja, todos os alarmes e disparos que possam ocorrer devido a alguma anomalia na instalação será neste equipamento que será realizada a abertura do sistema. Estes equipamentos são da marca ABB.

Este nível de tensão também é utilizado para a alimentação dos serviços auxiliares de todo o projeto. Para isso ser possível foi necessário instalar uma reactância limitador de curto circuito que tem como função baixar o nível de corrente de curto circuito de 160kA para 25kA. Este equipamento é da marca Trench.

Para a distribuição da rede de MT no projeto foram instalados monoblocos da Siemens do tipo Nxplus C, 24kV, NXAir, 24kV, e transformadores de serviços auxiliares seco do tipo GEAFOL, 2500kVA, 21/0,4kV.

## V. EQUIPAMENTO SERVIÇOS AUXILIARES

Este capítulo compreende todos os equipamentos de BT, com tensão de alimentação até 400V. Neste âmbito de fornecimento estão incluídos quadros gerais de BT de cada grupo bem como um quadro geral de comum, esquema unifilar figura 6.

Este esquema unifilar apenas se refere ao QGBT dos serviços comuns.

Existe também um quadro de corrente continua por cada grupo e um para os serviços comuns. Para além destas alimentações fazem parte dos serviços auxiliares toda a detecção de incêndio, intrusão e CCTV que se desenvolve por todo o projeto. Sistemas de segurança da central desde logo todo o sistema de detecção de inundação, drenagem e bombagem. Todos estes sistemas são chamados de serviços essenciais, dado importância dos mesmos para a segurança das pessoas.

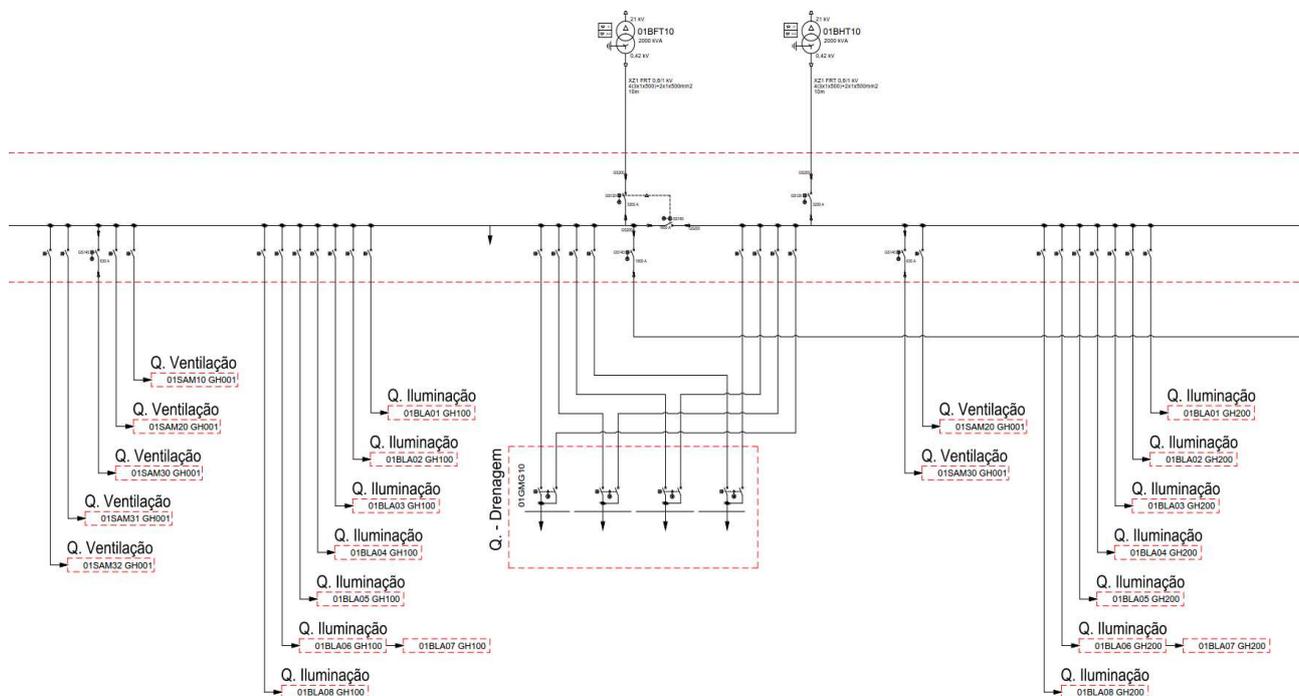


Figura 6: Esquema unifilar de corrente alternada

VI. SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Sistema que garante a circulação de ar desde o exterior até á nave através da colocação de ventiladores com a capacidade, e potência, de “sugar” ar fresco desde a plataforma exterior até á nave, sendo depois encaminhados para todos os locais da central.

A figura 7 é um pequeno extrato do desenho geral da instalação

VII. EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO

Neste projeto foram necessárias diversas proteções, desde as proteções dos grupos, proteções para os cabos e transformadores de MAT(400kV), proteção aos cabos de 400kV, cabos de MT( 21kV) e transformadores de MT(21,04kV). Todos estes elementos foram integrados num sistema só, tendo sido realizada um estudo de seletividade para que não exista qualquer tipo de sobreposição de proteções.

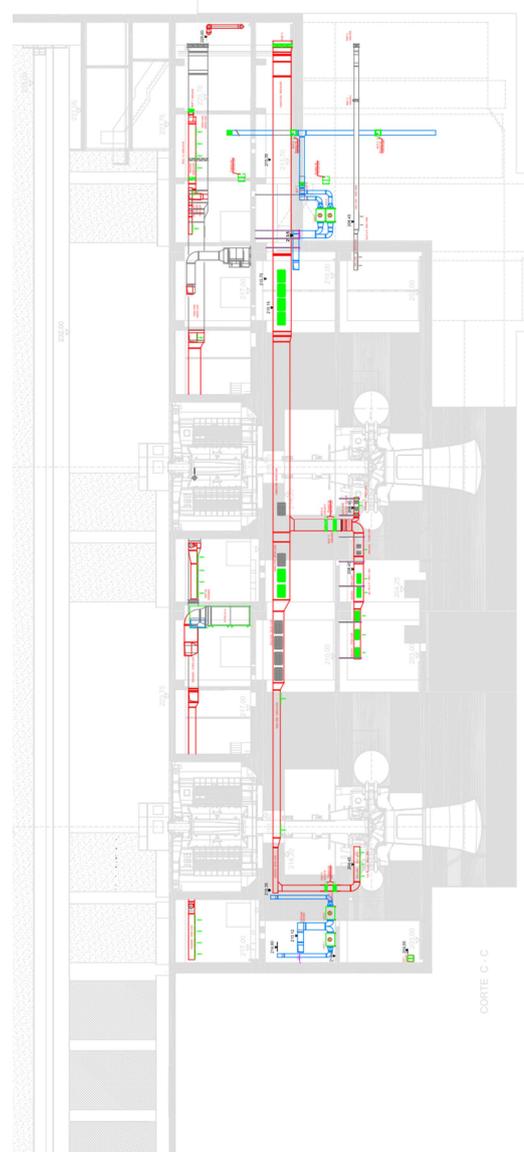
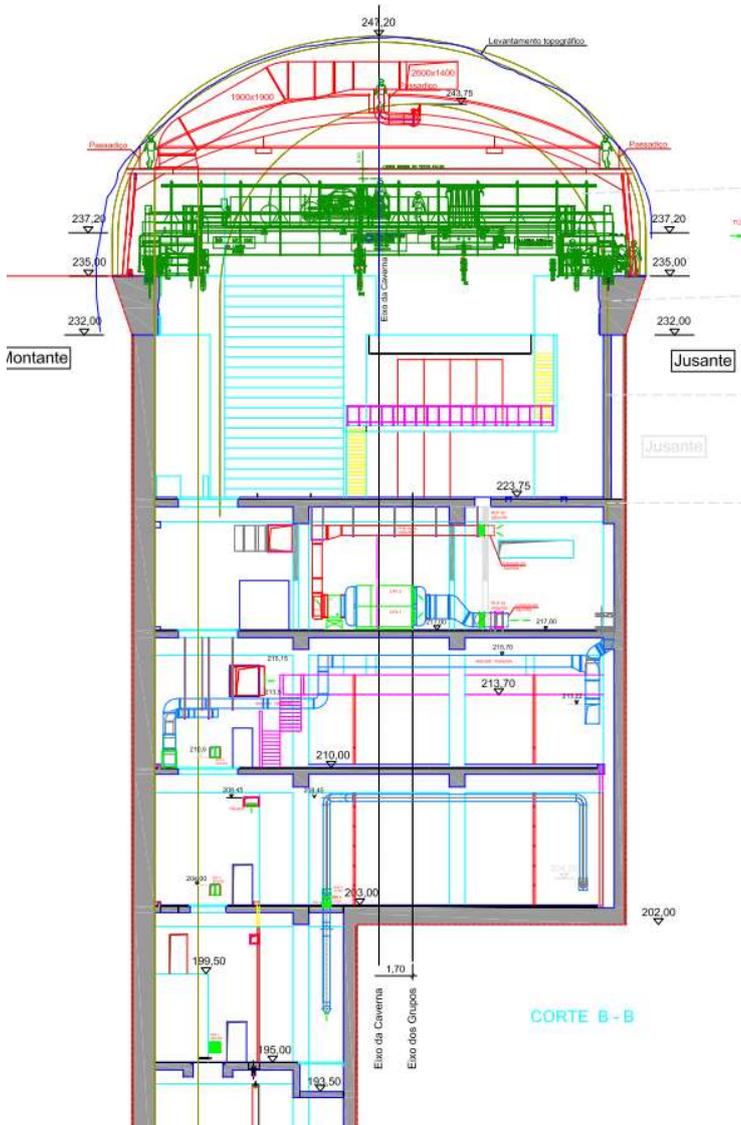


Figura 7: Esquema de ventilação, Corte A e Corte B

Na figura 8 podemos observar um traçado de um estudo realizado no âmbito da seletividades das proteções de média tensão.

### VIII. EQUIPAMENTO Á TENSÃO DE EMISSÃO DE ENERGIA-400KV

Os equipamentos que compõem este ponto são:

- Transformadores de potência têm a relação de transformação 400/21kV, uma potência de 495MVA. Estes equipamentos têm a capacidade de elevar a tensão desde o nível de tensão de produção de energia, até ao nível em que será realizado o transporte da energia produzida, neste caso em particular 400kV.

Os transformadores fornecidos são da marca Efacec e o método construtivo do tipo fases dissociadas, Figura 9.



Figura 9: Transformador de potência 400kV em montagem

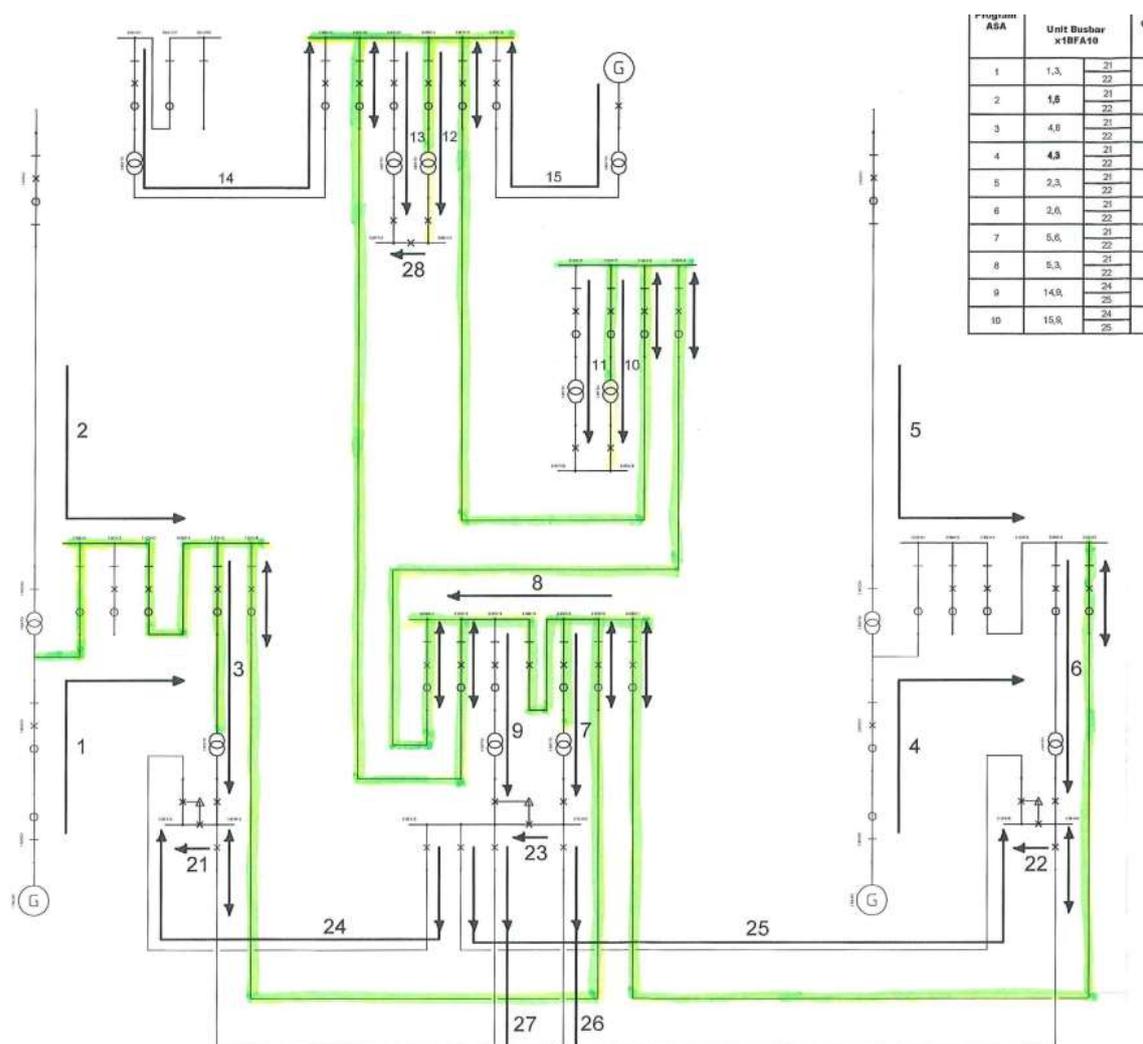


Figura 8: Esquema de seletividade das proteções de média tensão

- Cabos de 400kV, estes equipamentos são da marca *Brugg Kabel AG*. Este cabos foram os primeiros deste nível de tensão a serem construídos com aproximadamente 1800metros de comprimento, corte único, por fase. Na figura 10 é possível ver como é construído o cabo que se encontra instalado no projeto VNIII.

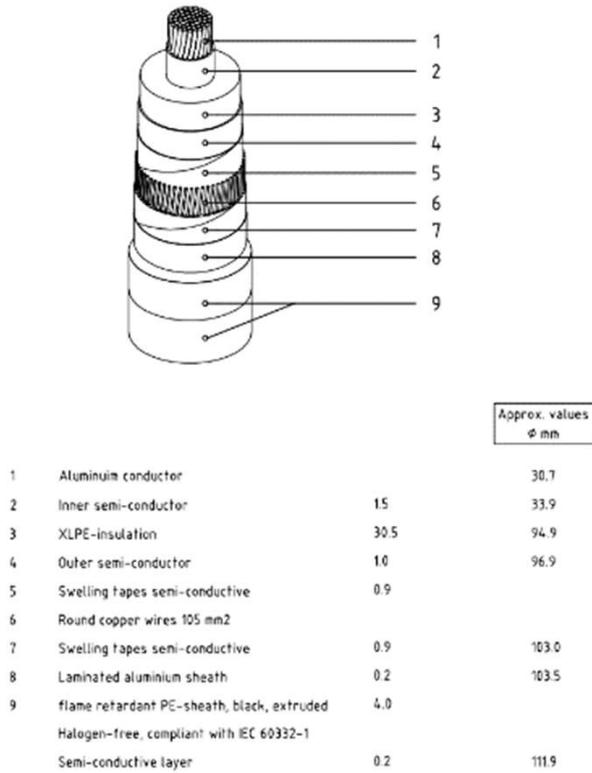


Figura 10: Corte cabo 400kV

O cabo foi instalado em esteira na vertical, ver figura 11, em todo o seu comprimento em estruturas metálicas com vários formato de base de assento, uma vez que a inclinação do acesso variava ao longo do percurso.



Figura 11: Cabo de 400kV instalado na base do edifício de comando 400kV

- GIS 400kV, *Gás insulated Switchgear*, este equipamento alberga em poucos metros quadrados, todo o equipamento de corte e proteção que uma subestação convencional tem, ou seja, disjuntor de linha de 400kV, seccionador de Linha, seccionador de manutenção e os transformadores de medida, tensão e corrente, 400kV. O esquemas unifilar é o representados na figura 12.

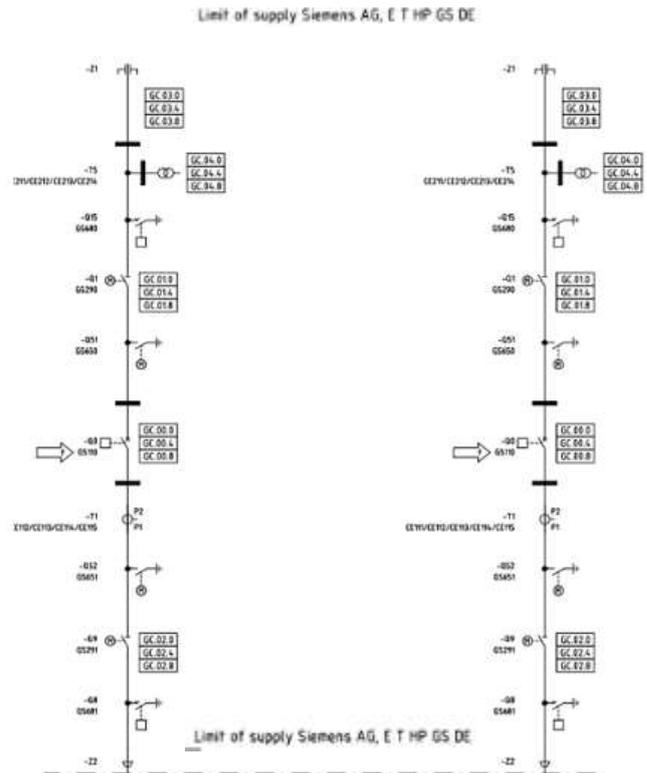


Figura 12: Esquema unifilar do GIS de 400kV



Figura 13: GIS de 400kV Siemens 8DQ1, 420kV 50kA

- Pórtico de amarração de linha, é o limite de fornecimento deste empreendimento e é aqui que se faz a transição entre o projeto e a linha de transmissão de energia. Esta interligação é realizada a 400kV, injetando na rede de 400kV toda a energia produzida no projeto de VNIII, figura 14,



Figura 14: Pórtico de amarração da linha de 400kV

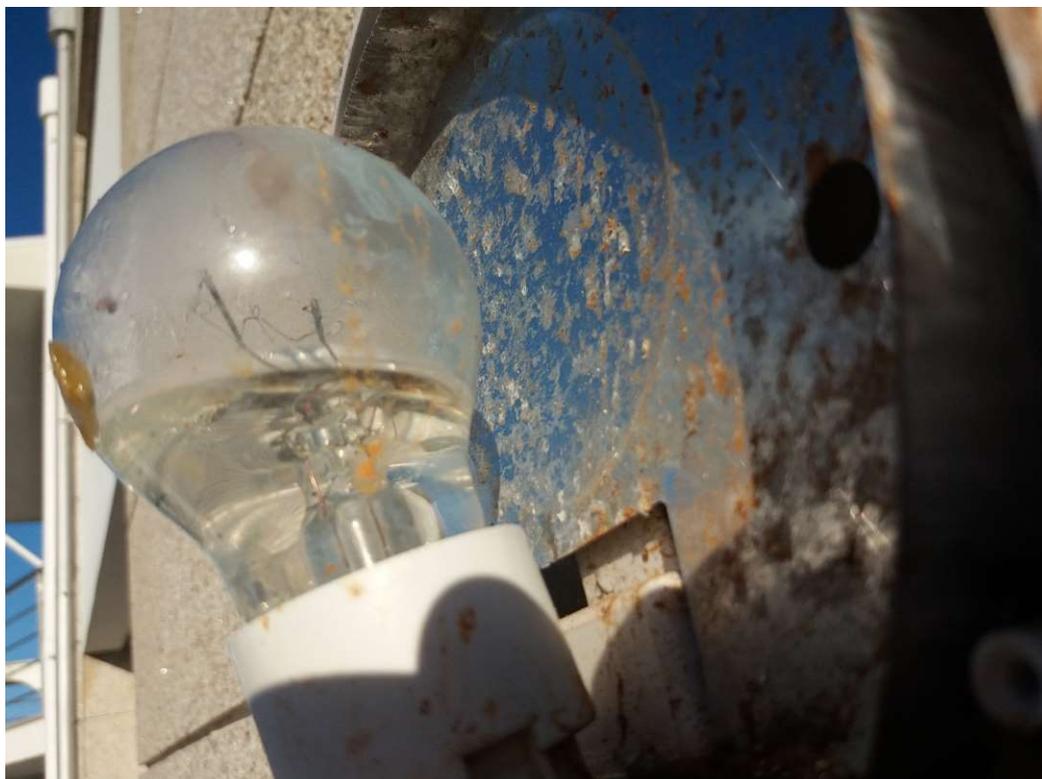
## IX. CONCLUSÃO

O projeto de Venda Nova III foi um projeto muito inovador na tecnologia utilizada para a geração de energia elétrica, utilizando grupos reversíveis de velocidade variável.

O tipo de gerador de energia utilizado normalmente até a execução deste projeto foi sempre do tipo máquinas síncronas.

Com a introdução desta nova tecnologia no nosso sistema elétrico nacional, estamos a progredir para um sistema que mais facilmente se consegue adaptar-se às necessidades da rede, evitando assim a entrada na rede de outro tipo de produção de energia que não a renovável apenas para compensar durante um pequeno período de tempo as necessidades da rede.

### Curiosidade:



## ENERGY STORAGE IN ISOLATED ELECTRICAL SYSTEM

### Abstract

*Energy storage has become a key issue in management of any renewable energy system. That is even more important in an isolated electrical system, as is the case with island system, due to the inherent fluctuating operation and inaccurate energy forecast.*

*The growth of the decentralized generation in an isolated electrical grid means load stability problems and requires energy storage as a potential solution to guarantee safety and reliability standards.*

*The study described in this paper highlights the need to store energy in Madeira island electrical system and evaluate the technical and environment benefits with the introduction of batteries to strengthen power network.*

*A simulation tool was developed, suitable to quantify the impact of batteries in wind energy and thermal power plants existing technologies. This tool also allows the graphical analysis of the daily production, as well as the evolution of the power and energy in battery.*

**Palavras-chave:** *Electrical energy storage. Isolated grid. Daily energy diagram. Batteries power balance. Re-dispatch. Simulation tool.*

### 1. Introdução

The development of efficient and environmentally safe energy storage systems is an important and urgent issue to save our society from potentially serious damage due to various pollutants in the atmosphere [1].

Electrical Energy Storage is a way of converting electrical energy from a power plant into a form that can be stored for converting back to electrical energy when needed [2].

This allows the use of intermittent energy sources in peak hours or at any time when no other generation means is available [3].

The history of the stationary Electrical Energy Storage (EES) dates back to the turn of the 20th century, when power stations were often shutdown overnight, with lead-acid accumulators supplying the residual loads on the direct current networks [4].

Distributed electricity generation and the introduction of fluctuating sources like renewable energy, increase the difficulty of stabilizing power network [5], mainly due to a supply demand imbalance. It is therefore convenient to generate the energy, transmit it, convert it, and then store it if need be. More than ever, EES has become a necessity [6].

When a utility company supplies electricity within a small, isolated power network, for example on Portuguese Madeira island, the power output from small-capacity generators such as diesel and renewable energy must match the power demand. By installing EES the utility can supply stable power to consumers [7].

Nowadays, utility companies recognize the importance of the flexibility that energy storage provides in networks, in particular in isolated electrical systems.

This study aims an analysis on the potential benefits of introducing electrical energy storage in a small isolated system, the case of Madeira, a Portuguese island.

We will present a real case study focusing on batteries introduction and the achieved improvements on grid's management criteria in order to maximize renewable energy injection.

## 2. Madeira Energy System Characterization

Madeira electrical energy system is based on conventional thermal power plants and hydro plants, complemented by a solid amount of wind energy and steady growing solar energy production. Table 1 shows the power plants existing in Madeira island's system, detailing the rated power and annual produced energy by each energy technology [8]. Although renewable energies have been achieving considerable integration in island's energy mix, it is still predominantly dominated by conventional thermal power plants.

### 2.1 Thermal power plant

There are two thermal power plants in Madeira, Vitória and Caniçal, with several generating groups, supplied mainly by fuel oil. The bigger plant – Vitória has a rated power of 212.94 MW provided by 20 groups, 5 of them are natural gas generating groups. There is a mix of single and combined cycle, where older and recent energy generation technology coexists.

The potential growth of such power plants is almost unlimited, however, the efficiency and environmental impact of them can be improved with the increase of more natural gas groups, less polluting than fuel oil.

### 2.2 Hydro power plants

There are 10 hydroelectric plants in Madeira and the island's hydrography is of small flow water streams type, making it difficult to have big reservoirs. Due to this geographical limitation, nine of the existing hydroplants are run-of-the-river type power plants.

The most relevant hydroplant in the island is the Socorridos, with 2 generator-turbine groups of rated power of 24 MW and 11.25 MW, this last one of pumping power. The plant has a complex tunnels system, with the upper reservoir - Túnel do Covão, of 40 000 m<sup>3</sup> of total water storage capacity, sited at 547 meters above sea level. The lower reservoir has a similar storage capacity, located at 85 meters above sea level.

That facility has a huge strategic importance because it allows a water charging during peak hours for energy generation, reducing the need for the thermal plants. At the off-peak hours, with higher wind generation, surplus generation is used for the plant to pump the water.

### 2.3 Wind and photovoltaic plants

All the wind power plants are onshore facilities, most of them located in Paúl da Serra, and Caniçal, with a variety of windmill technologies across the island, from full speed control technologies to no control at all. However, the harder demands of the local grid, EEM - Electricity Company from Madeira, requires a path towards wind mills equipped with power converters that can contribute with better quality of service to the grid. There are still some places with wind potential for building new plants to increase the actual nominal power and wind's share of the electricity mix increases each year [9].

When it comes to photovoltaics (PV) plants, there are two large-scale plants, with 6 MW and 9 MW of rated power. The rest of the installed solar power is about mini and micro producers, with a highly promising future, costs are currently on a fast reducing track, compared to costs of other renewable energy systems [10].

Table 1. Energy power plants in Madeira

Source	Thermal	Hydro	Wind	Urban waste	Photovoltaic	Total	Renewables (%)
Power (MW)	233.94	51.09	43.91	8.00	17.56	354.51	-
Energy (GWh)	649.38	74.58	82.62	27.72	27.68	861.9	21

## 2.4 Main challenges on isolated grids

Small isolated grids have specific conditions that lead to several challenges:

- No interconnection to larger grids
- Low short-circuit power (limits renewable power connection, due to voltage variation that lead to flicker problems)
- Need for power plants that can provide for grid stability services (typically thermal and hydro)
- Hydro systems with small storage capacity
- Excess of renewable resources in off-peak, humid periods
- Need for high levels of rotating reserve, due to the high risk of sudden power loss
- Great frequency variations due to variable energy resources (wind and solar)
- High-risk system management criteria and lower quality of service standards
- Isolated grid systems face unique conditions that introduce challenges that are different from large mainland power grids. A specific study of technology and applications is needed for that type of energy system.

## 3. Energy Storage Technologies and Applications

Electrical energy storage has been massively used worldwide for decades, via hydro pump plants with large reservoirs that could store weeks, months or even years of water for later production.

However, nowadays, the need for energy storage is much more oriented towards short-term electrical system stability, due to the high levels of variable renewable sources.

In line with this new paradigm, energy storage technologies, have suffered a huge development in the last few decades, with special emphasis in chemical storage technologies like batteries.

In Fig. 1 we can see a great diversity of technologies, graphically sorted by Rated Power and Energy Capacity, which gives us a hint about possible applications of each technology.

The battery choice is an interesting issue and the electric energy storage study area is huge and comprehensive, with large technologies variety in capacity and timelines, suitable for each operation mode. This variety also results from the wide range of functions and applications for each case study, to get a higher service quality like: generation stability, increased transmission network efficiency and electricity supply security and reserve in contingency situation. One of the determining factors in successful rollout of storage solutions will be the players' level of understanding of the cost and functionality of the different technologies [11].

The most effective solution can reduce the energy waste and increase the energy sustainability, by improving the renewable energies power guarantee and making them more predictable, so, with greater integration in electric system dispatch.

Batteries can have different operation modes. In this work we will analyze the NaS (sodium sulfur) because they are suitable for applications with daily cycling. As the response time is in the range of milliseconds, NaS batteries meet the requirements for grid stabilization [11]. This technology could be very interesting for utilities and large consumers, according to their operation graphic information.

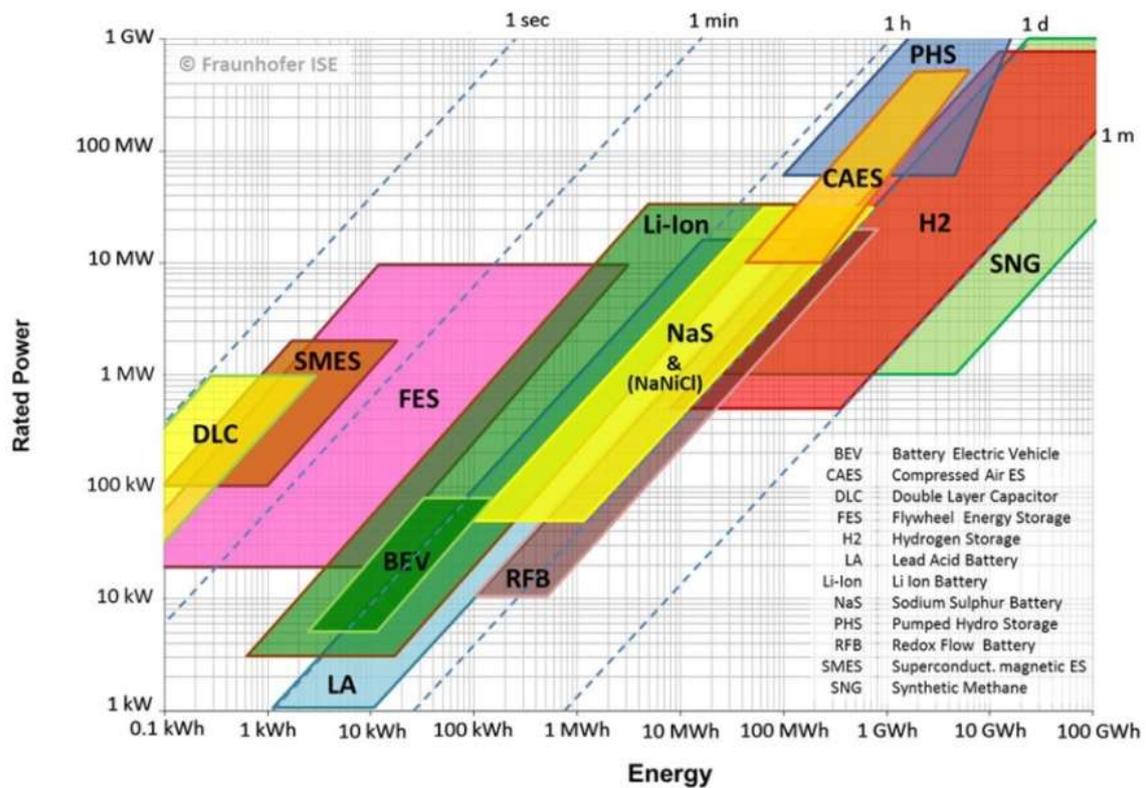


Fig. 1. Energy Storage Technologies – Comparison

### 3.1 Production curve leveling

Production curve leveling has the focus on making the production curve as stable as possible, so the output from the plant to the grid is predictable and delivers a better quality of service.

In Fig. 2 we can see the graphic description of that technology mode operation from NaS battery, with benefits to renewable energy integration and time shifting effect [12].

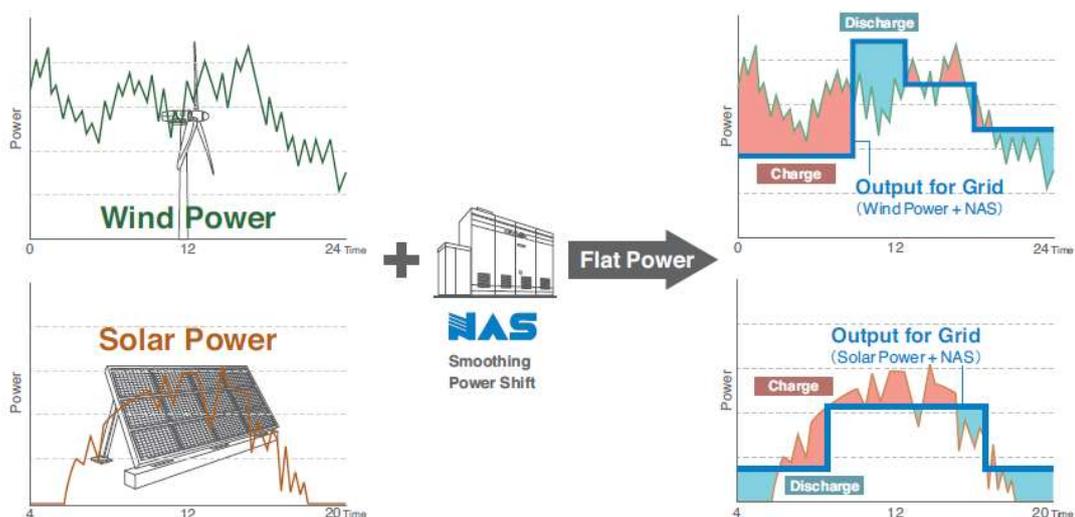


Fig. 2. Production curve leveling

### 3.2 Charge curve leveling

This technology aims to make the load value as flat as possible, so the power plants work on a stable maximum efficiency regime, decreasing energy consumptions with consequent CO2 emissions reductions. In Fig. 3 we can see how this system works.

### 3.3 Grid frequency leveling

In grid frequency leveling mode, ramp rate is the most important parameter, so batteries must have response times in millisecond time horizon, making up for inequalities between produced power and consumption, as seen in Fig. 4.

### 4. Energy Diagram Calculation Method

In this work the simulator was developed aiming the optimization of battery usage in energy system and renewable energy integration.

Batteries are characterized by their energy capacity (in watt-hour), the rated power (in watt) and charge/discharge efficiency (%). The power absorbed or provided by the battery is symmetrical whether it is absorbing (negative), or providing (positive).

In the operation scenarios were considered batteries of NaS with power between 5 MW and 100 MW and capacity between 2.5 MWh and 600 MWh.

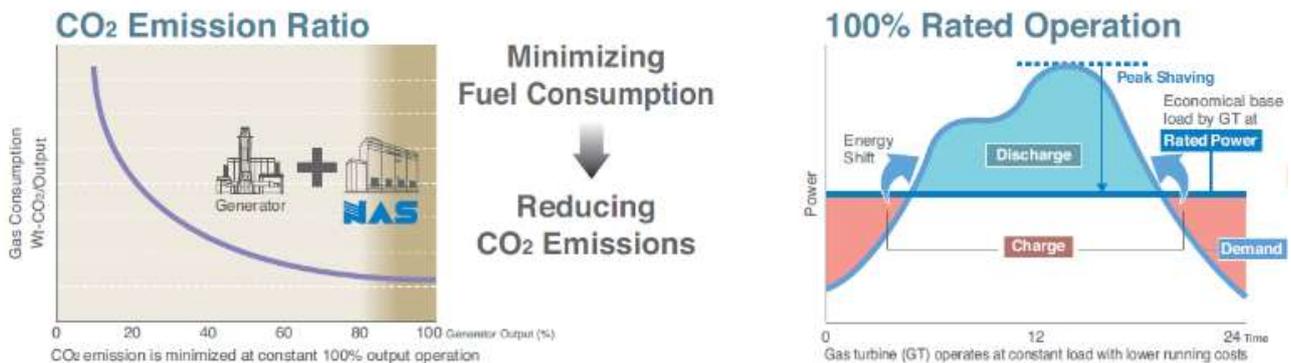


Fig. 3. Charge Curve Leveling

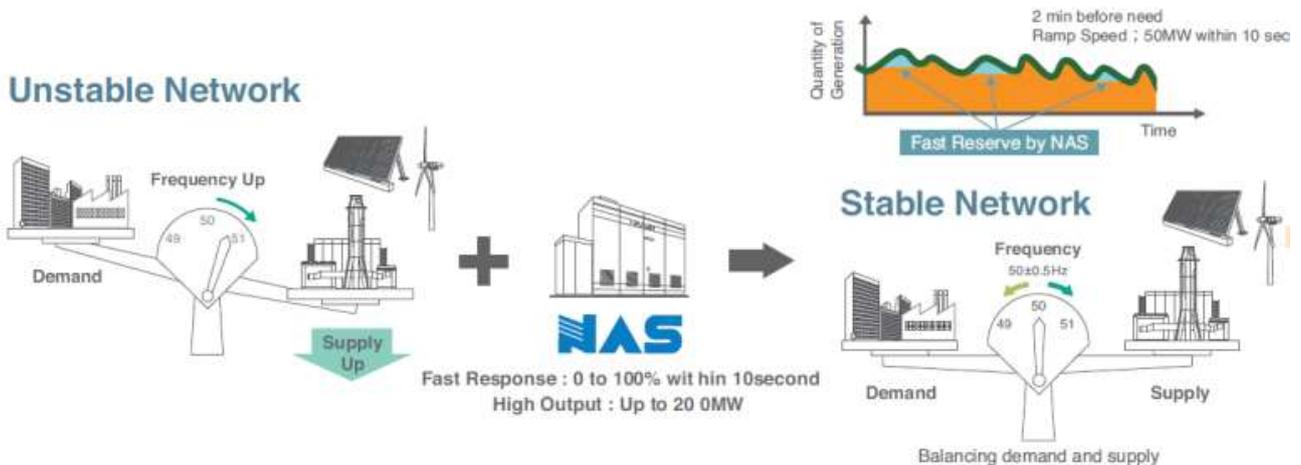


Fig. 4. Grid frequency leveling mode

In simulations the batteries constraints related to charge and discharge periods were not considered and only the restriction of minimum power produced for thermal plants was considered. Thermal power plants were grouped, including the solid waste thermal plant and the only restriction was the minimum power, equivalent to the minimum rotating reserve, considering the time horizon. Ramp rates were disregarded.

For battery operation, some assumptions were adopted to maximize wind resources and decreasing their wastes, according to next points presented.

#### 4.1 General power higher than consumption

Whenever the sum of generated power exceeds the power consumption:

- If there is still battery capacity to store the remaining energy, battery stores it all, respecting its rated power limit
- If the remaining energy capacity of the battery is not enough to store all the energy, the exceeding energy is accounted as surplus

In Fig. 5 is graphically represented the method of calculation of power and energy in the next minute for each producing technology, and also the power and energy absorbed by the battery, with the respective losses through the charging process.

The different colors in Fig. 5 mean different production technologies and their power values are: PE – wind, PS – solar, PH – hydro, PT – thermal, PC – consumed power.

#### 4.2 General power lower than consumption

Whenever the sum of the generated power is beneath the power consumption:

- If there is still energy stored in the battery, the battery provides the missing energy, respecting its rated power limit

- If the remaining energy in the battery is not enough to meet consumption, thermal power plants provide the missing energy

Fig. 6 represents graphically the method of calculation of power and energy in the next minute for each producing technology and also the power and energy provided by the battery, with the respective losses through the discharge process.

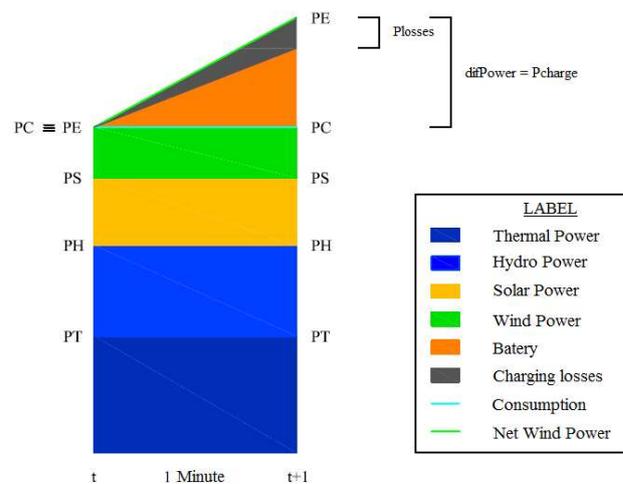


Fig. 5. Generated power higher than consumption

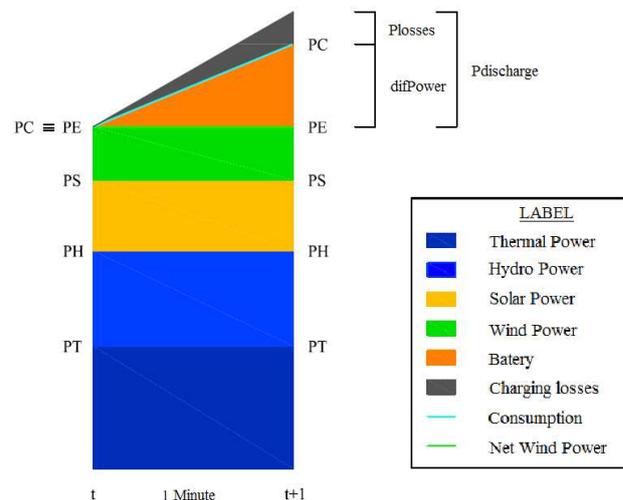


Fig. 6. Generated power lower than consumption

The power calculation process is based on the difference between power generation and consumption at every moment. For energy calculation we analyze the triangles and trapezoidal areas.

## 5. Power Dispatch Operation and Results

In this work a simulator was developed aiming to replicate the real island system. For a yearly load diagram, we simulate the usual Madeira grid operation and study the impact on the batteries introduction. All data was provided by EEM company [8], concerning the gross annual from all generation technologies, energy grid management and order criteria, with the minute as a time horizon. The method aimed the optimization of battery usage in energy system and renewable energy integration. The power calculation process is based on the difference between power generation and consumption at every moment.

All of the simulated scenarios relate to production values of the year 2012, one-year production diagram from Madeira power grid with the described network dispatching criteria.

The results are the technologies annual energy balance and

graphical representation of daily energy diagrams, as well as energy, and power balance in batteries.

### 5.1 Current Scenario with batteries

This scenario aims to reproduce the annual energy values from Madeira electrical grid with the aggregate production, colored areas correspond to energy production by power plant type.

Comparing results in Table 2 with values on Table 1, can be assessed that the simulation values, come close to real values.

In Fig. 7 we can see a specific present scenario, organized by three graphs: the first is the load diagram by generation technology (MW versus daily hours), the second is the batteries energy (kWh) and the third is the power battery (MW).

Table 2. Current Scenario results

Battery		Energy (GWh)										
Energy Capacity	Power	Thermal		Hydro	Solar	Wind			% Renewables	Battery		
		Produced	Reduction			Net Production	Absorbed by grid	% of Surplus		Charge	Discharge	Total Losses
Real Data		677.10	-	74.58	27.68	-	82.62	-	21	-	-	-
No Batteries (simulation)		681.03	-	74.15	24.41	94.38	82.55	12.54	21.02	-	-	-
10	5	680.52	0.50	74.15	24.41	94.38	83.09	11.96	21.08	0.62	0.62	0.15
	10	681.52	0.51	74.15	24.41	94.38	83.14	11.91	21.08	0.64	0.64	0.22
20	5	681.32	0.70	74.15	24.41	94.38	83.29	11.75	21.10	0.86	0.86	0.20
	10	681.27	0.75	74.15	24.41	94.38	83.41	11.62	21.12	0.95	0.95	0.29
30	5	680.11	0.92	74.15	24.41	94.38	83.58	11.44	21.14	1.15	1.15	0.33
	10	680.16	0.87	74.15	24.41	94.38	83.63	11.38	21.14	1.15	1.15	0.46

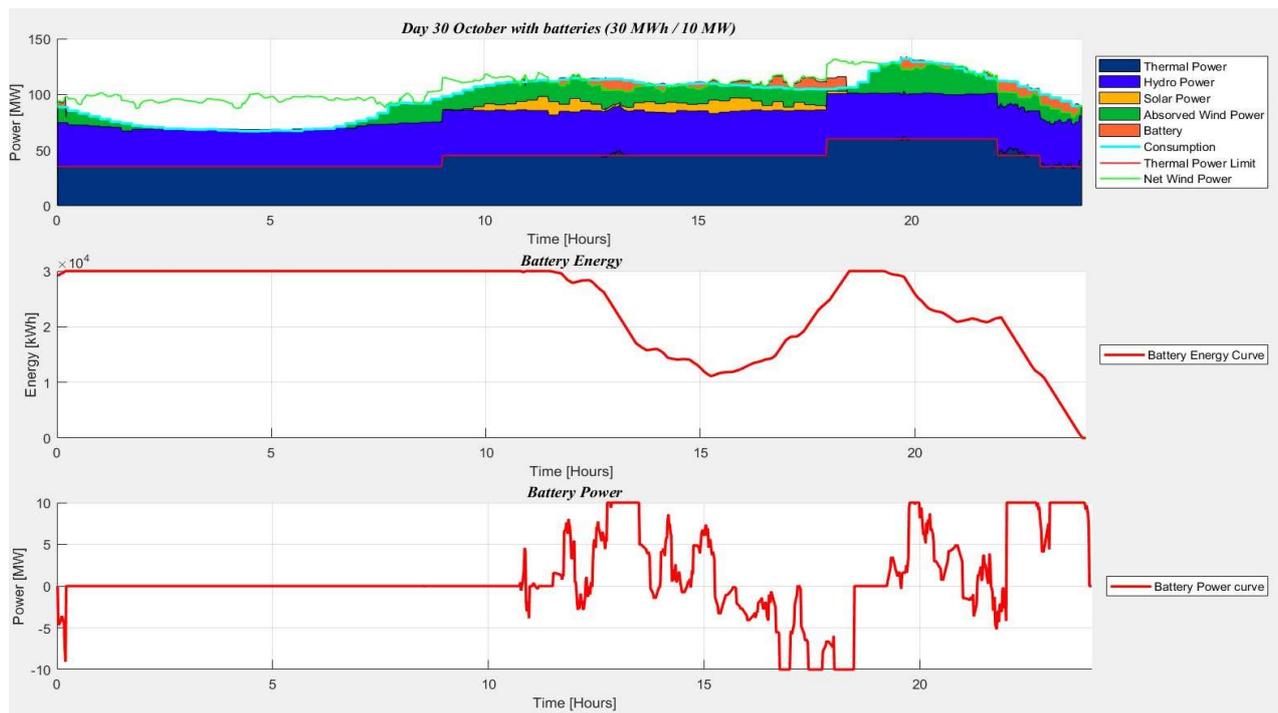


Fig. 7. Day 30th of October 30 MWh / 10 MW

## 5.2 Current Scenario with Re-dispatch

The re-dispatch scenario assumes that a battery with a rated power of 10MW, can replace a thermal group of equivalent power, allowing the base of the energy diagram to lower, without harming safety and grid stability.

As expected, lowering minimum thermal energy limits, allows for more absorption capacity of the grid of renewable energy, achieving a surplus of 2.02%, as well as a better reduction in thermal energy production. Although renewable energy surplus and thermal energy production decreases, the battery usage is lower and thermal production is more variable, which could result in worst efficiency.

Comparing the two presented scenarios the re-dispatching solution combined with the introduction of batteries can be an acceptable and technical feasible one, indicating that the inclusion of batteries may indeed play a critical role in increasing the capacity of engagement of wind, and in future the solar technology.

By improving grid management criteria and maximizing battery potential, we can get better results than without any grid management criteria alteration. In this situation renewable energy surplus goes down from 11.91% to 6.12%, almost doubled, whether as thermal energy production reduction goes up from 0.51 GWh to 6.34 GWh.

## 5.3 Scenarios analysis

For the different simulated scenarios, the best results were found for re-dispatch versus current scenario, where we can get reduction in thermal energy and an increase in wind energy injection. On the other hand, in case of re-dispatch, energy in battery is lower, indicating that battery influences will be lower on production smoothing, so greatest contribution to grid management order.

In wind increase scenarios, we can have higher wind energy injection and a consequent reduction in thermal, but that causes an increased wind power waste. For the increased consumed energy scenario, we get a higher wind energy injection as well as for thermal power plants.

In each case study, the best balance between power and capacity will be the best solution for achieving the renewable integration and the thermal generation stability.

This balance is doubly profitable because increases flexibility and range battery usage, thereafter, battery monetization is faster.

#### 5.4 Carbon Dioxide Emissions

In addition to the previous technical analysis carried out, we can estimate the avoided CO<sub>2</sub> emissions by using SimaPro. Emissions from thermal power plants are an issue of great concern nowadays, especially the ones related to greenhouse gas (GHG), that are responsible for climate change [13]. Low carbon energy systems are a goal to be achieved by European Union and solutions that avoid GHG emissions [14] are very important and valuable [15].

In this work in addition to the technical analysis carried out, the avoided carbon dioxide emissions were estimated. To evaluate these emissions, it was considered that the generating groups of the thermal power plants use natural gas, which will give the minimum avoided CO<sub>2</sub>eq emissions since that are groups that use oil.

Results in Table 3 show that the amount of CO<sub>2</sub> emissions avoided are higher for Re-Dispatch Scenarios, especially the scenario with a 7.5 MWh and 30 MW of rated power battery, which avoid roughly 3000 tons of CO<sub>2</sub>eq. This is an expected result since this last scenario presents the highest reduction in energy.

The analysis of the environmental impacts, including GHG emissions, due to the manufacture of batteries, consumption of auxiliary systems (e.g., battery management systems, ventilation and air conditioning of the buildings), etc., is out of the scope of this work.

## 6. Conclusions

The developed simulation tool shows real and reliable results with minimal error, so we can have confidence on the scenarios analysis. The tool looks to be reliable and accurate on the technical analysis of the batteries integration on network, in a way to increase wind energy injection and to decrease thermal output, a great combination to reduce greenhouse gases emission.

Table 3. Avoided CO<sub>2</sub>eq emissions

Simulation Scenario	MWh	MW	GWh	Avoided CO <sub>2</sub> eq Emissions (tons)
Present Scenario	No batteries		-	-
	10	5	0.50	132
	10	10	0.51	134
	20	5	0.70	184
	20	10	0.75	197
	30	10	0.92	242
	30	20	0.87	229
Re-Dispatch Scenario	No batteries		-	-
	10	10	6.34	1670
	20	10	6.52	1720
	30	10	6.67	1760
	30	20	10.14	2670
Present Scenario with high-energy batteries	No batteries		-	-
	120	20	1.67	440
	240	40	2.22	584
	480	80	2.93	771
	600	100	3.27	861
Re-Dispatch, low energy and high rated power batteries	No batteries		-	-
	2.5	10	6.15	1620
	5	20	9.82	2580
	7.5	30	11.65	3070

After all the simulation scenarios aiming to explore many combinations, we could accept that a solution with a short time battery and large rated power would be the most effective in reducing energy waste, allowing re-dispatch of thermal units and more clearance for renewable energy integration. However, this solution would require higher complexity battery control algorithm.

On the other hand, a solution with high capacity batteries and long term discharge (some hours) would be better for production stability, resulting an increased system efficiency. Finally, installing large-scale batteries in Madeira electrical grid can lead to great benefits, in addition to some already mentioned, the better service quality in grid stability in frequency and voltage.

## References

- [1] Faizur Rahman, Shafiqur Rehman, and Mohammed Abdul-Majeed, "Overview of energy storage systems for storing electricity from renewable energy sources in Saudi Arabia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 274-283, 2011.
- [2] Haisheng Chen et al., "Progress in electrical energy storage system: A critical review," *Progress in Natural Science*, vol. 19, pp. 291-312, 2009.
- [3] R. Sebastián and Peña Alzola, "Simulation of an isolated Wind Diesel System with battery energy storage," *Electric Power Systems Research*, vol. 81, no. 2, pp. 677-686, february 2011.
- [4] J. N. Baker and A. Collinson, "Electrical energy storage at the turn of the Millennium," *Power Engineering Journal*, vol. 6, pp. 107-12, 1999.
- [5] DTI, "Status of electrical energy storage systems," UK, DG/DTI/00050/00/00, URN Number 04/1878 2004.
- [6] H. Ibrahim, A. Ilinca, and J. Perron, "Energy storage systems - Characteristics and comparisons," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 5, pp. 1221-1250, 2008.
- [7] M. Amiryar and K. Pullen, "A Review of Flywheel Energy Storage System," *Applied Sciences*, 2017.
- [8] EEM. (N/Date) Parques Eólicos. [Online]. <http://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/parques-e%C3%B3licos>
- [9] Florinda Martins, Teresa Nogueira, and Mira Smitková, "Sustainable Energy in Europe: the Wind Contribution," in 6th International Scientific Conference, Renewable Energy Sources, Tatranské Matliare, Slovak Republic, 2016, p. paper 685.
- [10] Mário Rodrigues, Moacyr Brito, Teresa Nogueira, and Florinda Martins, "Modeling and Simulation of a Three-Phase Inverter to Inject Energy in Grid from Photovoltaic System," in 6th International Scientific Conference, Renewable Energy Sources, Tatranské Matliare, Slovak Republic, 2016, p. paper 650.
- [11] International Electrotechnical Commission, "Electrical Energy Storage - IEC White Paper," Geneva, Switzerland, 2012.
- [12] IRENA, "Battery Storage for Renewables Market Status and Technology Outlook," International Renewable Energy Agency, January 2015.
- [13] N. Odeh and T. Cockerill, "Life cycle GHG assessment of fossil fuel power plants with carbon capture and storage," *Energy Policy*, vol. 36, no. 1, pp. 367-380, 2008.
- [14] Sheng Li, Lin Gao, and Hongguang Jin, "Life cycle energy use and GHG emission assessment of coal-based SNG and power cogeneration technology in China," *Energy Conversion and Management*, vol. 112, pp. 91-100, 2016.
- [15] J Alic and D. Sarewitzb, "Rethinking innovation for decarbonizing energy systems," *Energy Research & Social Science*, vol. 21, pp. 212-221, 2016.

## MECHANICAL POWER REMOTE TRANSMISSION

### Abstract

*Remote transmission of mechanical energy would certainly be a dream two centuries ago. Nowadays we live with it and we may not even realize that we use mechanical energy wherever we want, but that it was actually produced hundreds, if not thousands of miles away. The transmission of mechanical energy from places where it is available to places where it is necessary, is nowadays achieved by means of machines that transform mechanical energy into electrical and electrical into mechanical energy. Electromagnetism plays a fundamental role in the conversion of energy and their understanding is important to have a complete mastery of the subject. The magnetic field that involves the operation of the electric machines can be originated in permanent magnets or can be created by coils. The approach to magnetism created by permanent magnets or coils is usually based on the observable effects and not on the atomic model explanation of these phenomena, using arguments associated with experimental observations, such as "equal poles repel" or "lines of magnetism are closed", without actually giving a physical interpretation. The purpose of this article is to explain the atomic processes associated with the remote transmission of mechanical energy related to magnetic and electrical phenomena, making clear and more transparent concepts such as magnetic poles, attraction / magnetic repulsion interaction, magnetic field, flow, induction, etc..*

### 1. Introduction

Electric machines - generators, motors and transformers - have their working principle based on magnetic processes.

The interaction between a variable magnetic field and a coil is a common form of electricity production called "magnetic induction" present in the generators.

With two coils of different number of turns, a different voltage can be obtained from the original one, characteristic that is produced using transformers. Lastly, from the interaction between two coils where electric currents circulate, it is possible to develop torques that spin the shafts of the motors.

Rotating machines may have coils installed either in the moving part, "rotor" or in the static part, "stator". It should be noted that in several machines, one of these coils can be replaced by permanent magnets, and similar results can be obtained although with limitations due to the materials used. In order to understand the operation of electric machines it is fundamental to correctly understand magnetism. It's magnetism that bears the interactions that determine their characteristics.

Since magnetism is invisible, its physical understanding is not obvious, although its effects can be easily observed or sensed, in a basic way, from the interaction of repulsion and attraction between two magnets. Thus it is simple to demonstrate the existence of forces between the created magnetic fields. Likewise, with the known experience of iron filings cast on a glass resting on a magnet, it is easy to demonstrate the formation of the imaginary "flow lines" because the filings are oriented in lines materializing the so called "flux lines". Thus, by observation, it is simple to accept this "hidden" science as an acquired fact, although in fact it has not been explained.

There are always some doubts, that is, some unexplained questions such as, for example, "why do two magnets have the ability to repel without even touching each other physically?" It seems to be a process of pure magic that challenges our senses and which has been used in the mythical world and the term "magnetism" is often associated with transcendental phenomena as well.

## 2. State of art

The concepts associated with electromagnetism are usually presented using the laws of physics transcribed into expressions that make the real phenomena difficult to understand in physical terms. Examples are the following statements: "The line integral of the tangential component of the magnetic field strength  $H$  along a closed contour  $C$  is equal to the total current passing through any surface  $S$  delimited by that contour" [1]; "The magnetic flux across a surface is defined as the surface integral of the normal component of the magnetic field vector,  $B$ " [2]; "The magnetic field strength,  $H$ , is a measure of the "effort" of the current in establishing a magnetic field" [3]; "The exact description of the magnetic field requires the use of Maxwell's equations and the knowledge of the relations between the induction  $B$  and the magnetic field strength  $H$ " [4]; Facing the force between electric currents in a cause-and-effect perspective, the current creates a magnetic field around it that exerts forces on other currents possibly existing in that region [5]; "We know from Maxwell's electromagnetic theory that magnetic poles occur in pairs."

As such, when a magnet is cut into pieces, each piece will have a pair of poles. Equal magnetic poles exert force on one another, so that they repel each other, while the North and South poles attract" [6];

In his book "Physics - Electromagnetism", Knight [7] presents, in a simple way, some findings for which satisfactory explanations have not yet been shown:

- a) "Magnetism is a force of action at a distance. Equal poles repel each other and opposing poles attract each other.

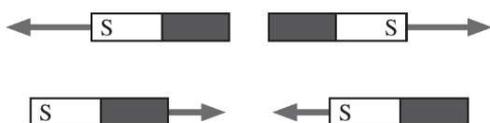


Fig. 1 - Attraction and repulsion of magnetic poles [7]

- b) "It is a strange phenomenon that, by cutting a magnet in half, we have two weaker, but complete magnets, each endowed with a North pole and a South pole. An isolated magnetic pole, like a North pole in the absence of a South pole, would be called a magnetic monopole. No one has ever seen a magnetic monopole. On the other hand, no one has yet provided a compelling reason why isolated magnetic monopoles cannot exist, and some subatomic particle theories predict that they should exist. Whether or not magnetic monopoles exist in nature remains an open question at one of the most fundamental levels of physics."

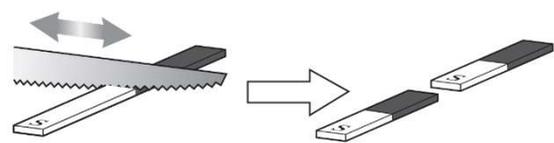


Fig. 2 - Cutting a magnet creates new dipoles [7]

- c) "It is not at all obvious that the magnetic forces caused by currents correspond to the same type of magnetism as those exerted by "magnets". Perhaps there are two different types of magnetic forces, one originating from currents, and another, from permanent magnets. These two distinct ways of producing magnetic effects are, in fact, only two different aspects of a single magnetic force."

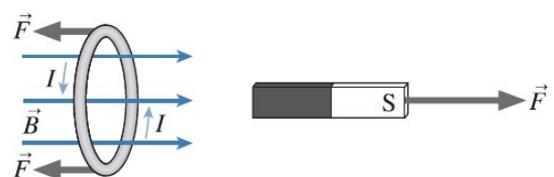


Fig. 3 - Similarity between magnetic field created by a coil and by a magnet [7]

- d) "There are several ways of describing the magnetic field through its properties:
- All current flowing on a wire creates a magnetic field at all points in the space around it.

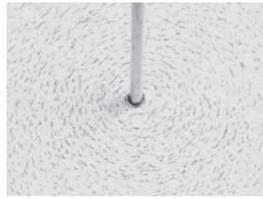


Fig. 4 - Magnetic field created by a conductor traversed by a current. [7]

- At each point in space, the magnetic field is a vector. It has both a module, which we call the magnetic field strength  $B$ , and an orientation.

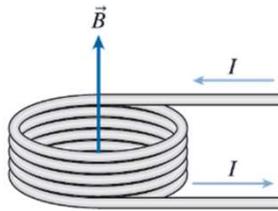


Fig. 5 - Magnetic field created by a coil driven by a current. [7]

- The magnetic field exerts forces on the magnetic poles. The force exerted on a North pole is parallel to vector  $B$ , and the force exerted on the South pole is opposite to vector  $B$ .
- Magnetic forces cause the compass needle to be aligned parallel to a magnetic field, with the North pole of the compass indicating the orientation of the magnetic field at that point.

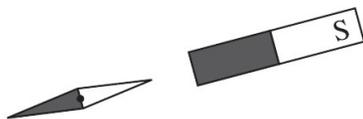


Fig. 6 - The needle of a compass aligns parallel to a magnetic field. [7]

- The magnetic field can be described through the use of magnetic field lines which are imaginary lines drawn in a region of the space so that the entire tangent to a field line is oriented in the direction of the magnetic field.

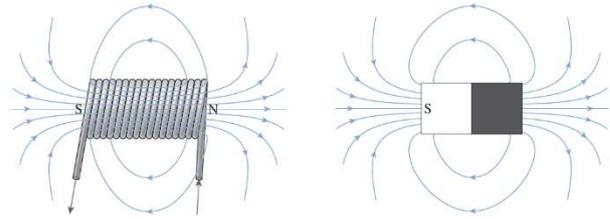


Fig. 7 - Magnetic field lines that are imaginary lines. [7]

- The magnetic field directly above the turns is opposite the field inside the turns. A coil acts as a grouping of chain turns."

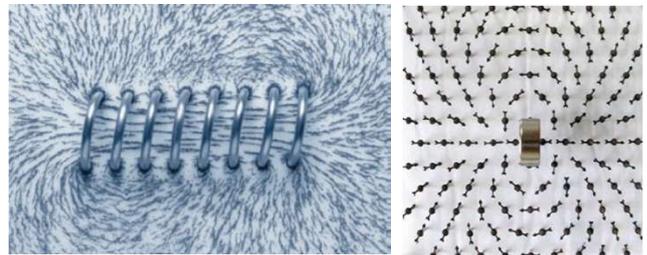


Fig. 8 - Magnetic field lines created by a coil [2] and by a magnet. [8]

- e) "A voltage is induced when there is a change in the amount of magnetic field through a coil (Faraday's law)."
- f) "The magnetic flux measures the amount of magnetic field that crosses a loop with a given area".

**3. Understanding at the atomic level the magnetic field and the magnetic poles**

"I feel it is a disillusion to think of the electrons and the fields as two physically different and independent entities. Since none of them can exist without the other, there is only one reality to be described, which has two different aspects; and theory should recognize this from the beginning instead of doing things twice." Albert Einstein [9].

The magnetism of solids is almost exclusively caused by the movement of electrons [10].

At the atomic scale, the intrinsic magnetic moments are associated with the spin of each electron and an additional contribution is associated with its orbital movement around the nucleus [11]. All magnetic fields are generated by circulating electric currents. [12]

The electric current (ordered movement of electrons) when circulating in the turns of a coil, Fig. 5, generates a magnetic field that has exactly the same characteristics of the magnetic field created by a permanent magnet.

Although we know that the electrons move in the opposite direction of the current, by reason of simplicity, in the following explanations it is assumed that the electrons have the same sense of current.

Since in a coil the circular motion of electrons creates a magnetic field identical to that created by a permanent magnet, Fig. 7, it leads us to admit that the electrons within a magnet may have equally circular orbitals in order to produce a similar effect.

Like a magnet, a coil has two poles, one having the designation North and another South. Thus looking at the end of a coil we could consider that the North pole of the coil would correspond to the side where the current circulates in the direction opposite to the one of the pointers of the clock and the South pole the opposite, Fig. 9.

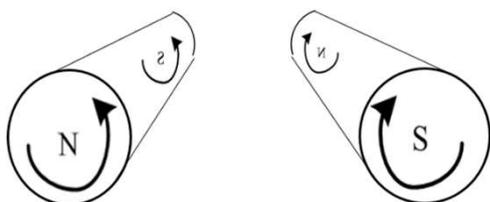


Fig. 9 - Poles and sense of the current in a coil.

Likewise, with the aid of a compass, we can identify the North pole of a magnet and also assume that on this side of the magnet the electrons move neatly in circular orbitals and counterclockwise, and from the opposite side the opposite happens.

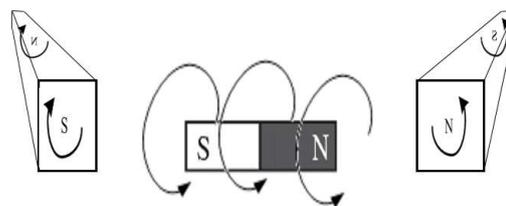


Fig. 10 - Direction of internal circulation of the electrons in a magnet.

In this way, the North and South pole designations of a magnet would be associated to the identification of the direction of internal circulation of the electrons. Thus, it is evident that when a magnet is split, two dipoles are created, since the direction of movement of the electrons does not change.

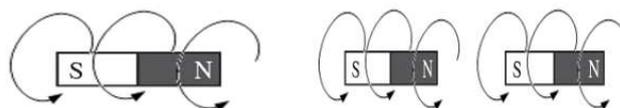


Fig. 11 - Cutting a magnet creates new dipoles.

In the same way, it is also evident that when dividing a coil in half, two dipoles are obtained. So, for example, if we divide a coil of 100 turns into two coils of 50 turns each, we get two dipoles, a similar phenomenon happens when a magnet is split in half.

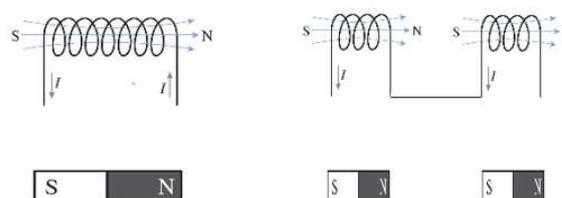


Fig. 12 - The split of a coil creates new dipoles and the same happens with magnets.

Now there is the question of why two equal poles repel each other and two different poles attract each other.

In the case of approaching different poles, the movement of the electrons in each magnet is circular and with the same direction, leading to believe that the trajectories of the

electrons under the influence of both magnets fit without collisions allowing the two magnets to approach. On the other hand, it is important to keep in mind that the electrons that rotate around the nucleus are strongly attracted to their nucleus, and the distance between them is maintained by the centrifugal forces that push the electrons (negative charges) of their protons (positive charges). It turns out that the effect of these centrifugal forces only gives effect to the withdrawal of the electrons from their nucleus.

When different polarities of two magnets approach, since the orbits of the electrons are circular and have equal directions in said magnets, these allow their approximation being the electrons of a given magnet strongly attracted by the protons of the other magnet. That is, there are forces of attraction between the different polarities of the magnets.

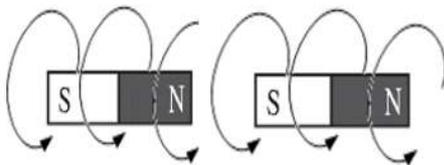


Fig. 13 - Different polarities of two magnets attract each other.

In the other situation of approaching equal poles of two magnets, the movement of the electrons in each magnet is circular, but with opposite directions, leading to believe that the electrons from both magnets suffer collisions between them, not allowing the two magnets to approach, that is to say, forces of repulsion emerge promoting the separation between them.

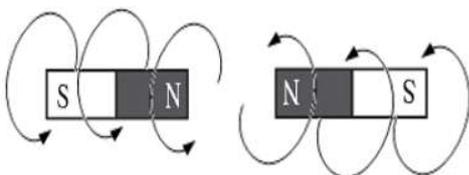


Fig. 14 - Equal polarities of two magnets repel each other

#### 4. Concepts of flux and reluctance of the magnetic circuit

If we feed a coil with a continuous voltage, it generates a current (of free electrons) that creates a circular movement of electrons. If we insert a piece of iron inside it, the electrons circulating in the coil interact with the iron electrons "meshing" their movements and create a joint circulatory movement that is usually associated with the concept of magnetic flux. It should be noted that at the ends of the iron core the air electrons which are "meshed" with the iron electrons apparently exert a braking effect causing the movement of the iron electrons to rotate in their circular orbitals at a slower speed than the electrons that circulate in the windings of the coil. That is, as is commonly said, the magnetic circuit is composed of two parts being one in iron and another in air with their respective magnetic reluctance. If the iron core has a closed longitudinal shape, the said locking effect does not exist and the velocity of the iron electrons accompany the velocity of the electrons of the electric current in the coil reaching a higher velocity which is usually referred to as an increase in magnetic flux. In this situation the magnetic circuit is composed only of iron having high magnetic permeability.

#### 5. Creation of Induced Electromotive Force

If a core of ferromagnetic material traverses two coils we can recreate the same effects that are present in a transformer. If one of the coils is fed with direct current, a circular movement of the electrons is created in its orbitals. In the second coil the electrons also have circular motion by entrainment through the "gear" with the iron core electrons; however, in this situation, no potential difference is formed between its terminals since the electron density is constant along the conductor of the second coil, although the orbits of its electrons have a circular motion. If the voltage in the first coil is variable, this will consequently create a variable current corresponding to the movement of electrons with accelerations and decelerations.

These electrons that circulate in the first coil with variable velocities in their circular movements will transmit to the electrons of the ferromagnetic nucleus these movements. On the other hand, the electrons of the second coil will also rotate in their orbitals driven by the impacts of the core electrons, with acceleration and deceleration forces being exerted on them in order to also vary their speed. A particle suffers accelerations or decelerations when forces are exerted on it. These forces exerted on the electrons of the second coil are capable of deflecting them from their orbitals by dragging them to one end of the conductor which ends up being left with excess electrons, thereby creating a potential difference between the two ends of the coil. This potential difference is usually called "induced electromotive force" and is represented by Faraday's law. In short, we can say that an alternating voltage that feeds a coil coupled to another in the same magnetic circuit produces at the second coil a voltage through the effect of a magnetic "gear".

In a given coil, from the application of a voltage variation, results a corresponding variation in the electric current. It turns out that this current variation is delayed in relation to the voltage variation applied to the coil. This is due to the fact that the current of the coil, ie the movement of the electrons, is "meshed" with the movement of the electrons of the magnetic core which gives it a delay of response, due to the inertia that must be overcome to change the speed of millions of electrons that are synchronized with the electrons of the electric current in the coil.

## 6. Mechanical power remote transmission

A variable magnetic field applied to a coil ("A" of Fig. 15) electrically connected to another coil ("a" of Fig. 15), produces in the last coil ("a") a magnetic field synchronized with the first one ("A"). As a complete setup, consider a magnet ("x" of Fig. 15) to rotate inside three coils ("A", "B" and "C", 120 degree phase shifted) that are electrically connected to three other coils ("a", "b" and "c", 120 degree phase shifted) in the center of which there is a compass needle.

The compass needle will rotate in parallel with the magnet because the two magnetic fields are "meshed" by the movement of the electrons in the coils and in the transmission conductors. It should be noted that the compass needle, "y", can be replaced by a magnet, given that it has the same magnetic characteristics, obtaining the equivalent of a "synchronous motor" whose rotor rotates in synchronism with the generator rotor.

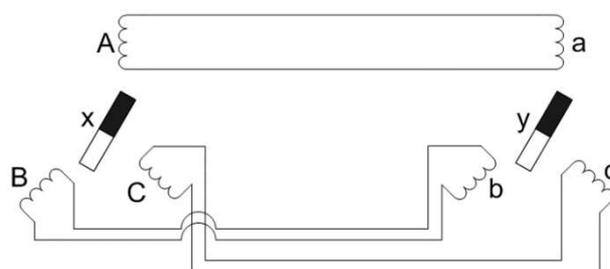


Fig. 15 - The needle of the compass, y, rotates synchronously with movement of the magnet, x

What has just been shown is nothing more than a small-scale representation of what happens in the electricity grid of a country where the mechanical energy of the primary sources is converted into electricity (electron movement) and is subsequently transformed into mechanical energy by the motors or in others types of energy. In this way it can be concluded that the mechanical energy available in a given place is transported by "gear" of the electrons to other geographic locations.

## 7. Conclusion

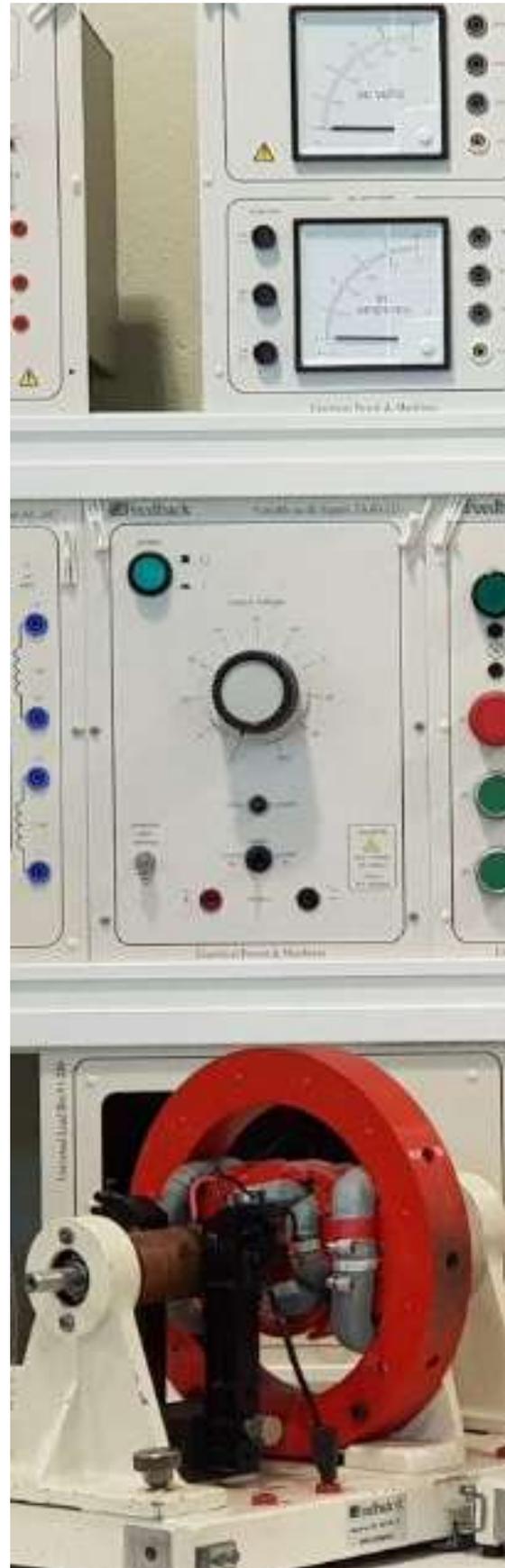
Starting from the understanding of a magnetic field created by a current of electrons when it crosses a coil, the concept of North and South magnetic poles was approached; as the permanent magnets have magnetic properties similar to the association of magnetism with the circular movement of the electrons, it was possible to understand why two dipoles arise when a magnet is split in half and also the existence of forces of attraction between different poles and repulsion between equal poles.

The concepts of reluctance, magnetic flux and induced electromotive force creation were explained. The phenomena of energy transmission between two coils through the magnetic field were exposed and it was also shown how it is possible to transmit mechanical energy through the electric current, mechanically driving the shaft of a generator and receiving back the mechanical energy in the shaft of an electrically connected motor.

In terms of conclusion, we dealt with a phenomena with which we live daily, but whose explanation has been supported by laws of classical physics that can model them through their effects, although without explaining the electrons behavior in a simple and transparent way as they exist in nature.

### References

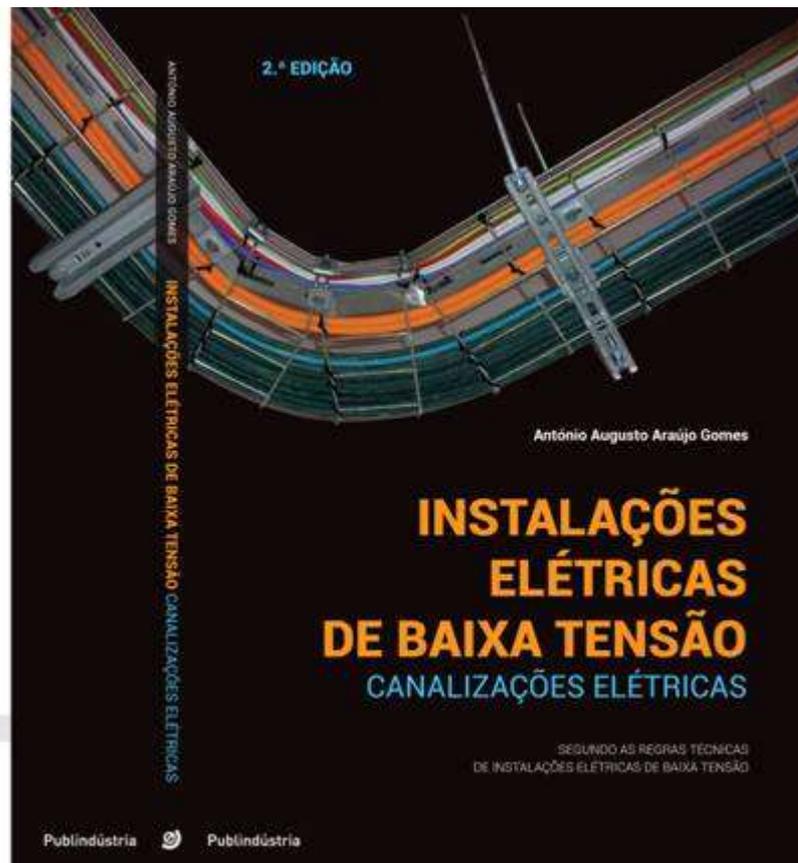
- [1] Fitzgerald, A. K., Jr. Umans, S.D., Máquinas Eléctricas, AMGH Editora, 2014.
- [2] Toro, V. D., Fundamentos de Máquinas Eléctricas, Guanabara, 1994.
- [3] Chapman, S. J., Electric Machinery Fundamentals, McGraw-Hill, 2012.
- [4] Mora, J. F., Máquinas eléctricas, McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2008.
- [5] Meireles, V. C., Circuitos Elétricos, Lidel, 2009..
- [6] Stefanita, C. G., Magnetism, Basics and Applications, Springer, 2012.
- [7] Knight, R. D., Física: uma abordagem estratégica, Eletricidade e Magnetismo, Bookman, 2009.
- [8] Benelli, C., Gatteschi, D., Introduction to Molecular Magnetism: From Transition Metals to Lanthanides, Wiley, 2015.
- [9] Mead, C., Collective Electrodynamics: Quantum Foundations of Electromagnetism, MIT Press, 2002.
- [10] Skomski, R., Simple Models of Magnetism, OUP Oxford, 2012
- [11] Coey, J. M. D., Magnetism and Magnetic Materials, Cambridge University Press, 2010.
- [12] Fitzpatrick, R., Maxwell's Equations and the Principles of Electromagnetism, Jones & Bartlett Learning, 2008.



**Título:** Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Canalizações Elétricas  
**Autor:** António Augusto Araújo Gomes  
**Editora:** Publindústria  
**Data de Edição:** 2015  
**ISBN:** 9789897230752  
**Nº Páginas:** 151  
**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 as 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.



**DESENVOLVIMENTO DO ARS SIMULATOR.****SELEÇÃO DE COMERCIALIZADORES DE ENERGIA.****Abstract**

*Abstract—This paper is a synthesis of the development of energy contracting simulator in Portugal "ARS Simulator". The simulator compares the prices of the energy traders and indicates to consumers the best option to contract energy. To make the comparison, the simulator uses trader's data (energy prices) and the consumer's data (energy bill, three-phase or single-phase power supply and equipment's), to estimate its consumption and finally determine which trader will be the best choice.*

**Keywords**—energy market; power contracting; simulator.

**I. INTRODUÇÃO**

O consumo de energia elétrica é um fator essencial e que tende a aumentar ainda mais no futuro. A ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) em Portugal vem contribuindo na regulação independente do setor energético no país. Desta forma, tal setor passou por profundas modificações e, novamente, passa por uma mudança estrutural que implica em mudanças diretas para os agentes do setor [1]. Observando pela ótica do consumidor, cada comercializador possui especificidades nas opções de compra de energia elétrica, o que dificulta a decisão do mesmo em determinar o melhor comercializador.

Neste sentido, este trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie determinado consumidor, que possua potência contratada de até 20,7 kVA em baixa tensão, no processo de escolha do melhor comercializador entre 8 opções, para realizar contratação do serviço de fornecimento de energia elétrica. A usabilidade da ferramenta é voltada à obtenção de comparativos financeiros entre diferentes comercializadores, cada qual com características específicas, como preço da tarifa, períodos de fornecimento e forma de faturamento.

**II. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SIMULADOR**

Em Portugal, desde 1994, a evolução do consumo de energia elétrica tem uma tendência crescente, sendo que mais de metade da eletricidade é consumida por clientes domésticos e por não domésticos (clientes que compram gás natural ou energia elétrica para uso profissional ou comercial), como apresentado em [2]. O gráfico apresentado na Figura 1 ilustra as proporções de consumo de energia elétrica em Portugal.

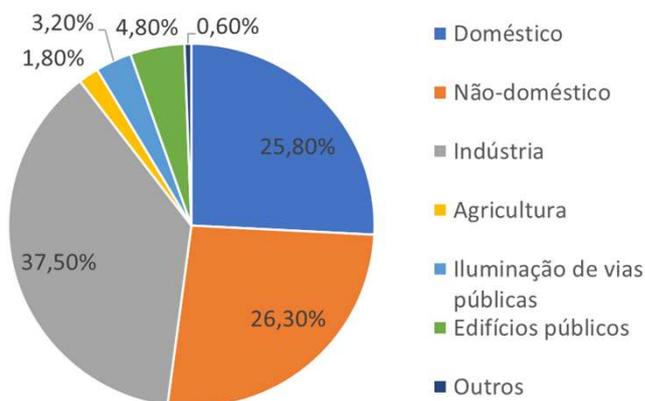


Fig. 1. Distribuição percentual de consumo de energia elétrica por tipo de consumo [2]

Com a extinção de tarifas reguladas de venda a clientes finais para os consumidores domésticos, conduziu-se a uma transformação importante nos mercados de gás natural e eletricidade, culminando no benefício de consumidores – em particular no segmento doméstico [1]. Sendo assim, um simulador voltado a tal segmento se faz relevante.

Para realizar o desenvolvimento do simulador, algumas premissas foram adotadas. Cada critério é conceituado a seguir.

**A. Usabilidade**

A ferramenta tem como público-alvo os usuários,

predominantemente residenciais, com potência instalada de até 20,7 kVA. Desta forma, o simulador apresenta fácil compreensão e estrutura intuitiva.

#### B. Portabilidade

O ambiente de desenvolvimento definido para a criação do simulador é o software Microsoft Excel, sendo a programação implementada em linguagem Visual Basic for Applications (VBA) [3][4].

### III. ESTRUTURAÇÃO LÓGICA

Em síntese, a estruturação lógica do código-fonte do ARS Simulator foi dividida em três estruturas distintas. São elas: módulo principal, formulários e bancos de dados

O módulo principal, identificado como “Módulo 1”, é a estrutura backend da aplicação e é responsável pela declaração de variáveis utilizadas na simulação de maneira geral. Além disto, as funções necessárias para o funcionamento do ARS Simulator também são declaradas neste objeto. Cada função tem um papel específico na simulação. A Tabela I apresenta uma descrição sucinta de cada função.

TABELA I. TABELA DE FUNÇÕES DECLARADAS NO MÓDULO PRINCIPAL DO ARS SIMULATOR

Funções implementadas no ARS Simulator	
Identificação	Descrição
Energia()	Calcula estimativas de potência e energia com base nas informações de eletrodomésticos e horas de consumo de energia inseridas pelo usuário.
ini()	Inicializa variáveis para captação de informações pessoais do usuário.
Iniciaruserform2()	Prepara campos do formulário UserForm2.
DB()	Consulta informações de comercializadoras do banco de dados com base nas variáveis globais.
Iniciar()	Inicializa a tela inicial do simulador.
Ini_UserForm2()	Mostra o formulário "UserForm2".
Simples()	Carrega valores de tarifa de energia e potência para a modalidade Simples do banco de valor.
Bihoraria()	Carrega valores de tarifa de energia e potência para a modalidade Bi-horária do banco de valor.
Tarifa_Simples()	Calcula e compara o valor da fatura da modalidade Simples na faixa de potência a ser contratada para todas as comercializadoras e indica a mais vantajosa.
Tarifa_Bihoraria()	Calcula e compara o valor da fatura da modalidade Bi-horária na faixa de potência a ser contratada para todas as comercializadoras e indica a mais vantajosa.
Relatorio()	Gera um relatório final com base em todas as informações simuladas.

Os formulários são as estruturas responsáveis pela obtenção de informações fornecidas pelo usuário e pela chamada de rotinas lógicas pré-estabelecidas, além de aplicar verificações lógicas para conferência de informações inseridas pelo usuário. Ou seja, quando o usuário pressiona determinado botão, há um processo lógico indexado a tal botão que está descrito em determinado formulário. Quatro destas estruturas foram necessárias. A primeira, identificada como “UserForm1”, é responsável pela coleta de informações que identificam o usuário. O formulário “UserForm2” é acionado caso o usuário não disponha de informações necessárias para simulação de forma direta. Nesta situação, tal formulário tem por objetivo obter informações de consumo que possibilitem obter estimativas aceitáveis de demandas de potência e energia elétrica. No caso em que o usuário tenha as informações de técnicas descritas na fatura de energia, a estrutura “UserForm4” é acionada para que o usuário insira tais informações de forma mais direta no simulador. A estrutura “UserForm3” apresenta as informações contextualizadas geradas a partir da simulação e disponibiliza ao usuário a opção de salvar um relatório completo em formato “pdf”.

O banco de dados do ARS Simulator é de formato relacional, ou seja, estruturado essencialmente através de colunas, registros e chaves relacionais para que haja contextualização dos dados [5].

Os dados considerados foram de potência contratada (kVA), tipo de fatura (débito direto, papel ou débito direto e fatura eletrônica), comercializadora (EDP Comercial, Energia Simples, Alfa Energia, EDP Universal, Iberdrola, Endesa, Galp Energia ou Gold Energy) e custos por potência (€/dia) e por energia (€/kWh) para Tarifa Simples e Bi-horária para cada comercializadora.

Além disto, uma tabela com valores de referências de potência para os equipamentos utilizados na simulação.

#### IV. ESTRUTURAÇÃO GRÁFICA

O ARS Simulator possui, essencialmente, cinco telas. São elas: tela inicial; tela para definição da forma obtenção de dados; tela para inserção de dados a partir da fatura de energia; tela para inserção de dados a partir de estimativas de consumo de aparelhos e a tela final com o relatório.

Há uma sequência hierárquica de acesso que é ilustrada na Fig. 2.

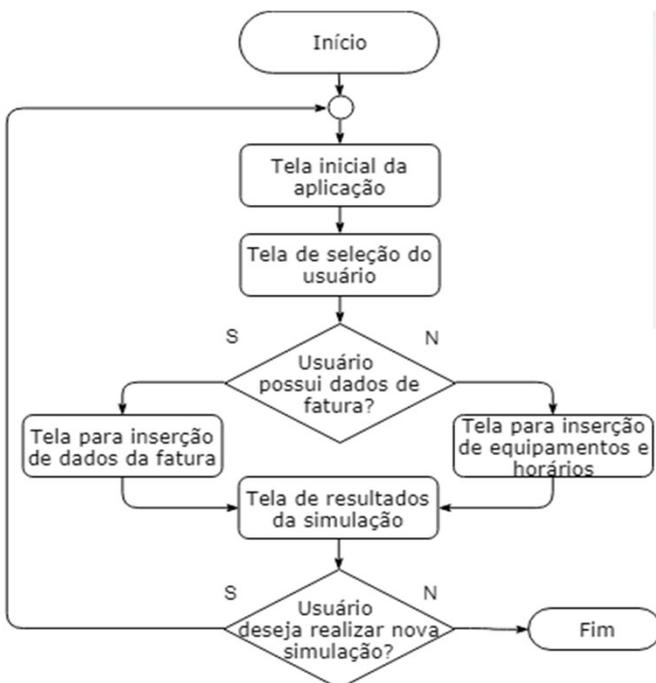


Fig. 2. Sequência hierárquica para acesso às telas do ARS Simulator.

A tela inicial tem por objetivo, trazer informações gerais do funcionamento da ferramenta ao usuário. Apresenta tais informações de forma simples e objetiva.

A Figura 3 a seguir apresenta o layout da tela inicial da aplicação.



Fig. 3. Tela inicial do ARS Simulator.

A tela de seleção do usuário é caracterizada pela inserção das informações pessoais do usuário e é realizada a indicação de qual tela será apresentada na sequência (dependendo se o *checkbox* indicar que os dados de fatura estão disponíveis).

A Figura 4 apresenta o layout da tela de seleção do usuário.



Fig. 4. Tela de seleção do usuário do ARS Simulator

Caso o *checkbox* indique que o usuário possui fatura, a tela para inserção de dados da fatura é apresentada de forma que as informações de potência, energia e se a forma de alimentação é trifásica ou não, podem ser inseridas de forma direta.

A Figura 5 apresenta o layout da tela para inserção de dados da fatura.

Fig. 5. Tela para inserção de dados da fatura do ARS Simulator.

Por outro lado, caso o *checkbox* indicar que o usuário não possui fatura, a tela para inserção de equipamentos e horários é apresentada para que o mesmo possa inserir quais equipamentos possui na residência e seus períodos de uso, em horas, no vazio e fora vazio, assim como os tipos de tarifa e fatura.

A Figura 6 apresenta o layout da tela para inserção de equipamentos e horários.

Fig. 6. Tela para inserção de equipamentos e horários do ARS Simulator.

A tela de resultados da simulação tem por objetivo apresentar uma síntese das análises e estimativas realizadas pelo ARS Simulator. Além disto, disponibiliza ao usuário a opção de gerar um relatório completo da simulação em formato “pdf” através do acionamento do botão “Gerar Relatório em PDF”.

A Figura 7 apresenta o layout da tela de resultados da simulação.

Fig. 7. Tela de resultados da simulação do ARS Simulator.

Todas as telas possuem verificações no preenchimento das informações necessárias, com exceção da tela inicial, onde alguns campos não são obrigatórios. Caso ocorra alguma inconsistência, uma mensagem de erro é apresentada ao usuário.

## V. ESTUDO DE CASO

Para fazer uma análise mais aprofundada do desempenho do simulador, analisam-se dois casos.

No primeiro caso é feita a suposição que o usuário não possui fatura de energia, logo ele deve inserir os equipamentos elétricos presentes em sua residência e suas horas de uso.

No segundo caso é analisado um consumidor que já possui fatura de energia, assim, ele deve inserir a potência contratada e a energia mensal consumida.

### A. Caso 1

No Caso 1 o consumidor deve entrar com os dados dos equipamentos presentes em sua residência, bem como as horas de uso no horário vazio e fora vazio.

Os dados analisados podem ser vistos na Tabela II.

TABELA II. Aparelhos utilizados na simulação do caso 1

Aparelho	Unidades	Horas vazio	Horas fora vazio
Frigorífico	1	12	12
Micro-ondas	1	1	1
Ferro de passar	1	1	0
Máquina de Lavar	1	1	1
Secadora	1	1	1
Televisor (sala)	1	4	2
Iluminação	10	2	5
Aquecedores	3	6	1
Aspirador	1	1	0
Carregador	1	4	4
Televisor (quarto)	1	4	2
Computador	1	2	0

Para a simulação do valor final da fatura o usuário ainda deve selecionar a modalidade tarifária e o tipo de fatura desejada. Nesse caso, opta-se pela Tarifa Simples e Fatura Eletrónica e Débito Direto.

O simulador recomenda a contratação de uma demanda de 10,35 kVA, indicando também alteração da tarifa simples para tarifa bi-horária. Assim, sugere-se a contratação de uma fatura de 227,24 €/mês com a comercializadora Endesa.

É importante destacar que, caso esse consumidor optasse pela modalidade simples, a fatura estimada seria de 328,23 €/mês com a comercializadora Alfa Energia. Sendo assim, o simulador fornece uma economia de 100,99 €/mês para o consumidor.

#### B. Caso 2

Nesse caso indicou-se alimentação trifásica, o que restringe a contratação de potência para valores maiores ou iguais a 10,35 kVA.

Assim, utiliza-se uma potência contratada de 13,8 kVA, energia consumida no horário vazio de 1000 kWh e energia consumida no horário fora vazio de 600 kWh. A modalidade tarifária do usuário é “bi horária” e o tipo de fatura é “Fatura em Papel”.

Para esse caso o simulador recomenda manter a tarifa bi horária com fatura estimada de 216,56 €/mês com a

comercializadora Endesa, gerando uma economia de 61,47 €/mês caso optasse pela tarifa simples da comercializadora Alfa Energia.

O relatório gerado ao final da simulação é estruturado em cinco tópicos: dados do cliente; dados de consumo; dados do relatório; variação da Tarifa Simples para a potência contratada e a variação da Tarifa Bi-horária para a potência contratada.

A parte reservada para dados do cliente tem por finalidade a contextualização e identificação da simulação realizada. São apresentadas informações como nome, sobrenome, endereço e formas de contato do consumidor relacionado à simulação. Já no ponto referido aos dados de consumo, são descritas as características de consumo de energia e demanda de potência elétrica, além de sugestões de tarifa e comercializadora.

Tanto na parte de variação da Tarifa Simples quanto na parte de variação da Tarifa Bi-horária, são apresentadas informações das comercializadoras que foram consideradas na simulação para faixa de potência a ser contratada.

Relatório de Contratação de Energia			
<b>Dados do Cliente</b>			
Nome:	João	Apelido:	Silva
Telefone:	984 123 456	e-mail:	joaosilva@email.com
Endereço:	Rua Dr. Antônio Bernardino de Almeida		
Número:	431	Cód. Postal:	4200-072
Cidade:	Porto	País:	Portugal
NIF:	345824521	Data Nascim:	23/11/1990
<b>Dados de Consumo</b>			
Demanda a ser Contratada:	6.9 kVA	Tarifa Atual:	Tarifa Bi-Horária
Energia Vazio:	100 kWh	Tarifa Recomendada:	Tarifa Bi-Horária
Energia Fora do Vazio:	100 kWh	Fatura Estimada:	37.1 €/mês
Energia Total:	200 kWh	Comercializadora:	Endesa
Tipo de Fatura:	Fatura em Papel	Alim. Trifásica:	Não
<b>Dados do Relatório</b>			
<b>Tarifa Simples</b>		<b>Tarifa Bi-Horária</b>	
Comercializadora:	Gold Energy	Comercializadora:	Endesa
Tarifa Fixa:	0.2884 €/dia	Tarifa Fixa:	0.333 €/dia
Preço da Energia:	0.165 €/kWh	Preço da Energia Vazio:	0.086 €/kWh
Fatura Estimada:	41.65 €/mês	Preço da Energia Fora do Vazio:	0.185 €/kWh
		Fatura Estimada:	37.1 €/mês

Fig. 8. Tópicos 1, 2 e 3 (dados do cliente, do consumo e do relatório).

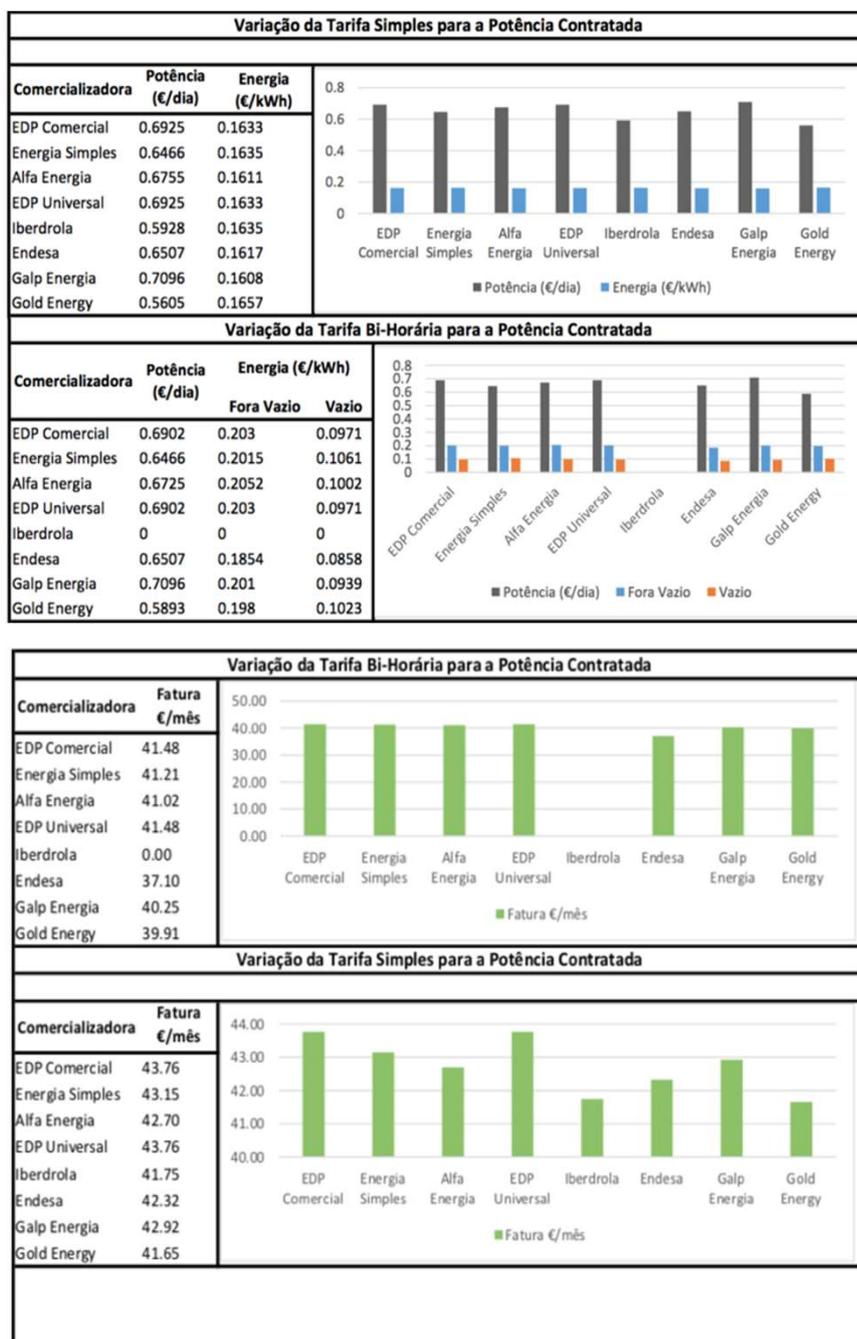


Fig. 9. Tópicos 4 e 5 do relatório

## VI. CONCLUSÃO

Diante do exposto é possível notar que o simulador é de fácil uso e interpretação, podendo ser utilizado por usuários não especializados no assunto. O simulador entrega os resultados de forma simples e funcional, para que o usuário não tenha dúvida na hora de contratar sua energia, também é gerado um relatório com informações completas realizando a comparação entre as comercializadoras.

Por ser desenvolvido em Visual Basic for Applications (VBA) no Excel o simulador pode ser utilizado por uma gama de usuários, sem necessidade de instalação de softwares adicionais para sua utilização.

## REFERÊNCIAS

- [1] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, "A Regulação da Energia em Portugal", [online], 2016, Available: [http://www.erse.pt/pt/imprensa/noticias/2016/Documents/livro\\_digital.pdf](http://www.erse.pt/pt/imprensa/noticias/2016/Documents/livro_digital.pdf).
- [2] J. P. Marques, "Análise do Consumo de Energia Elétrica numa Habitação", ISEP Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores – Automação e Sistemas, 2016.
- [3] Microsoft, "Excel VBA reference", [online], 2017, Available: <https://msdn.microsoft.com/en-us/vba/vba-excel>.
- [4] ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, "Visual Basic - Sebenta Teórica", [online], 2001, Available: <http://www.dei.isep.ipp.pt/~nfrfire/SebTeoVB.pdf>.
- [5] Microsoft, "Orientação sobre o uso dos bancos de dados relacionais do Microsoft SQL", [online], 2017, Available: <https://docs.microsoft.com/pt-br/sql/relational-databases/database-features>.

## ITCALC

## DESENHO E CÁLCULO DE INFRAESTRUTURAS DE TELECOMUNICAÇÕES

## 1. Introdução

No início desta década a TELEVÉS lançou o Software para cálculo de redes ITED (Prescrições e especificações técnicas das Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios) e ITUR (Prescrições e especificações técnicas das infraestruturas de telecomunicações em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios), o CAST 60 (conforme figura 1), programa vocacionado para o auxílio ao cálculo de instalações de comunicações eletrónicas, que permitia criar redes de: ITED 2Edição, SMATV (Satellite Master Antenna Television) e CATV (Cable Television, ou Community Antenna Television).

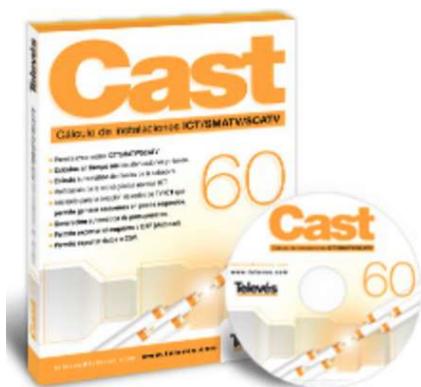


Figura 1. Software de dimensionamento de redes em cabo coaxial CAST 60 – TELEVÉS

Este software deu resposta às novas exigências introduzidas em 2009 pelo Manual ITED 2 ajudando, assim, projetista e técnicos responsáveis ITED/ITUR a encontrarem soluções tecnicamente evoluídas e economicamente viáveis.

## 2. iTCalc

A mudança legislativa introduzida neste setor em 2013 justificou o aparecimento de uma 3.ª edição do Manual ITED, resultado natural da maturação do regime técnico e respondendo a uma necessidade de atualização (dando

# iTCalc

Desenho e Cálculo de Infra-estructuras de Telecomunicações

especial foco aos edifícios a reabilitar), bem como pela 2ª edição do Manual ITUR que resultou, naturalmente, das alterações introduzidas na 3ª Edição do Manual ITED, mas também, da evolução normal normativa europeia, que consequentemente levaram à necessidade de adaptação das regras técnicas aplicáveis a este setor.

Neste âmbito, foi recentemente lançado o novo programa iTCalc. Esta aplicação foi desenvolvida pela CYPE com assessoramento técnico e supervisão da TELEVÉS, em virtude do acordo entre ambas as entidades.

Este programa é um software de desenho, cálculo e orçamentação de redes de telecomunicações, sendo a ferramenta ideal para projetistas e técnicos responsáveis ITED (3ª edição) e ITUR (2ª edição).

O software dispõe de ferramentas necessárias para realizar projetos de redes de cabos coaxiais, redes de fibra ótica, redes híbridas de fibra-coaxial (HFC), redes de pares de cobre, composição de bastidores e cabeças de rede, assim como a possibilidade de dispor as tomadas de telecomunicações sobre as plantas verificando, de forma automática, o cumprimento das especificações técnicas vertidas nos respetivos regulamentos de Telecomunicações ITED e ITUR, conforme ilustra a tabela 1.

Tabela 1. Âmbito de aplicação do software iTCalc

País	Tipo de instalação	Norma
	Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios (ITED)	Manual ITED 3.ª edição
	Infraestruturas de telecomunicações em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios (ITUR)	Manual ITUR 2.ª edição

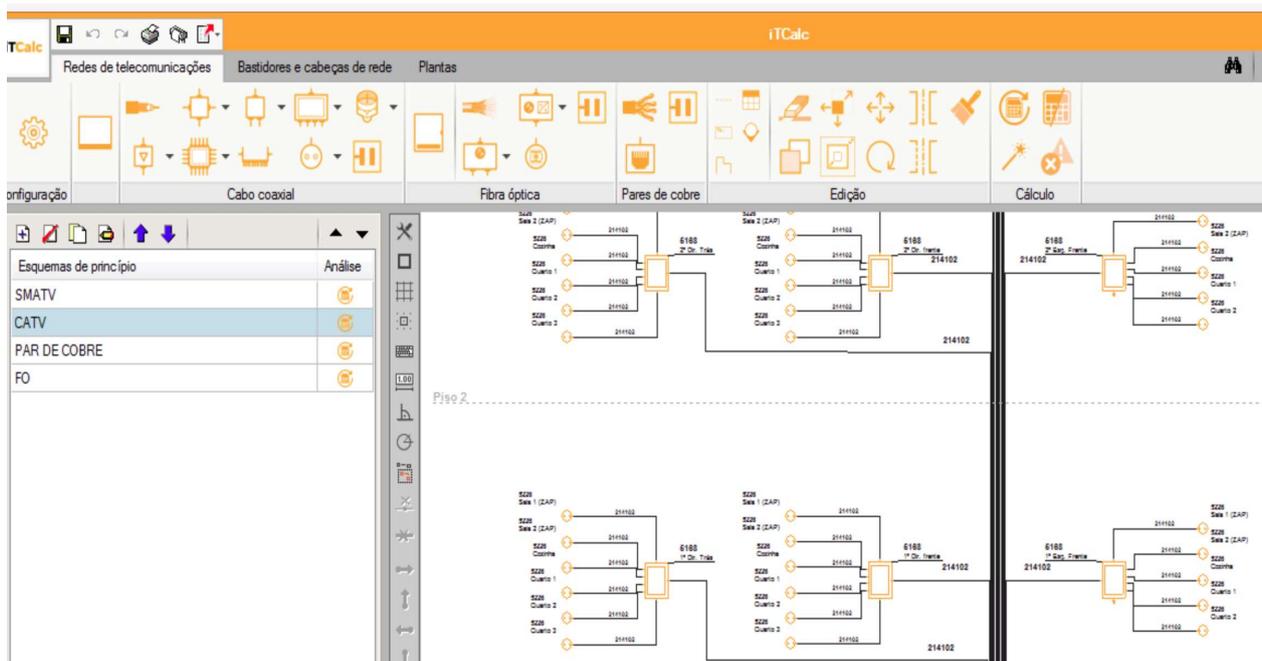
A possibilidade de exportação para CAD (em extensão DWG ou DXF) ou BC3 dos desenhos representa um dos aspetos positivos deste software poupando trabalho de desenho aos projetistas. É, ainda, possível exportar para vários formatos outros resultados obtidos, tais como: cálculos, mapas de quantidades e orçamentos (TXT, DOCX, PDF...).

A Figura 2 ilustra um exemplo da utilização do software iTCalc aquando do cálculo de redes de cabo coaxial.

Possuidor de um ambiente gráfico moderno e amigável ao utilizador, permite a inclusão de Label por dispositivo, dispõe de um assistente SMATV para mais rápida execução do projeto, ajusta automaticamente os níveis de sinal da Cabeça de Rede e permite, ainda, o desenho de sistemas de receção e bastidores.

A Figura 3 ilustra um exemplo de cálculo de uma cabeça de rede de uma instalação coaxial.

Figura 2. Exemplo gráfico do dimensionamento de uma rede de cabo coaxial



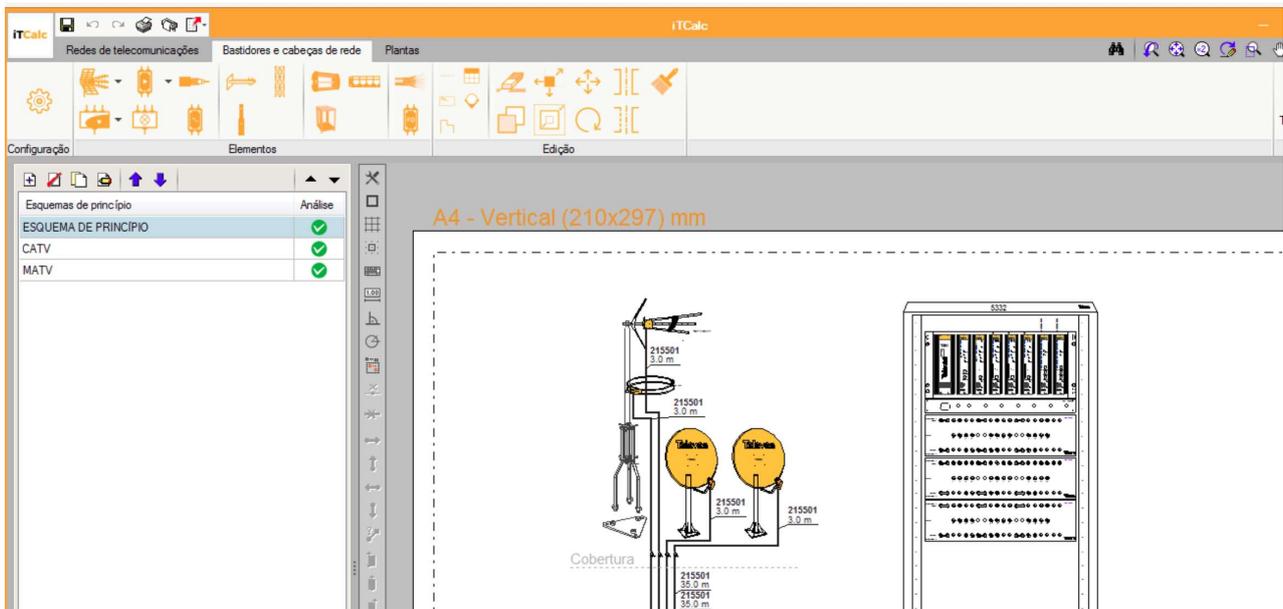


Figura 3. Exemplo gráfico do dimensionamento de uma cabeça de rede

O software dispõe de uma interface de desenho com uma série de elementos que possibilita a disposição das tomadas de telecomunicações sobre as plantas. Permite, ainda, importar plantas de desenho CAD e, devido à inclusão do programa Open BIM, é possível obter a informação geométrica da edificação através da importação do modelo BIM. A Figura 4 mostra um exemplo do resultado 3D.

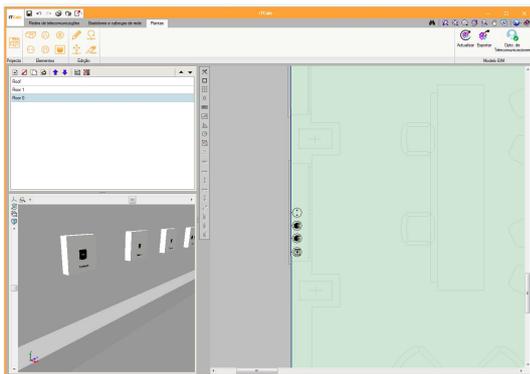


Figura 4. Exemplo gráfico de integração do desenho em BIM

A distribuição de iTCalc é gratuita e a sua descarga realiza-se através da plataforma web BIMserver.center®. Por utilizar a plataforma Bim.Server, a qual permite a partilha das especialidades pelas várias entidades ligadas à obra, garante-se em simultânea a não perda de informação.

O programa é compatível com o sistema operativo Microsoft® Windows (Windows 7, Windows 8.1 e Windows 10) e pode ser descarregado através da página WEB da TELEVÉS

### 3. Conclusão

Os desafios da evolução tecnológica e regulamentar na área das comunicações eletrónicas são dinâmicos e potenciam a criação de novas e avançadas ferramentas de trabalho para o auxílio do projeto de Telecomunicações.

A CYPE conjuntamente com a TELEVÉS propõem a utilização gratuita de um novo software de trabalho, o qual tem como comprometimento a ajuda na melhor solução tecnicamente evoluída, na solução economicamente viável (dado que apresenta um orçamento final), na redução de horas de desenho (uma vez que possibilita a exportação das redes para CAD), a obtenção de uma listagem de material e equipamento e, ainda, a possibilidade de integração no fluxo de trabalho Open BIM com a caracterização da solução em 3D.

**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 em Matemática (quebra) na Engenharia Matemática 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 do Grupo de Trabalho em Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999. Sócio da empresa Realto & Tavares – 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, ECG – Instituto de Soluções e Qualidade, Quilúria – Fabrica de Quadros Elétricos, S.A., IEP – Instituto Eletrotécnico Português, CEMITEC – Centro de Energia e Tecnologia, ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações, IOT – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico, EBY – Agência de Energia Eólica, Jovag e Vovag.

**Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva**

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica, área de Proteção, Transporte e Distribuição de energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Mestre (gratuita) em Engenharia Industrial pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Professor Adjunto Departamento de Engenharia Eletrotécnicas do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

**José António Beleza Carvalho**

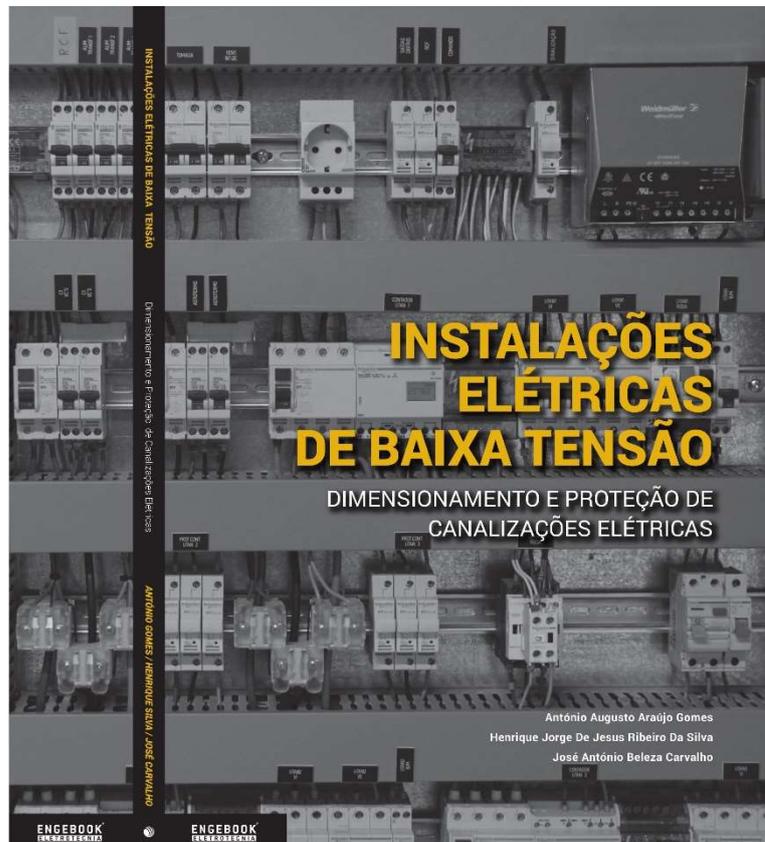
Bacharel em Engenharia Eletrotécnicas pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto, Mestre e Doutor em Engenharia Eletrotécnica na especialidade de sistemas de energia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Professor Coordenador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, licenciado em Engenharia de Gestão da Informação, integra a direção da Escola Tecnológica de Vals de Camarã como investigador do Instituto Politécnico do Porto. É autor de vários artigos publicados em conferências nacionais e internacionais, diretor de revista científica e integrou vários júris de provas públicas de doutoramento e para a carreira do ensino superior.

**ENGENHARIA**

Faculdade de Engenharia de Sistemas e Tecnologias de Informação

Sistemas e Tecnologias de Informação

Com o apoio de **Life to Go**, **Schneider Electric**, **Weidmüller**



## AUTORES



**Allon Soares da Silva**

**1171910@isep.ipp.pt**

Mestrando em Engenharia Eletrotécnica no Instituto Superior de Engenharia do Porto desde de 2018 e graduando em Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Santa Catarina desde 2013. Foi representante discente no Conselho Superior (Consup) do IFSC. Atou em pesquisas internacionais desenvolvidas na Finlândia através da HAMK University of Applied Sciences. Desenvolve trabalhos nas seguintes áreas: Internet of Things, Microcontroladores Eficiência Energética, Gerenciamento de Dados, Contratos e Demanda Energética.



**António Carvalho de Andrade**

**ata@isep.ipp.pt**

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

Colaborador da EDP – Energias de Portugal (22 anos)

Professor ajunto do departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do porto.



**António Manuel Luzano de Quadros Flores**

**aqf@isep.ipp.pt**

Doutorado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na Especialidade de Sistemas de Energia pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; Licenciado e Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; MBA em Gestão na Escola de Gestão do Porto da Universidade do Porto;

Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1993;

Desenvolveu atividade na SOLIDAL no controlo de qualidade e manutenção, na EFACEC na área comercial de exportação de máquinas elétricas, na British United Shoe Machinery na área de manutenção, na ALCATEL-Austrália na área de manutenção, na ELECTROEXPRESS, em Sidney, na área de manutenção e instalações elétricas.



**Florinda Figueiredo Martins**

**ffm@isep.ipp.pt**

Licenciatura em Engenharia Química, Mestrado em Engenharia do Ambiente, Doutoramento em Engenharia Química e Biológica, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Trabalhou na indústria como engenheira de processo e no desenvolvimento de projetos de engenharia. Foi responsável por uma estação de tratamento de águas residuais e atualmente é Professora Adjunta no Instituto Superior de Engenharia do Porto. Desenvolve atividades de investigação no GRAQ/REQUIMTE e é coautora de um livro e de vários artigos publicados em revistas e conferências internacionais.

Áreas de interesse: sustentabilidade, ambiente, LCA, energia, energias renováveis, otimização

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



**Hélder Nelson Moreira Martins**

**helmar@televes.com**

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



**José António Beleza Carvalho**

**jbc@isep.ipp.pt**

Nasceu no Porto em 1959. Obteve o grau de B.Sc em engenharia eletrotécnica no Instituto Superior de Engenharia do Porto, em 1986, e o grau de M.Sc e Ph.D. em engenharia eletrotécnica na especialidade de sistemas de energia na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em 1993 e 1999, respetivamente.

Atualmente, é Professor Coordenador no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, desempenhando as funções de Diretor do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia.



**José Adelino Marçal Maurício**

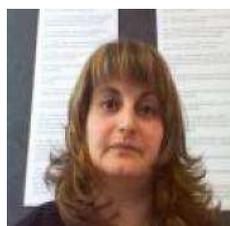
**josemauricio1992@gmail.com**

Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica, área científica de Sistemas de Energia e Automação, pelo Instituto Politécnico de Viseu. Aluno de mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia.

Gestor Operacional na Visabeira Global entre 2013 e 2017.

Vice-presidente da Associação Juvenil Gustavo Filipe.

Áreas de interesse: transporte e distribuição de energia, qualidade de energia, mercados de energia, energias renováveis, automação, home automation, domótica, máquinas eléctricas.



**Maria Judite Madureira Da Silva Ferreira**

**mju@isep.ipp.pt**

Professora Adjunta no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Diretora da Licenciatura de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia (LEE-SEE) no Instituto Superior de Engenharia do Porto – Instituto Politécnico do Porto (ISEP/IPP).

As suas áreas de investigação são relacionadas com Redes Eléctricas.

## COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:

**Maria Madalena Rodrigues Camões****1900084@isep.ipp.pt**

Aluna do Mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas de Energia, do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Bacharel e Licenciada (pré-Bolonha) em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Iniciou a carreira profissional em 1995, na EN- Eletricidade do Norte, Centro de Distribuição de Matosinhos, acompanhando a implementação do Sistema de Gestão de Incidentes (SGI) nos concelhos de Matosinhos e Vila do Conde. Técnica Superior da Câmara Municipal de Vila do Conde, desde 1997, desempenhando funções de projetista e fiscalização de obras. Atualmente, acumula as funções de gestão municipal de energia, coordenação técnica de projetos no âmbito da estratégia energética do município, gestão dos contratos de fornecimentos de energia elétrica e de gás natural das instalações municipais, gestão de contratos de manutenção de instalações elétricas, AVAC, elevadores e segurança de edifício municipais, coordenação técnica das inspeções periódicas dos elevadores do concelho e interlocutora municipal junto de entidades externas no âmbito da Energia.

**Miguel José Rodrigues Teixeira Miguel****migueljrtemiguel@hotmail.com**

licenciatura e mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Programa Erasmus na Universidade Politécnica de Madrid em Ingeniería Industrial.

Engenheiro Eletrotécnico na EDP Produção na Área de Engenharia e Otimização de Ativos Hídricos. Áreas de interesse: energia hidroelétrica, energia geotérmica, armazenamento de energia, energias renováveis, operação de ativos hídricos, sistemas de comando e controlo, mercados de energia, gestão de sistemas elétricos de energia isolados.

**Nuno Eduardo Ribeiro****1990234@isep.ipp.pt**

Aluno do Mestrado em Energias Sustentáveis do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Gestor de Projecto na Siemens S.A., departamento - Power and Gás - CoC Renewables Energies .

**Rodrigo Luiz Joench****rodrigo.joench@gmail.com**

Graduando em Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e aluno do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Suas principais qualificações relacionam Fontes Renováveis de Energia, Otimização de Recursos de Energia, Smart Grids, Smart Buildings, Sistemas Elétricos de Potência e Conversores Estáticos de Potência.

Fluente em Português e Inglês, e conhecimento intermediário em Alemão.

**COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:****Samuel Sandmann Cembranel****1171912@isep.ipp.pt**

Graduando em Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e aluno do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Seus principais interesses em pesquisa incluem Clustering, Data-Mining, Mercados de Energia e Sistemas Elétricos de Potência.

**Sérgio Filipe Carvalho Ramos****scr@isep.ipp.pt**

Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na Área Científica de Sistemas Elétricos de Energia, pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa. Doutor em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores no Instituto Superior Técnico de Lisboa. Docente do Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001. Prestação, para diversas empresas, de serviços de projeto de instalações elétricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultoria técnica. Investigador do GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão), do ISEP, desde 2002.

**Teresa Alexandra Ferreira Mourão Pinto Nogueira****tan@isep.ipp.pt**

Licenciatura e mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, área científica de Sistemas de Energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Docente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica, curso de Sistemas Elétricos de Energia do ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Investigadora no CIETI - Centro de Inovação em Engenharia e Tecnologia Industrial.

Áreas de interesse: projeto de transformadores, mercados de energia, operação do sistema de gás natural, energias renováveis, qualidade de energia, produção distribuída e eficiência energética

Página deixada intencionalmente em branco!

