

NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica

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

Voltamos à vossa presença com a publicação da 24ª Edição da nossa revista “Neutro à Terra”. Como tem sido habitual em todas as publicações da nossa revista, esperamos que a qualidade dos artigos publicados nesta edição vá ao encontro das expectativas e do interesse dos nossos leitores, que nos privilegiam com o seu interesse desde o início das nossas publicações. Esta é a 24ª publicação em doze anos de existência, em que sem interrupções temos honrado o compromisso que temos com todos os nossos leitores. É com grande satisfação que temos verificado que a nossa revista é atualmente um documento indispensável para alunos de vários cursos de Engenharia Eletrotécnica, mas também para muitos profissionais desta área da engenharia e para muitas empresas do setor eletrotécnico, que sempre manifestaram elevado interesse pelas nossas publicações.

José Beleza Carvalho, Professor Doutor



Máquinas e Veículos Elétricos



Produção, Transporte e Distribuição Energia



Instalações Elétricas



Telecomunicações



Segurança



Gestão de Energia e Eficiência Energética



Automação, Gestão Técnica e Domótica

- Editorial	3
- Controlo dos Sistemas Eléctricos de Energia José António Belezinha Carvalho	5
- Motores de propulsão em veículos eléctricos: tipos, características e perspectivas de evolução Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo	19
- Estratégia de Flexibilidade de Veículos Eléctricos para Alívio de Congestionamento em Redes de Distribuição Lucas B. G. Gomes, João Soares, Bruno Canizes, Edison A. C. Aranha Neto	29
- Motor de Tração para Formula Student: A Melhor Opção João Rigor, Teresa Nogueira	35
- Baterias de Iões de Lítio, a chave da Eletrificação Automóvel Henrique Fragoso, Teresa Nogueira	39
- Lighting Consumption Optimization in a Residential House Based on Electricity Price Mahsa Khorram, Teresa Nogueira	45
- Impacto da Iluminação Pública na Natureza André Sousa, Teresa Nogueira	51
- Autores	57

FICHA TÉCNICA

DIRETOR:	José António Belezinha Carvalho, Doutor
SUBDIRETORES:	António Augusto Araújo Gomes, Eng. Roque Filipe Mesquita Brandão, Doutor Sérgio Filipe Carvalho Ramos, Doutor
PROPRIEDADE:	Área de Máquinas e Instalações Eléctricas Departamento de Engenharia Electrotécnica Instituto Superior de Engenharia do Porto
CONTATOS:	jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt

Estimados leitores

Voltamos à vossa presença com a publicação da 24ª Edição da nossa revista “Neutro à Terra”. Como tem sido habitual em todas as publicações da nossa revista, esperamos que a qualidade dos artigos publicados nesta edição vá ao encontro das expectativas e do interesse dos nossos leitores, que nos privilegiam com o seu interesse desde o início das nossas publicações. Esta é a 24ª publicação em doze anos de existência, em que sem interrupções temos honrado o compromisso que temos com todos os nossos leitores. É com grande satisfação que temos verificado que a nossa revista é atualmente um documento indispensável para alunos de vários cursos de Engenharia Eletrotécnica, mas também para muitos profissionais desta área da engenharia e para muitas empresas do setor eletrotécnico, que sempre manifestaram elevado interesse pelas nossas publicações.

Na última edição publicou-se um interessante artigo sobre o funcionamento dos Sistemas Elétricos de Energia e a Rede Nacional de Transporte. Dando seguimento a este assunto, nesta edição publica-se um artigo de natureza mais científica sobre o Controlo dos Sistemas Elétricos de Energia. Neste artigo, apresenta-se os conceitos fundamentais associados às ações de controlo dos sistemas elétricos de energia interligados. Baseia-se na modelização de todos os equipamentos constituintes aos quais se aplicam ações de controlo, com vista a garantir o equilíbrio entre a produção de energia e o consumo, as perdas nas redes de transmissão e a potência especificada para as linhas de interligação, garantindo a estabilidade da frequência e a exploração dos sistemas elétricos de uma forma segura.

Um assunto muito importante e atual, tem a ver com a mobilidade elétrica e, particularmente, com os veículos elétricos. Nesta edição da nossa revista, publica-se um interessante artigo que analisa e compara os sistemas de propulsão baseados em motores síncronos de ímanes permanentes e motores de indução, que têm sido as principais opções dos fabricantes para veículos híbridos e veículos elétricos. De modo não exaustivo, o autor analisa o desempenho destes motores e compara com os tradicionais motores de combustão interna. O artigo faz ainda referência às principais tecnologias emergentes, como os motores com polos salientes no estator e no rotor, os motores sem ímanes permanentes e os motores *Vernier*.

Nesta edição da revista, também no âmbito das máquinas elétricas e dos veículos elétricos, apresenta-se um interessante artigo sobre o dimensionamento de um veículo elétrico para competição, o *Formula Student*. Este veículo enquadra-se num projeto que é gerido e realizado integralmente por alunos de engenharia com o propósito de complementar a formação académica, permitindo assim profissionais bem preparados para o ramo da indústria automóvel. Ainda neste âmbito, publica-se também nesta edição um artigo sobre as baterias de íões de Lítio. Estas baterias são um dos sistemas de armazenamento químico de energia elétrica mais relevantes da atualidade, com aplicação nos mais diversos dispositivos elétricos e eletrónicos e também nos veículos elétricos e híbridos. Neste artigo são apresentadas e comparadas 3 tecnologias de baterias de íões de lítio utilizadas na indústria automóvel.

O crescente interesse pela nossa revista por parte de leitores de países estrangeiros leva-nos a publicar com alguma regularidade artigos em língua inglesa. Nesta edição publica-se um artigo intitulado “*Lighting Consumption Optimization in a Residential House Based on Electricity Price*”. Neste artigo, apresenta-se uma metodologia que, através da formulação de um problema de otimização linear, permite minimizar o consumo de energia elétrica em iluminação em habitações residenciais, baseando-se nos preços da energia elétrica e tirando vantagens da produção fotovoltaica.

Nesta edição da nossa revista merecem ainda destaque alguns artigos de elevado valor técnico e científico, como “O Impacto da Iluminação Pública na Natureza”, onde é analisado o impacto da iluminação pública na saúde humana e em alguns animais, devido a distúrbios no respetivo ciclo biológico destes seres vivos. Outro interessante artigo científico sobre “Estratégia de Flexibilidade de Veículos Elétricos para Alívio de Congestionamento em Redes de Distribuição”, onde é apresentada uma estratégia de carregamento de veículos elétricos, que visa aproveitar de forma inteligente os longos tempos que estes veículos estão estacionados nos postos de carregamento.

Estando certo que nesta edição da revista “Neutro à Terra” apresenta-se novamente interessantes artigos técnicos e científicos para todos os profissionais do setor eletrotécnico, satisfazendo assim as expectativas dos nossos leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos e votos de um Excelente Ano de 2020.

Porto, 31 dezembro de 2019

José António Beza Carvalho

Blog:

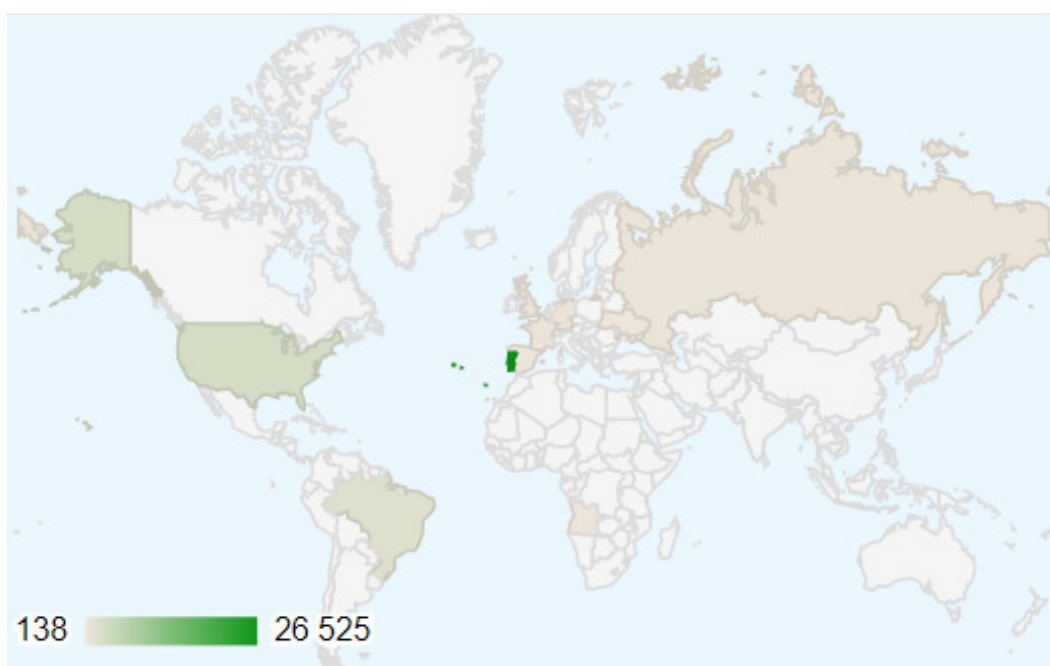
www.neutroaterra.blogspot.com

Histórico de visualizações

35 589

Entrada	Visualizações de páginas
Portugal	26525
Estados Unidos	3059
Brasil	2019
Alemanha	570
Rússia	481
França	446
Angola	244
Reino Unido	215
Ucrânia	194
Espanha	138

Público



MOTOR DE TRACÇÃO PARA FORMULA STUDENT: A MELHOR OPÇÃO

Resumo

A escolha de um motor para veículos de tração elétrica é uma das principais tarefas ao projetar um carro de competição elétrico, uma vez que o motor é o elemento que especifica as características dinâmicas do veículo. Neste artigo procede-se a uma análise dos diferentes tipos de motores utilizados atualmente na mobilidade elétrica, sendo que o mais favorável para a implementação no sistema propulsor elétrico do Formula Student é o motor síncrono de ímãs permanentes, o que garante elevada performance do veículo. É desenvolvido o estudo da propulsão elétrica, através do cálculo das forças dinâmicas que atuam num veículo, para se determinar as características mecânicas do motor elétrico e se optar pela tecnologia mais eficiente. É apresentada uma possível solução técnica do motor elétrico a implementar no sistema propulsor, selecionado a partir dos resultados obtidos da propulsão elétrica do Formula Student.

1 Introdução

A utilização de motorização elétrica em veículos, acarreta inúmeras vantagens face aos veículos providos de motores de combustão interna, nomeadamente, a possibilidade inerente aos motores elétricos de produzirem o binário máximo a partir do repouso, os seus tempos de resposta reduzidos, a possibilidade de regenerar a energia produzida durante a travagem, o controlo independente de cada roda e consumo (indireto) de energia disponível em fontes renováveis [1].

A Formula Student é uma competição automóvel entre universidades mundiais, organizada pelo *Institution of Mechanical Engineers*, com parceria da organização mundial *Society of Automotive Engineers*. Refere-se à conceção, desenho e fabrico de um pequeno Formula 1, tal como se pode visualizar na Figura 1, nas categorias de veículo elétrico, híbrido e combustão.

O projeto Formula Student é gerido e realizado integralmente por alunos com o propósito de complementar a formação académica, gerando assim profissionais bem preparados para o futuro, nomeadamente no ramo da indústria automóvel.

Este artigo expõe as diferentes tecnologias de motores passíveis de serem utilizados em veículos elétricos, efetuando-se, de seguida, uma seleção da melhor solução do motor a instalar no sistema propulsor elétrico do Formula Student. É igualmente apresentado o algoritmo da propulsão elétrica do veículo de competição, o que permite determinar as características mecânicas do motor a utilizar, sendo elas: a potência mecânica, a rotação e o binário, com o objetivo de exibir uma possível solução técnica a implementar no sistema propulsor do veículo.



Figura 1 – Formula Student da equipa TU Delft

2 Motores Elétricos: Critérios de Seleção

O motor elétrico é o componente principal num sistema de propulsão elétrica, sendo este um dos elementos com maior ponderação na construção de um veículo elétrico de competição.

É necessário que o motor possua boas características em alguns requisitos típicos de tração, tais como [2] e [3]:

- Alta densidade de binário e potência;

- Binário elevado em baixas velocidades para arranques rápidos e subidas;
- Ampla faixa de velocidades, incluindo regiões de binário constante e de potência constante;
- Alta eficiência na frenagem regenerativa;
- Alta eficiência sobre a ampla faixa de velocidades e binário.

Na Tabela 1, é feita uma comparação entre quatro tipos de motores elétricos, os mais utilizados atualmente na propulsão de veículos de tração elétrica, sendo eles: o motor de corrente contínua (DC), o motor de indução trifásico (IM), o motor de relutância variável trifásico (SRM) e o motor síncrono de ímãs permanentes (PMSM). São apresentadas na tabela as principais características para seleção do motor a implementar no sistema propulsor elétrico do Formula *Student*. Para cada característica presente na tabela é atribuído um valor entre 1 a 5, sendo que 1 corresponde a “fraco” e 5 a “bom”. Na última linha da tabela é efetuado um somatório de todos os valores atribuídos às características de seleção de cada motor correspondente [2] e [3].

Tabela 1 – Comparação qualitativa dos quatro motores elétricos

Tipos de Motores				
Características	DC	IM	SRM	PMSM
Densidade de Potência	2,5	3,5	3,5	5
Eficiência	2,5	3,5	3,5	5
Controlabilidade	5	5	3	4
Fiabilidade	3	5	5	4
Maturidade da Tecnologia	5	5	4	4
Custo	4	5	4	3
Σ Total	 22	 27	 23	 25

Pela análise da Tabela 1, conclui-se que o PMSM é o motor apropriado para ser implementado no sistema propulsor elétrico do Formula *Student*.

Este motor garante uma elevada performance do veículo, uma vez que, possui uma alta densidade de potência e binário, bem como uma alta eficiência durante o seu funcionamento. Além disso, é um motor de pequenas dimensões e de peso reduzido, o que facilita o acréscimo deste tipo de motores no sistema de propulsão, de forma a obtermos tração dianteira, traseira ou integral [3].

3 Metodologia de Cálculo da Propulsão Elétrica

3.1 Aspectos Teóricos

Uma vez selecionado o tipo de motor a utilizar no sistema propulsor do veículo, passamos ao algoritmo da propulsão elétrica que nos permite determinar as características mecânicas do motor elétrico a implementar no Formula *Student*. Para tal, é necessário realizar os cálculos da potência mecânica, do binário e da rotação do motor [4].

A potência mecânica solicitada ao motor é determinada pela Equação (1):

$$P_{mec} = \frac{n \times T \times 2\pi}{60} \quad (1)$$

O motor deve possuir um binário suficiente para vencer a resistência ao rolamento, o arrasto aerodinâmico, a resistência à aceleração e o declive dos percursos que o veículo se destina. Estas forças que se opõem ao movimento do bólido estão representadas através do esquema da Figura 2, cujas equações se apresentam a seguir [5].

$$F_{tr} = F_{rol} + F_{up} + F_{air} + F_{tn} \quad (2)$$

$$F_{tr} = \frac{\eta_{tr} \cdot T \cdot i}{r} \quad (3)$$

$$F_{rol} = f_k \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (4)$$

$$F_{up} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (5)$$

$$F_{air} = 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot V_{max}^2 \quad (6)$$

$$F_{in} = m \cdot a \cdot \sigma_r \quad (7)$$

$$\sigma_r = 1,04 + 0,0025 \cdot i^2 \quad (8)$$

$$f_k = f_0 \cdot (1 + A_f \cdot V_{max}^2) \quad (9)$$

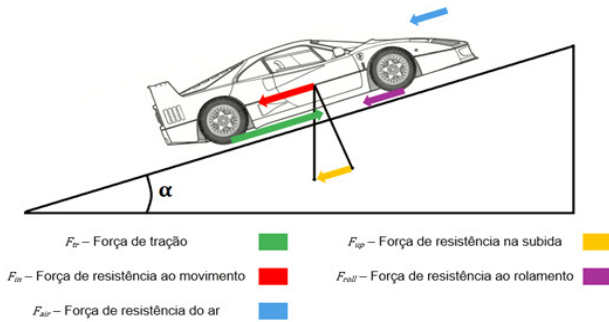


Figura 2 – Esquema das forças que atuam num veículo

Substituindo na Equação (2) pelas Equações (3), (4), (5), (6) e (7), e resolvendo em ordem ao binário, obtém-se o binário máximo do motor elétrico, de acordo com a Equação (10):

$$T = \frac{(f_k \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot V_{max}^2 + m \cdot a \cdot \sigma_r) \cdot r}{\eta_{tr} \cdot i} \quad (10)$$

Geralmente, os veículos elétricos não têm uma caixa de velocidades porque o motor elétrico debita um elevado binário a baixas rotações. Estes possuem apenas um sistema de transmissão com uma única relação. Para calcular a rotação no eixo do motor utiliza-se a Equação (11):

$$n = \frac{V_{max} \cdot i \cdot 60}{r \cdot 2\pi} \quad (11)$$

A Tabela 2, representa a designação das siglas referentes às equações anteriores, assim como os respetivos valores dos coeficientes [5].

3.2 Cálculo da Propulsão Elétrica

O motor a instalar no sistema propulsor elétrico do Formula Student deve corresponder às especificações pretendidas pelo projetista, sendo elas: a aceleração e a velocidade máxima que o bólido atinge.

Tabela 2 – Tabela de siglas e coeficientes

P_{mec}	Potência mecânica que é solicitada ao motor (W)
n	Rotação no eixo do motor (RPM);
T	Binário no eixo do motor (Nm);
$\eta_{tr} = 0,9$	Rendimento do sistema de transmissão;
i	Relação de transmissão total;
r	Raio efetivo da roda (m);
f_k	Coefficiente de resistência ao rolamento do pneu numa superfície;
$f_0 = 0,015$	Coefficiente para o asfalto liso;
$A_f = 5,1 \times 10^{-4}$	Coefficiente de eficiência da velocidade na força de resistência ao rolamento (s^2/m^2);
m	Massa do carro, incluindo o peso do condutor (kg);
$g = 9,81$	Aceleração da gravidade (m/s^2);
α	Inclinação da pista ($^\circ$);
$c_x = 0,5$	Coefficiente aerodinâmico do veículo;
$\rho_{air} = 1,202$	Densidade do ar sob condições normais (s^2/m^2);
$A = 1,6$	Área frontal do veículo (m^2);
V_{max}	Velocidade máxima do veículo elétrico (m/s);
σ_r	Coefficiente de compensação das massas rotativas.

Sendo assim, é necessário definir previamente alguns valores referentes às características dinâmicas, dimensão da roda e peso do veículo, tais como [3]:

- Aceleração Média 0 aos 100 km/h – 6,17 m/s² (t=4,5 s)
- Velocidade Máxima – 120 km/h
- Raio efetivo da roda – 0,21 m
- Peso do Formula Student (incluindo o condutor) – 300 kg

Posteriormente, será necessário atribuir valores na relação de transmissão, de forma a obter os valores das quantidades desejadas do binário máximo e da rotação máxima no eixo do motor.

3.3 Apresentação da Solução Técnica

De acordo com a metodologia da propulsão elétrica, a Tabela 3 indica os valores nominais das características mecânicas do motor a selecionar para o sistema propulsor elétrico do Formula *Student*, para os parâmetros das características dinâmicas do veículo definidos na secção anterior.

Tabela 3 – Resultado da simulação da propulsão elétrica

Relação de Transmissão Total	Inclinação da Pista (°)	Binário Motor (Nm)	Velocidade Motor (RPM)	Potência Mecânica (W)
1	0	591,25	1515,76	93849,57
1,5	0	395,07	2273,64	94063,90
2	0	297,25	3031,52	94363,97
2,5	0	238,77	3789,40	94749,77
3	0	199,96	4547,28	95221,31
3,5	0	172,40	5305,16	95778,58
3,5	+2	179,25	5305,16	99581,06
3,5	+4	186,08	5305,16	103375,79
3,5	+6	192,88	5305,16	107158,15
3,5	-2	165,55	5305,16	91972,97
3,5	-4	158,70	5305,16	88168,88
3,5	-6	151,87	5305,16	84370,94

Pela análise da Tabela 3, verifica-se que o binário no eixo do motor é desmultiplexado com o aumento do valor da relação de transmissão total. A potência mecânica numa aceleração dos 0 – 100 km/h é aproximadamente 100 kW, visto que varia consoante a inclinação da pista.

A escolha do motor parte da análise dos resultados de simulação da Tabela 3, onde se conclui pelos valores nominais da potência mecânica, rotação e binário do motor.

Perante estes resultados, a melhor opção será implementar o motor EMRAX 228 *Medium Voltage LC*, dado que os valores obtidos para uma relação de transmissão total de 3,5 não excedem os valores das características mecânicas do motor elegido. Os respetivos dados técnicos do EMRAX 228 *Medium Voltage LC* estão indicados na Tabela 4 [6].

O motor síncrono de ímanes permanentes foi a melhor opção para integrar no sistema propulsor deste veículo, apesar de ser um motor de elevado custo quando comparado a outros tipos de motores.

Tabela 4 - Dados técnicos do motor EMRAX 228 *Medium Voltage LC*

EMRAX 228 Medium Voltage LC	
Potência Máxima (kW)	100
Potência 3000 – 5000 RPM (kW)	28 - 42
Binário Máximo (Nm)	240
Binário Contínuo (Nm)	125
Rotação Máxima (RPM)	5500
Eficiência (%)	92 – 98
Tipo de Ligação	Estrela

4 Conclusão

O motor síncrono de ímanes permanentes foi o motor elegido para o sistema propulsor elétrico do Formula *Student*, que apesar do seu custo mais elevado, o investimento é compensado pela sua elevada eficiência e alta densidade de potência e binário, garantindo um elevado desempenho do veículo. O cálculo da propulsão elétrica permite determinar o binário de arranque, ou seja, o binário que resulta no momento da aceleração máxima do veículo que corresponde ao esforço máximo que será imposto ao motor. O binário de arranque deve ser desmultiplexado, sendo assim fez-se um estudo do valor da relação de transmissão que proporciona uma boa relação entre o binário e a velocidade do motor EMRAX 228 *Medium Voltage LC*. O rendimento da transmissão diminui à medida que a relação de transmissão total aumenta, provocando um aumento nas perdas mecânicas.

Bibliografia

- [1] J. Pinto, "Formula Student- Sistema de Tração," 2014.
- [2] M. Zeraouia, "Electric motor drive selection issues for HEV propulsion study," pp. 1-10, 5 outubro 2010.
- [3] J. Rigor, "Estudo e Desenvolvimento de Sistema Propulsor para Veículo Elétrico," Porto, 2018.
- [4] S. D. Umans, Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley, Porto Alegre: AMGH, 2014.
- [5] O. U. D.S. Korobkov, "Choice of the Traction Motor for the Electric Racing Car "Formula," pp. 1-6, 2016.
- [6] EMRAX, "EMRAX Innovative E-Motors," agosto 2018. [Online]. Available: http://emrax.com/wp-content/uploads/2017/10/user_manual_for_emrax_motors.pdf. [Acedido em 4 dezembro 2018].

COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



André Tiago Alves Sousa

1180363@isep.ipp.pt

Licenciado em Engenharia Eletromecânica pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Aluno do Mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.



Bruno Miguel da Rocha Canizes

brmrc@isep.ipp.pt

GECAD – Politécnico do Porto

Edison A. C. Aranha Neto

earanha@ifsc.edu.br

Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil



Henrique Fragoso Martins

1121211@isep.ipp.pt

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica, área científica de Sistemas de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia. Estudante do curso de mestrado em Engenharia Eletrotécnica, área científica de Sistemas de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Áreas de interesse: Sistemas de Armazenamento de Energia, Produção de Energia, Fontes de Energia Renovável, Eletrónica de Potência e Eficiência Energética.



João Gualter Machado Rigor

1151326@isep.ipp.pt

Licenciado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) em 2018. Recebeu um diploma de mérito como parte integrante do Quadro de Honra do Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE). Atualmente, é estudante finalista do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no ISEP.



João André Pinto Soares

jan@isep.ipp.pt

GECAD – Politécnico do Porto, Porto, Portugal

COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:**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 Elétricos de Energia.

**Lucas B. G. Gomes****1180452@isep.ipp.pt**

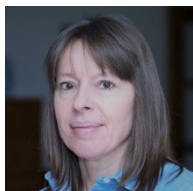
Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia no ISEP ao abrigo do Protocolo de Dupla Titulação entre o ISEP e Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

**Mahsa Khorram Ghahfarrokhi**

Received the B.Sc. degree in electrical engineering from the Azad university of Najaf Abad, Iran, 2013. She is currently studying toward the M.Sc. degree in power system in the IPP-ISEP, Porto, Portugal. She is a Researcher with GECAD — Research Group on Intelligent Engineering and Computing for Advanced Innovation and Development, Polytechnic Institute of Porto, Portugal. Her research interests include energy management in buildings, energy efficiency, and demand response programs.

**Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo****pma@isep.ipp.pt**

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

**Teresa Alexandra Nogueira****tan@isep.ipp.pt**

Fez a Licenciatura e Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, área científica de Sistemas de Energia, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Fez o Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. É docente no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto e 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, sustentabilidade, qualidade de energia, produção de energia e eficiência energética.

