

# 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 Bezeza Carvalho

Blog:

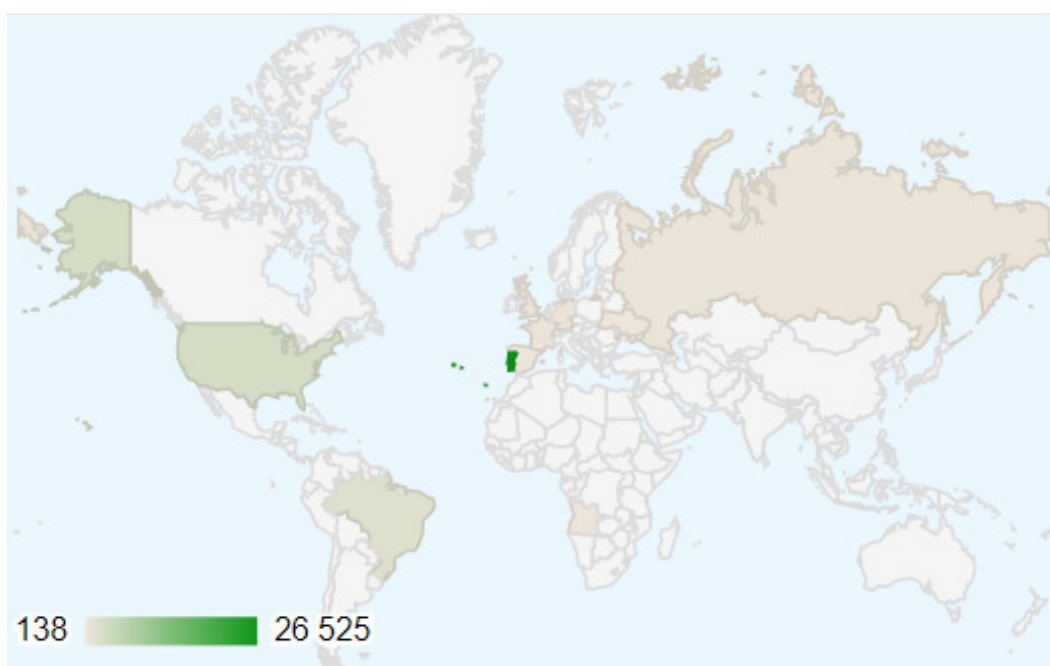
[www.neutroaterra.blogspot.com](http://www.neutroaterra.blogspot.com)

### 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



## BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO, A CHAVE DA ELETRIFICAÇÃO AUTOMÓVEL

### Resumo

A mobilidade da sociedade do século XXI levanta questões de sustentabilidade energética, tanto a nível da produção de energia como do seu armazenamento. As baterias de iões-lítio são um dos sistemas de armazenamento químico de energia mais relevantes da atualidade com aplicação nos mais diversos dispositivos elétricos e eletrónicos e, recentemente, nos veículos elétricos e híbridos. Comparativamente a outros sistemas, estas baterias destacam-se por serem leves e com elevado potencial elétrico, entre outras características vantajosas que se descrevem. Neste artigo são apresentadas e comparadas 3 tecnologias de baterias de iões de lítio utilizadas na indústria automóvel, com uma reflexão sobre as necessidades tecnológicas a desenvolver nos próximos anos.

**Palavras Chave:** Veículo Elétrico, Bateria de Iões de Lítio, LFP, NCA, NMC.

### 1. Introdução

A crescente preocupação com as questões ambientais tem aumentado exponencialmente o interesse na mobilidade elétrica em todo o mercado europeu, assistindo-se a uma gradual substituição dos veículos de combustão pelos veículos elétricos (VEs), como o meio rodoviário do futuro.

A importância que as baterias de iões-lítio têm no futuro da mobilidade elétrica obriga a uma análise das reservas de lítio existentes no planeta. Portugal é o país da União Europeia com as maiores reservas de lítio, e poderá ocupar um lugar destacado a nível desta matéria-prima porque 24% da produção mundial de lítio é consumido na Europa e 2% da produção mundial é atualmente fornecida por pequenas minas em Portugal [1].

A classificação dos veículos elétricos e sua divisão em categorias pode ser ter alguns contornos ligeiramente

distintos entre os autores, segundo a referência [2], os tipos de veículos elétricos existentes organizam-se em 3 categorias: veículo elétrico a baterias – BEV, veículo elétrico híbrido – HEV e veículo elétrico híbrido plug-in – PHEV.

O BEV é um veículo que utiliza um ou mais motores elétricos para se deslocar. Estes são alimentados por energia armazenada nas baterias, que podem ser carregadas através de um ponto de carregamento exterior ou da travagem regenerativa. O HEV combina um motor de combustão com um sistema de propulsão elétrico. A presença do sistema elétrico tem como objetivo obter poupanças de combustível relativamente às de um veículo que só contém um motor de combustão interno. O PHEV é um veículo elétrico híbrido no qual a bateria pode ser recarregada através de um ponto de carregamento exterior.

A tecnologia das baterias de iões-lítio é a escolha principal como fonte de energia para os veículos elétricos e híbridos, dada a sua elevada densidade energética e rápida capacidade de recarga.

Os BEV são compostos por um sistema propulsor, que integra uma ou mais máquinas elétricas primárias acionadas e controladas por um controlador eletrónico, um pack de baterias de tração, um sistema de gestão de baterias (BMS), um sistema diferencial mecânico e uma caixa de velocidades [3], de acordo com a Figura 1 [4].

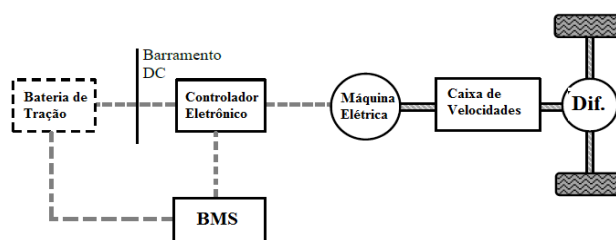


Figura 1- Diagrama do sistema propulsor e de tração elétrico de um BEV

Todavia, o desenvolvimento dos VEs está diretamente relacionado com o desenvolvimento das tecnologias de baterias e dos seus sistemas de monitorização e controlo. Comparando a tecnologia das baterias de iões de lítio com outras existentes, tais como as baterias de chumbo-ácido, de *nickel-cadmium* (Ni-Cd) e as de *nickel-metal hydride* (Ni-MH, utilizadas maioritariamente em HEV), as baterias de iões de lítio apresentam níveis de desempenho específico bastante superiores, o que significa que para a mesma quantidade de energia armazenada em qualquer uma das tecnologias referidas, as baterias de iões de lítio são menos volumosas e pesadas.

O objetivo deste artigo é apresentar e descrever os tipos associações químicas de baterias de iões de lítio mais utilizados em BEV.

## 2 Princípio de Funcionamento

O nome genérico “Li-ion” refere-se aos materiais ativos nas baterias, ainda que seja o elemento presente em menor quantidade. Estas baterias são classificadas consoante a sua composição química dos materiais que constituem o ânodo (elétrodo negativo) e o cátodo (elétrodo positivo). Cada combinação tem as suas vantagens e desvantagens no que diz respeito ao seu desempenho em termos de energia, potência, performance, custo e segurança. Normalmente, o ânodo deste tipo de baterias é composto por várias camadas folheadas de carbono poroso que proporciona uma elevada capacidade de armazenamento de iões de lítio e o cátodo constituído por óxidos de metais de litiados ou por fosfatos de metais litiados.

Tal como os outros tipos de baterias, as baterias de iões de lítio são um dispositivo eletroquímico composto por duas ou mais células, que convertem energia química em energia elétrica através de uma reação eletroquímica de oxidação-redução (*oxired*). Esta reação baseia-se na transferência de carga entre o ânodo, que perde eletrões ou oxida, e o cátodo, que ganha eletrões ou reduz.

Uma célula, unidade individual de uma bateria, é composta por 5 componentes essenciais, Tabela 1:

Tabela 1- Caracterização e descrição dos componentes de uma célula

Componentes	Descrição
Cátodo	Durante o ciclo de carga (reação não espontânea) os iões de lítio deslocam-se do ânodo para o cátodo, sendo necessário a utilização de uma fonte de energia elétrica externa para a sua concretização. Neste processo o cátodo recupera os eletrões cedidos na descarga, revertendo o processo de oxired até o conjunto da bateria atingir o estado químico inicial.
Ânodo	Durante o ciclo de descarga (reação espontânea) os iões de lítio presentes no ânodo são ionizados e dissolvidos no eletrólito. Neste processo, eles atravessam as cavidades microporosas do separador e fixam-se nos poros do material do cátodo. Quando ocorre esta transferência iónica, os eletrões do elétrodo positivo são libertados para o coletor positivo e conduzidos para um circuito elétrico exterior, produzindo corrente elétrica.
Eletrólito	Providencia o meio para a transferência de carga iónica, pode em estado líquido ou sólido.
Separador	Formado por membranas microporosas que permitem o transito iónico. Tem como função garantir a separação efetiva entre os elétrodos, prevenindo o curto-circuito
Coletores de corrente	Funcionam como um condutor elétrico entre o elétrodo e o circuito externo. Para cada elétrodo, cátodo e ânodo, são utilizados 2 metais, geralmente alumínio e cobre, respetivamente.

As baterias podem ser divididas em dois grupos: as primárias e as secundárias ou recarregáveis.

As de iões de lítio são uma tecnologia de baterias recarregáveis em que os iões se movem entre os coletores dos elétrodos negativo e positivo, através de um circuito externo.

O princípio de funcionamento das baterias de íons de lítio baseia-se no fenômeno de intercalação iônica. Este fenômeno é descrito pela difusão dos íons de lítio através da rede cristalina dos eletrodos, com a diferença que quando os íons são intercalados num eletrodo, no outro acontece o oposto, e vice-versa. A intercalação de um íon de lítio num eletrodo requer obrigatoriamente, para manter sua neutralidade, a liberação de um elétron, que circula por um circuito elétrico exterior através dos coletores de corrente, criando um fluxo de corrente elétrica [5], Figura 2 [6].

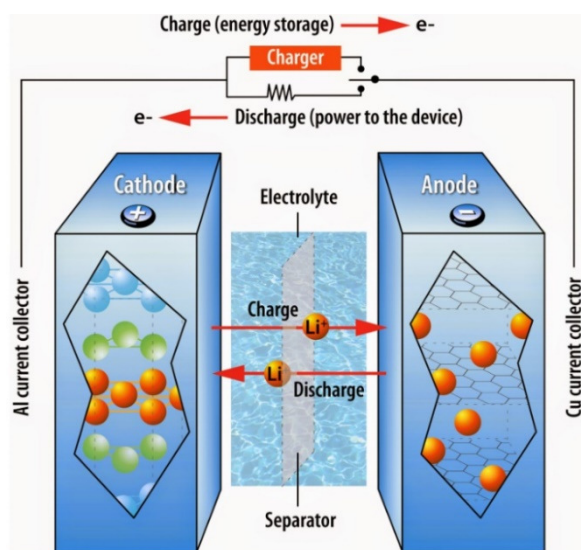


Figura 2 - Representação do processo de carga e de descarga de uma célula de íons de lítio

### 3 Tipos de células de íons de lítio

O cátodo ou eletrodo positivo, é a principal fonte de todos os íons de lítio ativos nas células. Para que esta possua elevados níveis de energia, o material que a constitui deverá absorver um elevado número de íons de lítio e apresentar bons níveis de condutividade elétrica e iônica.

Estes materiais não devem sofrer alterações estruturais durante as trocas reversíveis de íons de lítio com o eletrólito, caso contrário o tempo de vida útil da bateria diminuiria significativamente.

Para além destas propriedades, o material que constitui o eletrodo positivo deve possuir elevados níveis de eficiência de Coulomb, que representa a razão entre a percentagem de carga transferida para a bateria durante a carga, e a percentagem de carga cedida pela bateria durante a descarga [7]. Como foi dito anteriormente, os materiais mais utilizados como cátodos são compostos por óxidos de metais de transição litados ou fosfatos de metais de transição litados, de acordo com a Tabela 2 [8], [9].

Tabela 2- Tipos de baterias de íons de lítio e principais fabricantes

Tipo de células - Cátodo	Principais Fabricantes
Fosfato de Ferro de Lítio (LiFePO <sub>4</sub> ) – LFP	A123, BYD, GS, Hitachi Maxell, Yuasa, Lishen, Valence,
Óxido de lítio níquel cobalto alumínio (LiNiCoAlO <sub>2</sub> ) – NCA	A123, Greatbatch, 3M, Panasonic, Valence, BAK Technology
Óxido de Lítio Níquel Manganês Cobalto (LiNiMnCoO <sub>2</sub> ) – NMC	A123, AESC, EnerDel, Hitachi Maxell, LG Chem, Panasonic, Sanyo, Samsung

#### 3.1 Baterias de LFP

O estudo e desenvolvimento das primeiras baterias que contêm fosfatos no eletrodo positivo ocorreu na Universidade do Texas em 1997 [10]. A utilização de fosfatos no cátodo, proporciona uma boa estabilidade térmica e um bom desempenho eletroquímico. Estes materiais possuem uma resistência interna baixa, o que consequentemente dota as baterias de elevados níveis de densidade de potência, e são tolerantes a elevadas taxas de carga e descarga. De todas as associações químicas existentes, as células LFP são as que apresentam os melhores níveis de segurança, as que suportam um maior número de ciclos de vida e são as mais tolerantes em condições de sobrecarga. Para além disto, a bateria de LFP é composta por materiais não tóxicos (ferro e fosfato) que apresentam um custo relativamente baixo [4].

O principal problema deste tipo de células são os níveis de tensão nominal baixos (3,2V/célula), e consequentemente fracos níveis de energia específica. Porém, estes são os tipos de células mais utilizados em veículos de transporte coletivo e pesados, Figura 3.

Apesar dos fracos níveis de energia, como este tipo de transportes possuem compartimentos volumosos para armazenar os packs, um maior número de células por pack resolverá este problema.

### 3.2 Baterias de NCA

As células de NCA contemplam uma das melhores soluções de materiais usados em cátodos e foram desenvolvidas durante a década de 90 [11]. A mistura de óxido de cobalto e níquel-lítio com alumínio, mais barato que o manganês, estabiliza a resistência térmica e a transferência de carga, o que torna as baterias de NCA uma das soluções que oferece maior estabilidade térmica. Para além disto, como a tensão nominal das células é elevada e os elétrodos apresentam bons níveis de capacidade específica, esta configuração é dotada de níveis elevados de energia e potência específica, e ainda suportam um elevado número de ciclos de vida [11].

As principais desvantagens desta tecnologia estão relacionadas com a segurança na sua utilização, que requer a monitorização e controlo das células de modo a garantir que estas operam dentro do *Safe Operation Area* (SOA), e custo dos materiais para a sua fabricação.

Foi com este tipo de células (Panasonic 18650 NCA) que a fabricante Tesla equipou o pack de baterias quer do Model S e do Model X, Figura 4 [12].



Figura 4 - À esquerda: Tesla Model S; À direita: Respetiva Células Panasonic 18650 NCA

### 3.3 Baterias de NMC

Estas células baseiam-se numa combinação de níquel-manganês-cobalto no cátodo. O níquel é utilizado nas baterias porque proporciona valor de energia específica elevados, mas é pouco estável. Por sua vez, a utilização do manganês faz com que a resistência interna baixe, devido à estrutura tridimensional por ele criado, mas oferece baixos valores de energia específica. A associação destes dois materiais enriquece as características da bateria ao encarecer as limitações de ambos.

Estes tipos de células apresentam dos níveis mais elevados de energia específica e das que suportam um maior número de ciclos de vida, comparativamente aos outros tipos.



Figura 3- À esquerda: Autocarro BYD 100% elétrico; À direita: Respetivo Pack de baterias LFP

As células NMC desempenham uma elevada performance, nomeadamente por suportarem elevadas taxas de descarga a baixas temperaturas e por serem células de fácil monitorização térmica e elétrica [9]. Para além do baixo custo e da grande disponibilidade dos materiais que a compõe, estas apresentam níveis de segurança satisfatórios e neste âmbito existem alguns estudos que indicam que estão a ser desenvolvidas novas tecnologias de NMC capaz de atingir melhores níveis, tal como nas células LFP [13].

Foi com este tipo de células, da fabricante AECS, que a Nissan equipou o pack de baterias do novo modelo Nissan Leaf (2018), Figura 5 [14]



Figura 5 - Nissan Leaf 2018

#### 4 Comparação de tecnologias e discussão de resultados

A análise comparativa dos diferentes tipos de células é importante, de modo maximizar os requisitos técnico-práticos para o sistema de armazenamento de energia (SAE) em função da aplicação desejada.

As 3 tecnologias de células serão comparadas em termos de desempenho específico, níveis de segurança, número de ciclos de vida, custo e performance.

A Tabela 3 apresenta especificações técnicas genéricas das 3 células abordadas neste artigo [15].

No que diz respeito à quantidade de energia eletroquímica que podem armazenar, valores correlacionados com a tensão nominal, as células de LFP representam cerca de metade da quantidade de energia que as células NCA e NMC conseguem armazenar. Apesar disso, este tipo de célula apresenta o melhor nível de segurança, é a que possui maior número de ciclos de vida e apresenta elevada densidade de potência. Por outro lado, as células NCA e NMC possuem não só elevados níveis de energia específica, mas também de densidade de potência, valores expressos na tabela em função da taxa de carga e descarga (C-rate). As principais diferenças entre estes 2 tipos de células estão relacionadas com os níveis de segurança e com o tempo de vida útil, pelo que por estes 2 fatores, a célula NMC possui níveis mais favoráveis do que NCA.

Tabela 3 - Especificações técnicas genéricas das células LFP, NCA e NMC

Especificações técnicas	LFP	NCA	NMC
Tensão Nominal (V)	3,2	3,6	3,7
Tensão de Carga (V)	3,6	4,2	4,2
Energia Específica (Wh/kg)	100-160	200-300	200-300
Densidade Potência (C-rate)	30	20	20
Temperatura de funcionamento (°C)	-30 a 60	-20 a 60	-20 a 60
Rutura térmica (°C)	270	150	210
Níveis de Segurança	Excelente	Médio/Baixo	Médio
Ciclos de vida	5000 +	2000 +	2000 +

Tendo em conta todas as características e especificações técnicas enunciadas para as 3 células apresentadas, a Tabela 4 atribui uma classificação qualitativa aos indicadores característicos (Energia, Potência, Ciclos de Vida, Segurança, Performance e Custo).

Tabela 4- Comparação qualitativa dos tipos de células

	Energia	Potência	Ciclos de vida	Segurança	Performance	Custo
LFP	-	+++	+++	+++	+	++
NCA	+++	+++	++	+	++	+
NMC	+++	+++	++	++	++	++

## 5 Conclusão

Os VEs apresentam cada vez mais relevo com uma solução para a mobilidade sustentável e eficiente.

Neste artigo foram apresentadas e comparadas as tecnologias de baterias mais utilizadas em veículos ligeiros e pesados.

De todas as tecnologias existentes, as células LFP, NCA e NMC têm o melhor nível de maturidade tecnológica e são amplamente utilizadas em SAE de VEs.

Estas são caracterizadas por suportar elevadas taxas de carga e descarga, por suportar um elevado número de ciclos de vida, terem uma baixa necessidade de manutenção e por não possuírem efeito de memória.

As baterias de íões de lítio têm um enorme potencial, são uma tecnologia cada vez mais barata devido ao aumento da procura, possuem elevados níveis de energia e potência, assegurando uma elevada autonomia ao veículo e segurança.

## Bibliografia

- [1] A. Gören, C. Costa e S. Lanceros-Méndez, "Baterias de íões-lítio: a revolução na mobilidade elétrica?," *Gazeta de Física - Artigo Geral*, vol. 41, p. 7, 2018.
- [2] EDP Distribuição, "Tipos de veículos elétricos existentes," [Online]. Available: <https://www.edpdistribuicao.pt/pt-pt/redes-do-futuro/mobilidade-eletrica/veiculos-eletricos>. [Acedido em janeiro 2020].
- [3] S. Dhameja, *Electric Vehicle Battery Systems*, Newnes, 2001, p. 252.
- [4] H. Martins, "Estudo das Tecnologias de Baterias e Supercondensadores para Veículos Elétricos e desenvolvimento," 2018.
- [5] L. Chagas, A. Urbano e J. Scarminio, "Princípios Físicos e Químicos de Baterias de Íon Lítio," *Laboratório de Filmes Finos e Materiais*, 2000.
- [6] M. Lowe, S. Tokuoka, T. Trigg e G. Gereffi, "Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles," CGGC researcher, 2010.
- [7] "BU-808c: Coulombic and Energy Efficiency with the Battery," janeiro 2020. [Online].
- [8] "Battery University," DEzembro 2019. [Online]. Available: [https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats\\_the\\_best\\_batter](https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_batter).
- [9] ARB - California Air Resources Board, "Advanced Clean Transit Battery Cost for Heavy-Duty Electric Vehicles," 2016.
- [10] A. PadhiK, S. Nanjundaswamy e J. Goodenough, "Phospho-Olivines as Positive-Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 144, no. 4, p. 1188, 1997., vol. 144, p. 1188, 1997.
- [11] B. Xu, A. Oudalov, A. Ulbig, G. Andersson e D. Kirschen, "Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vols. %1 de %299(2):1-1, june 2016.
- [12] Tesla, "Model S," janeiro 2020. [Online]. Available: [https://www.tesla.com/pt\\_PT/models](https://www.tesla.com/pt_PT/models).
- [13] IDTechEx, "Electric bus sector is game changer for battery market," dezembro 2019. [Online]. Available: <https://www.idtechex.com/ko/research-article/electric-bus-sector-is-game-changer-for-battery-market/9175>.
- [14] Nissan, "2018 Nissan LEAF = Best of Innovation Winner at CES 2018," 2020. [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2017/11/13/2018-nissan-leaf-best-innovation-winner-ces-2018/>.
- [15] B. U. Group, "Advantages and limitations of the Different Types of Batteries - Battery University," 2019. [Online].
- [16] Lighting Global, "Lithium-ion Batteries Part I: General Overview and 2019 Update," *TECHNICAL NOTES*, junho 2019.

**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 Biotecnologia 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 Cursos na CIBERTEC – 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, telecomunicações, segurança, gestão de energia, eficiência energética, a diversas entidades, nomeadamente NORMA – Consultores de Engenharia, SA, Schumal – Engenharia e Serviços, Lda; ENERGO – Consultores de Engenharia, Lda; EQ – Instituto de Soldadura e Qualidade; Quaternos – Fabrica de Quadros Elétricos, SA; IEP – Instituto Eletrotécnico Português; CENBITEC – Centro de Energia e Tecnologia; ANACOM – Autoridade Nacional das Telecomunicações; IET – Instituto para o Desenvolvimento Tecnológico; EDM – Agência de Energia Entre Douro e Minho.

**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 do Vale de Cambria 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.



## 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 Fragoço 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](mailto: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](mailto: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**

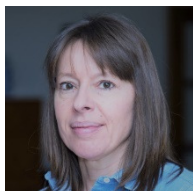
Received the B.Sc. degree in electrical engineering from the Azad university of Najaf Abad, Iran, 2013. She is currently studying toward the M.Sc. degree in power system in the IPP-ISEP, Porto, Portugal. She is a Researcher with GECAD — Research Group on Intelligent Engineering and Computing for Advanced 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](mailto: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](mailto: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.

