



MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AGROECOLOGIA 4

Tayronne de Almeida Rodrigues
João Leandro Neto
Dennyura Oliveira Galvão
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Tayronne de Almeida Rodrigues
João Leandro Neto
Dennyura Oliveira Galvão
(Organizadores)

Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

M514 Meio ambiente, sustentabilidade e agroecologia 4 [recurso eletrônico]
/ Organizadores Tayronne de Almeida Rodrigues, João Leandro Neto, Dennyura Oliveira Galvão. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-330-9

DOI 10.22533/at.ed.309191604

1. Agroecologia – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente – Pesquisa – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Rodrigues, Tayronne de Almeida. II. Leandro Neto, João. III. Galvão, Dennyura Oliveira. IV. Série.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

APRESENTAÇÃO

A obra Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia vem tratar de um conjunto de atitudes, de ideias que são viáveis para a sociedade, em busca da preservação dos recursos naturais.

Em sua origem a espécie humana era nômade, e vivia integrada a natureza, sobreviviam da caça e da colheita. Ao perceber o esgotamento de recursos na região onde habitavam, migravam para outra área, permitindo que houvesse uma reposição natural do que foi destruído. Com a chegada da agricultura o ser humano desenvolveu métodos de irrigação, além da domesticação de animais e também descobriu que a natureza oferecia elementos extraídos e trabalhados que podiam ser transformados em diversos utensílios. As pequenas tribos cresceram, formando cidades, reinos e até mesmo impérios e a intervenção do homem embora pareça benéfica, passou a alterar cada vez mais negativamente o meio ambiente.

No século com XIX as máquinas a vapor movidas a carvão mineral, a Revolução Industrial mudaria para sempre a sociedade humana. A produção em grande volume dos itens de consumo começou a gerar demandas e com isso a extração de recursos naturais foi intensificada. Até a agricultura que antes era destinada a subsistência passou a ter larga escala, com cultivos para a venda em diversos mercados do mundo. Atualmente esse modelo de consumo, produção, extração desenfreada ameaça não apenas a natureza, mas sua própria existência. Percebe-se o esgotamento de recursos essenciais para as diversas atividades humanas e a extinção de animais que antes eram abundantes no planeta. Por estes motivos é necessário que o ser humano adote uma postura mais sustentável.

A ONU desenvolveu o conceito de sustentabilidade como desenvolvimento que responde as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer seus próprios anseios. A sustentabilidade possui quatro vertentes principais: ambiental, econômica, social e cultural, que trata do uso consciente dos recursos naturais, bem como planejamento para sua reposição, bem como no reaproveitamento de matérias primas, no desenvolvimento de métodos mais baratos, na integração de todos os indivíduos na sociedade, proporcionando as condições necessárias para que exerçam sua cidadania e a integração do desenvolvimento tecnológico social, perpetuando dessa maneira as heranças culturais de cada povo. Para que isso ocorra as entidades e governos precisam estar juntos, seja utilizando transportes alternativos, reciclando, incentivando a permacultura, o consumo de alimentos orgânicos ou fomentando o uso de energias renováveis.

No âmbito da Agroecologia apresentam-se conceitos e metodologias para estudar os agroecossistemas, cujo objetivo é permitir a implantação e o desenvolvimento de estilos de agricultura com maior sustentabilidade, como bem tratam os autores desta obra. A agroecologia está preocupada com o equilíbrio da natureza e a produção de alimentos sustentáveis, como também é um organismo vivo com sistemas integrados

entre si: solo, árvores, plantas cultivadas e animais.

Ao publicar esta obra a Atena Editora, mostra seu ato de responsabilidade com o planeta quando incentiva estudos nessa área, com a finalidade das sociedades sustentáveis adotarem a preocupação com o futuro. Tenham uma excelente leitura!

Tayronne de Almeida Rodrigues

João Leandro Neto

Dennyura Oliveira Galvão

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
SYNTHESIS OF TRANSITION METAL NITRIDE AT LOW TEMPERATURE FROM COMPLEXED PRECURSOR	
Rayane Ricardo da Silva Carlson Pereira de Souza André Luís Lopes Moriyama	
DOI 10.22533/at.ed.3091916041	
CAPÍTULO 2	8
TÉCNICAS ASSOCIADAS DE REMEDIAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA E DO SOLO POR HIDROCARBONETOS: ESTUDO DE CASO EM POSTO DE COMBUSTÍVEL	
José Eduardo Taddei Cardoso Paulo Cesar Lodi Ana Maria Taddei Cardoso de Barros	
DOI 10.22533/at.ed.3091916042	
CAPÍTULO 3	17
TÉCNICAS DE MANEJO PARA RECUPERAÇÃO DE POMAR DE CUPUAÇUZEIRO COM HISTÓRICO DE ALTA INFESTAÇÃO DA DOENÇA VASSOURA-DE-BRUXA	
Hyanameyka Evangelista de Lima Primo Teresinha Silveira Costa Albuquerque Alcides Galvão dos Santos Rosiere Fonteles de Araújo Ezequiel Souza Queiroz Raimundo Silva Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.3091916043	
CAPÍTULO 4	26
TELECONEXÕES ENTRE O EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E O MODO ANULAR AUSTRAL EM EVENTOS EXTREMOS DE ONDA NAS REGIÕES OCEÂNICAS SUL E SUDESTE DO BRASIL	
Luthiene Alves Dalanhese Thaís Lobato Sarmento André Luiz Belém	
DOI 10.22533/at.ed.3091916044	
CAPÍTULO 5	38
TOPOSLICER® SOFTWARE FOR BIOINSPIRATION USING DOD INKJET PRINTING: FROM AFM IMAGE OF LEAFS TEMPLATES TO A PVB REPLICA OF NON-WETTING SURFACES	
Rosely Santos de Queiroz Elibe Silva Souza Negreiros Sílvio Barros de Melo Severino Alves Júnior Petrus d'Amorim Santa Cruz Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3091916045	

CAPÍTULO 6 45

UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE PROSIMPLUS® PARA SIMULAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONVENCIONAL

Tatiana da Silva Sant'Ana
Thaís Cardozo Almeida
Sávio de Meneses Leite Asevedo
Isabella Muniz Monteiro Neves
Elisa Barbosa Marra
Camilla Rocha de Oliveira Fontoura
Moisés Teles Madureira
Cristiane de Souza Siqueira Pereira

DOI 10.22533/at.ed.3091916046

CAPÍTULO 7 54

REMOÇÃO DE CIANOTOXINAS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque
Amanda da Silva Barbosa Cartaxo
Ana Alice Quintans de Araújo
Regina Wanessa Geraldo Cavalcanti Lima
Kely Dayane Silva do Ó
Wilton Silva Lopes

DOI 10.22533/at.ed.3091916047

CAPÍTULO 8 65

REMOÇÃO DE EFLUENTE AZUL DE METILENO A PARTIR DA INCLUSÃO DO ADSORVENTE FORMADO POR ÓXIDO DE GRAFITE MISTURADO EM AREIA

Daniel Mantovani
Aline Takaoka Alves Baptista
Luís Fernando Cusioli
Paulo Cardozo Carvalho Araújo
Renan Araújo De Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.3091916048

CAPÍTULO 9 73

REPRODUÇÃO E PREFERÊNCIA DE *Callosobruchus maculatus* (FABRICIUS) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) SUBMETIDOS A EXTRATOS DE *Caesalpinia pyramidalis* Tul

Delzuite Teles Leite
Adcleia Pereira Pires
Fabricio Chagas Sobrinho
Claudia Oliveira dos Santos
Edson Braz Santana

DOI 10.22533/at.ed.3091916049

CAPÍTULO 10 79

SOLUÇÃO BIOTECNOLÓGICA APLICADA EM REDE DE TRANSPORTE DE ESGOTO PARA REDUÇÃO DE GÁS ODORÍFICO (H₂S)

Abraão Evangelista Sampaio
Almira dos Santos França Carvalho
Marylia Albuquerque Braga
Marcius Guimarães Pinheiro de Lemos

DOI 10.22533/at.ed.30919160410

CAPÍTULO 11 89

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS ARGILO-POLIMÉRICOS PARA O REUSO DE ÁGUA

Roberto Rodrigues Cunha Lima
Gabriela Medeiros dos Santos
Paulla Beatriz França de Sousa
Paulo Douglas Santos de Lima

DOI 10.22533/at.ed.30919160411

CAPÍTULO 12 101

ANÁLISE DE FALHAS E RISCOS AMBIENTAIS: O USO DA FERRAMENTA FMEA NA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NO CAMPUS JOÃO PESSOA DO IFPB

Jéssica Silva Ramalho
Adriano Lucena da Silva
Maria Deise da Dores Costa Duarte

DOI 10.22533/at.ed.30919160412

CAPÍTULO 13 111

ANÁLISE DE EFICIENCIA DE UM COLETOR SOLAR PVT POR SIMULAÇÃO NUMÉRICA COM BASE NO MAPA SOLARIMETRICO DE MINAS GERAIS

Geisiane Aparecida de Lima
Fábio Moreira Teixeira
Marcos Vinícius da Silva
Rudolf Huebner
Lucas Paglioni Pataro Faria

DOI 10.22533/at.ed.30919160413

CAPÍTULO 14 120

ANÁLISE DE FOURIER PARA IDENTIFICAÇÃO DOS PERÍODOS DOMINANTES INTRADIÁRIOS DO FLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO NA FLORESTA DE TRANSIÇÃO EM SINOP-MT

Stéfano Teixeira Silva
Sergio Roberto de Paulo
Adriel Martins Lima
Leomir Batista Neres
Ricardo Vanjura Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.30919160414

CAPÍTULO 15 134

LEVANTAMENTO DAS ETNOVARIEDADES DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*) NOS ECOSISTEMAS DE TERRA FIRME NAS COMUNIDADES DO LAGO DO ANTÔNIO, PROJETO DE ASSENTAMENTO AGROEXTRATIVISTA SÃO JOAQUIM –HUMAITÁ/AM

Erika Micheilla Brasil
Aurelio Diaz
Sonia Maria Bezerra

DOI 10.22533/at.ed.30919160415

CAPÍTULO 16	141
MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO NA ATMOSFERA POR AMOSTRAGEM PASSIVA COMO PARTE DA GESTÃO AMBIENTAL EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR	
Karina Stella da Silva Ferreira dos Santos Aurora Mariana Garcia de Franca Souza	
DOI 10.22533/at.ed.30919160416	
CAPÍTULO 17	148
NANOGERADORES TRIBOELÉTRICOS: NOVOS DISPOSITIVOS PARA ENERGY HARVESTING	
Nilsa Toyoko Azana Pei Jen Shieh Talita Mazon Natanael Lopes Dias Antônio Carlos Camargo do Amaral	
DOI 10.22533/at.ed.30919160417	
CAPÍTULO 18	157
NANOTUBOS DE TITANATO DE SÓDIO E NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO: SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO NA REMEDIAÇÃO DE EFLUENTESCONTENDO O CORANTE RODAMINA B	
Francisco Xavier Nobre Rosane dos Santos Bindá Elton Ribeiro da Silva Rodrigo Muniz de Souza José Milton Elias de Matos Lizandro Manzato Yurimiler Leyet Ruiz Walter Ricardo Brito Paulo Rogério da Costa Couceiro	
DOI 10.22533/at.ed.30919160418	
CAPÍTULO 19	175
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR	
Marcelo Vitor Ferreira Machado José Brant de Campos Marilza Sampaio Aguiar Vitor Santos Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.30919160419	
CAPÍTULO 20	184
BATERIAS LI-O ₂ E A INFLUÊNCIA DE ESTRUTURAS CATALÍTICAS AO ELETRODO DE OXIGÊNIO	
Gustavo Doubek Leticia Frigerio Cremasco André Navarro de Miranda Lorrane Cristina Cardozo Bonfim Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.30919160420	

CAPÍTULO 21	197
BIOSENSORES À BASE DE ÓXIDOS METÁLICOS TRANSPARENTES: TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO (FETS) E NANOFIOS	
Cleber Alexandre de Amorim Kate Cristina Blanco Ivani Meneses Costa Adenilson José Chiquito	
DOI 10.22533/at.ed.30919160421	
CAPÍTULO 22	214
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E TÉRMICAS DE BLENDS POLIMÉRICAS DE PHBV COM ELASTÔMEROS	
Fernanda Menezes Thais Ferreira da Silva Fábio Roberto Passador Ana Paula Lemes	
DOI 10.22533/at.ed.3091916042122	
CAPÍTULO 23	227
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DE TAMARILHO EM FUNÇÃO DO ENSACAMENTO	
Fábio Oseias dos Reis Silva José Darlan Ramos Nathalia Vállery Tostes Iago Reinaldo Cometti Alexandre Dias da Silva Letícia Gabriela Ferreira de Almeida Renata Amato Moreira Miriã Cristina Pereira Fagundes Verônica Andrade dos Santos Giovani Maciel Pereira Filho	
DOI 10.22533/at.ed.3091916042123	
CAPÍTULO 24	233
CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E QUALIDADE FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE JACARANDÁ-DA-BAHIA (<i>Dalbergia nigra</i> (VELL.) FR. ALL. EX BENTH.)	
Tatiana Reis dos Santos Bastos Jacqueline Rocha Santos Cleidiane Barbosa dos Santos Jerffson Lucas Santos Otoniel Magalhães Morais	
DOI 10.22533/at.ed.3091916042124	
CAPÍTULO 25	239
ESTUDO COMPARATIVO DE PEROVSKITAS CATALÍTICAS OBTIDAS POR MÉTODOS QUÍMICOS MOLHADOS PARA CONVERSÃO DOS COV'S	
Cássia Carla de Carvalho Anderson Costa Marques Alexandre de Souza Campos Felipe Olobardi Freire Filipe Martel de Magalhães Borges	

CAPÍTULO 26 249

**AVALIAÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTOS DA MICRO BACIA TIETÊ BATALHA
POR MEIO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)**

Ana Maria Taddei Cardoso de Barros

Paulo Cesar Lodi

José Eduardo Taddei Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.3091916042126

CAPÍTULO 27 261

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA ZONA INDUSTRIAL DO MENDANHA,
CAMPO GRANDE, RJ**

Ana Cláudia Pimentel de Oliveira

Alessandra Matias Alves

Aron da Silva Gusmão

Devyd de Oliveira da Silva

Tatiane Vieira de Menezes Coelho

DOI 10.22533/at.ed.3091916042127

CAPÍTULO 28 271

**AVALIAÇÃO ECOTÓXICOLOGICA DE EFLUENTES NA ZONA INDUSTRIAL DE
SANTA CRUZ, RJ**

Ana Cláudia Pimentel de Oliveira

Tatiane Vieira de Menezes Coelho

Sirléia Conceição de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.3091916042128

CAPÍTULO 29 283

**INFLUENCE OF DIFFERENT PERCENTAGES OF ALUMINA ADDITION IN THE
HIGH ENERGY BALL MILLING PROCESS OF THE AISI 52100 STEEL**

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

Carlos Alberto Rodrigues

Geovani Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.3091916042129

CAPÍTULO 30 290

**ON THE ASSESSMENT OF DYE RETENTION IN QUARTZ-BASED CERAMIC
POROUS MATERIAL BY OPTICAL FIBER SENSOR**

Marco César Prado Soares

Murilo Ferreira Marques Santos

Egont Alexandre Schenkel

Beatriz Ferreira Mendes

Gabriel Perli

Samuel Fontenelle Ferreira

Eric Fujiwara

Carlos Kenichi Suzuki

DOI 10.22533/at.ed.3091916042130

CAPÍTULO 31 296
APLICAÇÃO DE ÓXIDOS CONDUTORES TRANSPARENTES PARA DETECÇÃO
DE PRODUTOS ENZIMÁTICOS MICROBIANOS

Cleber Alexandre de Amorim
Kate Cristina Blanco

DOI 10.22533/at.ed.3091916042131

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 311

BATERIAS LI-O₂ E A INFLUÊNCIA DE ESTRUTURAS CATALÍTICAS AO ELETRODO DE OXIGÊNIO

Gustavo Doubek

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Química
Campinas – SP

Leticia Frigerio Cremasco

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Química
Campinas – SP

André Navarro de Miranda

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Química
Campinas – SP

Lorrane Cristina Cardozo Bonfim Oliveira

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Química
Campinas - SP

RESUMO: Baterias Li-O₂ ou Li-air são dispositivos eletroquímicos para o armazenamento de energia elétrica que possuem a maior densidade energética possível. Com uma capacidade aproximadamente 5 vezes maior do que baterias tradicionais de íons de lítio e densidade energética semelhante à gasolina, as baterias Li-O₂ têm atraído a atenção dos pesquisadores. Resumidamente, esses são dispositivos eletroquímicos para o armazenamento de energia elétrica baseados na reação de íons de Lítio com o oxigênio. As baterias de Li-O₂

são compostas essencialmente de um eletrodo de lítio metálico, um eletrólito e um eletrodo poroso que adsorve oxigênio. Na descarga, o lítio metálico (ânodo) é oxidado formando íons Li⁺ que por sua vez são conduzidos através do eletrólito até o cátodo onde a reação com o oxigênio ocorre. Durante a carga há liberação de oxigênio, revertendo o processo. Apesar dos diversos avanços alcançados nos últimos anos, ainda são muitos os desafios a serem enfrentados para que seja desenvolvido um protótipo comercial aplicável aos veículos elétricos. Dentre esses desafios estão o desenvolvimento de um eletrodo difusor de gás eficiente, um eletrólito estável dentro da faixa de potencial de operação da célula e catalisadores que promovam uma melhor ciclabilidade e eficiência do dispositivo. Nesse sentido, esse capítulo introduz os conceitos básicos acerca da tecnologia lítio-O₂, apresenta os avanços já obtidos, bem como os desafios a serem enfrentados nos próximos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Baterias Li-O₂, Eletrodos porosos, Dispositivos de armazenamento de energia.

ABSTRACT: Li-O₂ or Li-Air batteries are energy storage devices which have the highest possible energy density. With a capacity 5 times greater than current lithium ion batteries and an energy density paired with gasoline, the Li-O₂ battery has

attracted the attention of researcher in the field. In summary, these are electrochemical devices for energy storage based on the reaction between lithium ions and oxygen. They consist of a metallic lithium foil, an electrolyte solution and a porous electrode that adsorbs oxygen. During discharge, the lithium anode is oxidized to Li^+ , which are conducted through the electrolyte to the cathode, where the reaction with oxygen occurs. During charge, the process is reversed, releasing oxygen. Despite the many technological advances achieved during the past years, there are still many challenges to be surpassed so that a commercial prototype is available for electric vehicles application. Among these challenges are the development of an efficient gas diffusion electrode, a stable electrolyte solution within the potential range of cell operation and catalysts that promote a better cycling and device efficiency. Accordingly, this chapter introduces the basic concepts of the Li- O_2 technology, reports the improvements and the challenges to be faced in the upcoming years.

KEYWORDS: Li- O_2 batteries, Porous electrodes, Energy storage devices.

1 | BREVE INTRODUÇÃO ÀS BATERIAS LÍTIO-AR

Baterias de Lítio- O_2 ou ainda Lítio-Ar são dispositivos eletroquímicos para o armazenamento de energia elétrica baseados na reação de íons de Lítio com o oxigênio, seja ele atmosférico ou não (BRUCE *et al.*, 2012). O interesse em tal tecnologia advém da sua altíssima densidade energética, sendo comparada a densidade energética de combustíveis fósseis, como a Gasolina (GIRISHKUMAR *et al.*, 2010). Dispositivos Li- O_2 tem uma densidade energética teórica (excluindo oxigênio) de $11.430 \text{ Wh.kg}^{-1}$, e uma densidade energética prática estimada em $\sim 3500 \text{ Wh.kg}^{-1}$ (IMANISHI; LUNTZ; BRUCE, 2014). Tal valor é bastante superior aos atuais $200 - 250 \text{ Wh.kg}^{-1}$ de baterias tradicionais de Li-íon, o que as tornam candidatas favoráveis a uma série de aplicações caso se possam vencer os inúmeros desafios tecnológicos e científicos ainda existentes dos quais são aqui colocados alguns (IMANISHI; LUNTZ; BRUCE, 2014).

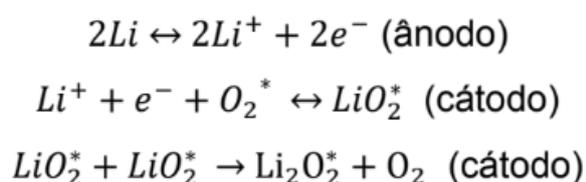
A grande diferença entre baterias de íons-lítio e lítio oxigênio reside na forma como o dispositivo funciona. Em baterias tradicionais a carga e descarga das células ocorre por um processo de intercalação dos íons Li^+ em sais contendo principalmente Fe, Co e Mn, assim a massa do lítio corresponde apenas a uma pequena fração da massa total do dispositivo. Em baterias Li- O_2 a carga e descarga advêm de reações eletroquímicas entre os íons de Li^+ e o O_2 diretamente (RAHMAN; WANG; WEN, 2014). Logicamente ainda há a necessidade de uma matriz condutora para que estas reações possam ocorrer, porém estas são usualmente a base de carbono, com alta área superficial, tornando assim o dispositivo muito mais leve para uma mesma capacidade de carga.

Existem quatro diferentes tipos de baterias Li- O_2 , e elas são classificadas quanto ao tipo de eletrólito empregado em sua construção, podendo ser aquosas, não aquosas (ou apróticas), híbridas e de estado sólido. Devido à complexidade dos dispositivos das

demais configurações, as células apróticas são as mais frequentemente estudadas e serão apenas essas abordadas nesse capítulo (GIRISHKUMAR *et al.*, 2010).

Na literatura encontramos as terminologias Li-O₂ e Li-ar para a tecnologia, sendo a terminologia Li-O₂ a mais usual em artigos científicos visto que a maioria dos autores traz resultados utilizando O₂ puro como gás reagente. De qualquer modo, a base de seu funcionamento é igual e se baseia nas reações entre o Li⁺ e o O₂.

Apesar de ser uma reação simples, há vários mecanismos propostos na literatura e uma discussão sobre os intermediários, o que também irá depender do eletrólito e eletrodo empregado. Porém, de modo simplificado podemos descrever tais reações como abaixo (IMANISHI; LUNTZ; BRUCE, 2014; RAHMAN; WANG; WEN, 2014):



Na bateria temos que no ciclo de descarga o Li⁺ em solução reage com o O₂ adsorvido na superfície de um material catalítico. Para completar a reação há ainda a participação de 1 elétron que foi conduzido pelo material do eletrodo. Logo também vemos que para que o dispositivo funcione há a necessidade que o material do eletrodo seja condutor elétrico e que também seja recoberto por um material que permita a adsorção do oxigênio. O O₂ adsorvido pode ter sua origem tanto do ar atmosférico como do gás puro, difundindo-se pelo eletrodo até chegar em um sítio ativo que o adsorve. Logo também se percebe que para o funcionamento deste dispositivo há o que chamamos de tripla-fase reacional (SHAO *et al.*, 2012). Nesta região coexistem a fase sólida (eletrodo), fase líquida (solução eletrolítica) e fase gasosa (ar ou O₂). O gerenciamento e importância desta tripla fase será discutido mais a frente. A reação entre o Li⁺ e o O₂ adsorvido resulta primordialmente no peróxido de Lítio (Li₂O₂) como produto de descarga que se acumula no eletrodo da bateria.

No ciclo de carga da bateria, temos a reação reversa, na qual o Li₂O₂ é decomposto novamente em íons de Li⁺ e O₂ molecular que retorna para a atmosfera. Esta reação também libera um elétron que é conduzido até o outro polo da bateria. Neste outro eletrodo o Li⁺ em solução é reduzido para lítio metálico. Assim um dos eletrodos da bateria precisa ser composto de um material poroso para a difusão e adsorção do O₂ e também para acomodar o Li₂O₂ formado, e o outro eletrodo tipicamente consiste em uma placa de lítio metálico, que é oxidada e reduzida nos ciclos de descarga e carga, respectivamente. Outro ponto importante para destacar, embora seja alvo de discussão nos tópicos subsequentes, diz respeito à decomposição do Li₂O₂. Por ser um produto sólido que durante a descarga recobre o eletrodo de O₂, há inúmeros problemas decorrentes como entupimento da matriz porosa, desativação do sítio

ativo e isolamento elétrico do mesmo além de um gasto energético alto para a sua decomposição devido à energia de ativação para a reação, reduzindo assim a eficiência global e vida útil do dispositivo (GITTLESON; RYU; TAYLOR, 2014) observe the precipitation of stable and reversible lithium superoxide (LiO_2). Por isso é fundamental tanto a seleção dos materiais, como o controle sobre a morfologia do eletrodo de O_2 para mitigar tais fenômenos.

Neste capítulo serão apresentados os principais desafios tecnológicos e científicos desta tecnologia e também uma discussão sobre os principais materiais utilizados para a construção dos eletrodos de oxigênio, suas limitações e avanços.

2 | DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA A TECNOLOGIA LÍTIO-AR

Conforme mencionado anteriormente, a tecnologia lítio-ar tem um grande potencial devido à sua alta densidade energética teórica. Entretanto, durante o funcionamento do dispositivo, uma série de fenômenos - como a formação de dendritos de lítio, obstrução dos poros do cátodo e passivação elétrica, instabilidade e evaporação do eletrólito, ocorrência de reações paralelas - faz com que o dispositivo assuma características como baixas ciclabilidade e estabilidade eletroquímica e baixa eficiência elétrica, fatores que entram a atual aplicação dessa classe de células em dispositivos elétricos práticos (GIRISHKUMAR *et al.*, 2010).

O ânodo de lítio da célula de lítio- O_2 é o seu componente mais bem consolidado, de modo que a maior parte dos desafios que a tecnologia enfrenta estão associados ao cátodo. Ainda assim, a formação de dendritos de lítio se apresenta como um problema para as baterias, pois afeta a segurança do dispositivo. Durante a carga, a reação de redução do lítio ocorre preferencialmente em regiões de alta energia superficial, com defeitos cristalinos, o que leva a formação dessas estruturas pontiagudas que podem ocasionar um curto-circuito na bateria, caso se desprendam do ânodo. O crescimento dos dendritos é favorecido pela aplicação heterogênea de densidades de correntes sobre a interface metal-eletrólito, na qual os pontos de alta condutividade dos íons de lítio aceleram o crescimento do lítio metálico (FAROOQUI; AHMAD; HAMID, 2017; JANG; HIDAKA; ISHIHARA, 2013). Algumas estratégias encontradas para se evitar este fenômeno são o revestimento do ânodo com cerâmicas porosas, polímeros semipermeáveis ou filmes de carbono (XU *et al.*, 2017), o encapsulamento do lítio metálico em nanoestruturas (LIANG *et al.*, 2015) ou a utilização de aditivos que formam amalgamas (e.g. Mg^{2+}) (RICHARDSON; CHEN, 2007).

Em relação aos desafios relacionados ao cátodo, a ocorrência de reações paralelas é uma questão frequentemente abordada em estudos envolvendo a tecnologia lítio-ar. A cinética lenta das reações das baterias de lítio-ar torna necessária a aplicação de altos sobrepotenciais, principalmente durante a carga, fato que induz a degradação de diversos componentes da célula, sendo degradação do material do cátodo e do

eletrólito os mais recorrentes. Tais subprodutos são difíceis de decompor e acabam por bloquear os caminhos para a passagem de O_2 e de íons (LIU *et al.*, 2017a).

Materiais carbonosos são materiais bem estabelecidos para aplicação em eletrodos para dispositivos de armazenamento de energia. Entretanto, já foi observado que o Li_2O_2 depositado no eletrodo como produto de descarga causa alterações importantes no volume do material de carbono, acarretando na degradação dessa estrutura e, conseqüentemente, num desempenho insatisfatório da célula. Alguns estudos reportam a oxidação desse carbono do cátodo e a formação de grupos epóxi e carbonados, principalmente Li_2CO_3 , um produto insolúvel no eletrólito que causa a obstrução dos poros do cátodo e passivação elétrica do mesmo (MCCLOSKEY *et al.*, 2012). Além disso, o carbonato de lítio é decomposto apenas em potenciais altos ($>4,0$ V vs. Li^+/Li^0), o que causaria a degradação do eletrólito (LIU *et al.*, 2017a).

A escolha da solução eletrolítica é também um dos grandes desafios que as baterias Li-ar enfrentam. Os eletrólitos não aquosos são compostos por um solvente e um sal de lítio, e têm profunda influência nas reações catódicas, anódicas e na ciclabilidade das baterias. Os solventes mais usados são éteres (*e.g.* DME), amidas (*e.g.* DMF, DMA), sulfonas (*e.g.* TMS, EMS), líquidos iônicos (*e.g.* PP13TFSI) e DMSO. Os sais de lítio mais utilizados são o $LiPF_6$, $LiClO_4$, $LiTFSI$, $LiBF_4$, $LiB(CN)_4$, $LiNO_3$ e $LiSO_3CF_3$. Não é tão simples determinar o eletrólito para o sistema Li- O_2 , uma vez que a eficiência do mesmo depende da sinergia entre o solvente, o sal, o material catódico, o ânodo e a janela de potencial em que se trabalha (IMANISHI; LUNTZ; BRUCE, 2014). A instabilidade tanto do solvente quanto do sal na presença das espécies intermediárias da reação de redução do oxigênio (RRO), como o superóxido e óxidos de lítio, e do peróxido de lítio (FAROOQUI; AHMAD; HAMID, 2017) sobrecarrega a célula e promove a ocorrência de reações secundárias que levam a formação de subprodutos de reação. Radicais superóxido formados durante o processo de descarga podem reagir com átomos de carbono do eletrólito, levando à degradação do mesmo (LIU *et al.*, 2017a). Eletrólitos à base de carbonato, por exemplo, são conhecidos por sofrer ataque nucleofílico e formar $LiOH$, Li_2CO_3 e outros carbonatos orgânicos. Por outro lado, solventes dos grupos dos éteres, aminos e sulfonados promovem a formação do Li_2O_2 como principal produto de descarga. As propriedades do eletrólito empregado influenciam fortemente na química da célula. Além de uma janela de operação satisfatória, o número de Donor é um parâmetro relevante para a escolha do eletrólito. Alguns estudos demonstram que em eletrólitos com número de Donor alto, a reação de desproporção do LiO_2 induz à precipitação do Li_2O_2 em partículas toroidais, que leva a uma menor passivação do eletrodo para a reação eletroquímica na superfície (WANG *et al.*, 2017).

Além desses fatores que entram a ciclabilidade do dispositivo, a baixa eficiência elétrica das células lítio-ar também é um desafio que adia sua aplicação prática. Os dispositivos lítio-ar atuais exibem altos sobrepotenciais associados às reações direta e reversa. O sobrepotencial é definido como a diferença entre o potencial de carga

ou descarga em relação ao potencial padrão de reação de formação do Li_2O_2 , que é 2,96 V. Esse valor corresponde à energia adicional requerida pelo sistema para conduzir as reações eletroquímicas a uma dada densidade de corrente, uma vez que a presença de uma corrente elétrica leva o sistema para fora do estado de equilíbrio, e, portanto, os potenciais dos eletrodos apresentam valores diferentes do equilíbrio (U_0). Quanto maiores os sobrepotenciais das reações de carga e descarga, mais baixa a eficiência do sistema (TICIANELLI E GONZALES). Na prática, devido aos efeitos de polarização, o potencial de descarga encontra-se entre 2,5 - 2,8 V e o de carga em potenciais acima de 4 V.

Em termos numéricos, a eficiência elétrica atual das células lítio-ar é de cerca de 60-70%, bem abaixo dos 90% apresentados pelos sistemas de propulsão elétricos em operação (GIRISHKUMAR *et al.*, 2010). Analisando a Figura 1 é possível observar que o sobrepotencial de carga é significativamente superior ao de descarga. Isso se deve ao fato de que o gasto energético necessário para a degradação dos produtos de descarga é superior à energia necessária para a formação dos mesmos.

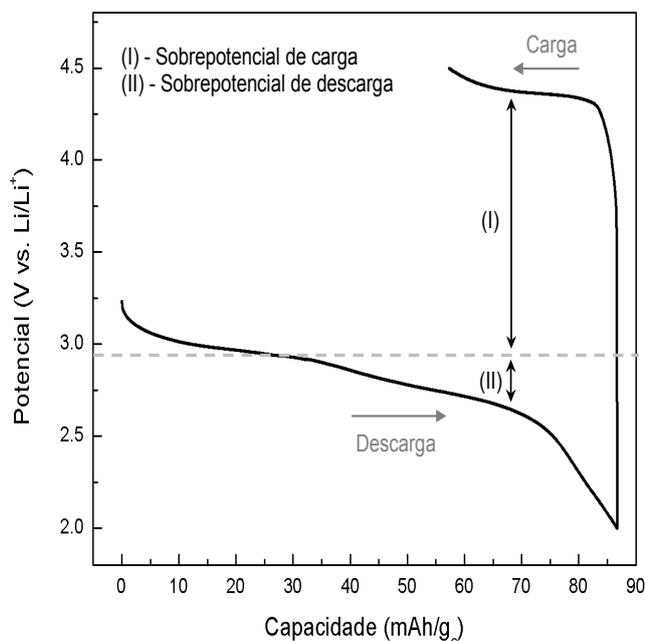


Figura 1: Sobrepotenciais de carga e descarga em um ciclo de célula lítio- O_2 .

Nesse sentido, um dos grandes desafios para a promoção dos sistemas lítio-ar é o desenvolvimento de eletrocatalisadores, materiais que atuam na redução da barreira de ativação das reações de carga e descarga, também chamada polarização do eletrodo, favorecendo sua cinética. Na sessão seguinte os estudos acerca desses materiais serão abordados.

3 | CONSTRUÇÃO DOS ELETRODOS E MATERIAIS APLICADOS

O eletrodo difusor de ar convencional possui três componentes principais:

suporte, catalisador e binder. O suporte deve ser condutor elétrico e fornecer área para a deposição do material ativo, o catalisador. O catalisador, conforme mencionado na seção anterior, tem a função de diminuir a polarização do eletrodo, facilitando a cinética das reações de redução e evolução de oxigênio. O ligante é utilizado para integrar e manter esses componentes numa matriz coesa. Sendo assim, um eletrodo difusor eficiente deve apresentar uma alta área disponível para a coexistência das fases ativas envolvidas na reação de redução do oxigênio: o oxigênio (dissolvido no eletrólito), o eletrólito e o material ativo condutor (WEN; SHEN; LU, 2015). É necessário ajustar a interface das três fases para que o ar possa difundir por todo o volume do eletrólito e esse possa adsorver na superfície do catalisador, mas não inundá-la a ponto de impedir a chegada do gás até ela (CHENG; CHEN, 2012). Este balanço de áreas chamamos de tripla fase reacional, conforme já comentado.

3.1 Suporte

Carbono ativado, nanotubos de carbono, fulerenos, grafeno são todos materiais a base de carbono bem estabelecidos como opções interessantes para aplicação em eletrodos para dispositivos eletroquímicos de armazenamento de energia, como capacitores e pseudocapacitores, células a combustível, baterias de metal-ar, etc. O sucesso desses materiais para esse tipo de aplicação se deve à sua alta condutividade elétrica, estabilidade química, rápida transferência de carga durante as reações redox, alta área superficial, síntese e funcionalização descomplicadas, vasta disponibilidade e baixo custo (TO *et al.*, 2015).

Assumindo os materiais carbonosos como a melhor opção disponível para o desenvolvimento dos eletrodos para células lítio-ar, a relação entre a capacidade de descarga e o volume, diâmetro e distribuição de tamanho de poro têm sido vastamente investigados. Diversos estudos acerca da porosidade do eletrodo de oxigênio identificaram uma série de fatores que favorecem uma melhor capacidade da célula. A porosidade do carbono, e espessura do eletrodo, a carga de carbono são fatores que influenciam o desempenho e a capacidade de descarga (YOUNESI *et al.*, 2011). A quantidade de eletrólito no eletrodo (XIAO *et al.*, 2010) e a área superficial umedecida pelo eletrólito (READ, 2002) também foram reportados como parâmetros significativos. Atualmente, sabe-se também que a área superficial do carbono não deve ser considerada de maneira isolada, mas juntamente com a distribuição dos tamanhos dos poros e o volume do poro conforme estudos que demonstraram que o volume dos mesoporos de carbono foi o parâmetro que mais afetou a capacidade de descarga da célula (KUBOKI *et al.*, 2005; XIAO *et al.*, 2010). Para Zheng *et al.*, 2011 poros na faixa dos microporos, tem suas entradas rapidamente obstruídas seja pelo eletrólito ou pelo Li_2O_2 entavando acessos futuros ao interior da superfície do carbono, enquanto carbonos com poros na faixa dos macroporos são facilmente encharcados pelo eletrólito, reduzindo a formação das junções triplas (ZHENG *et al.*, 2011). Uma

microestrutura ótima não só aumenta os sítios acessíveis eletroquimicamente como também fornece um caminho de difusão curto para a transferência de oxigênio (PARK *et al.*, 2012).

Diversos exemplos de eletrodos carbonáceos são encontrados na literatura. Em um dos primeiros trabalhos com baterias Li-O₂, Abraham e Jiang (1996) utilizaram negro de fumo (*carbon black*) e pó de grafite para o desenvolvimento de uma matriz porosa com área superficial de 40 m²g⁻¹. Foi alcançada uma capacidade de 1500 mAhg⁻¹, todavia apenas três ciclos de carga e descarga foram realizados. O negro de fumo Super P®, com 67 m²g⁻¹ de área superficial, é amplamente encontrado na literatura como componente principal de eletrodos. Read (2002) testou diferentes tipos de eletrólitos utilizando este eletrodo. Foram atingidos até 2100 mAhg⁻¹ de capacidade, mas as células também não realizavam mais que 5 ciclos de carga e descarga. Ogasawara e colaboradores (2006) with the potential to address the key problem of global warming. However, their ability to store energy is limited by the quantity of lithium that may be removed from and reinserted into the positive intercalation electrode, Li(x doparam este eletrodo com um catalisador de dióxido de manganês eletrolítico (EMD) e assim conseguiram realizar até 50 ciclos de carga e descarga. Contudo a capacidade inicial da bateria de 1000 mAg⁻¹ foi progressivamente reduzida até 600 mAhg⁻¹. Jung e colaboradores (2012) testaram este eletrodo em conjunto com um eletrólito de TEGDME/LiCF₃SO₃ e conseguiram a execução de 100 ciclos de 1000 mAhg⁻¹ sem perda de capacidade no decorrer da ciclagem. Pode-se notar, portanto, que todo o conjunto da célula – eletrodos, eletrólitos e membranas – trabalham em sinergia e afetam o resultado final da ciclagem. Estruturas mais elaboradas de carbono, como nanotubos de carbono (CNTs) e grafeno (rGO), se mostraram altamente eficientes para o funcionamento das baterias Li-O₂. Nomura, Ito e Kubo (2017) conseguiram capacidades de até 5000 mAhg⁻¹ e 76 ciclos com a utilização de folhas de nanotubo de carbono com 60 m²g⁻¹. Wang e colaboradores (2012) atingiram 11000 mAhg⁻¹ de capacidade em longas descargas com a utilização de óxido de grafeno (378 m²g⁻¹) com diâmetros de poros hierárquicos (macro-meso-microporos) e dopado com níquel. Estes conseguiram realizaram 10 ciclos de carga e descarga com total reversão dos produtos de reação, limitando a capacidade da reação em 2000 mAhg⁻¹. Como já comentando, o excepcional desempenho dos CNTs e rGO se devem principalmente à alta área superficial e grande disponibilidade de sítios ativos.

3.2 Catalisadores

Várias classes de materiais vêm sendo estudadas para esse fim, dentre eles os principais são os óxidos de metais de transição (como óxido de manganês e cobalto), os metais nobres (como ouro, platina, paládio, rutênio), sulfetos, carbetos e nitretos e os bifuncionais que, na prática, é a combinação de várias dessas classes.

Uma das maiores eficiências já reportadas na literatura foi obtida por Lu e

colaboradores (2010) utilizando um catalisador bifuncional de ouro e platina. Os resultados obtidos indicaram que o ouro é um bom catalisador da reação de redução do oxigênio, enquanto a platina favorece a cinética da reação de evolução de oxigênio. Combinando esses dois materiais os sobrepotenciais dos processos de carga e descarga foram reduzidos significativamente, resultando em um dispositivo com eficiência global de 77% (LU *et al.*, 2010a, 2010b).

Fu e colaboradores (2018) desenvolveram um eletrodo genérico para baterias metal-ar contendo óxido de níquel-mangânês (Ni_6MnO_8) e nanofios de ouro (Au-NWs). Este catalisador foi considerado bifuncional, pois o óxido de metais de transição promoveu a reação de evolução do oxigênio (carga), enquanto o metal nobre catalisou a reação de redução do oxigênio (descarga). Cai e colaboradores (2016) utilizando um eletrodo contendo óxido de mangânês (MnO_2), óxido de lantânio (La_2O_3), e nanopartículas de platina suportadas em carbono (Pt/C), em bateria Li- O_2 , alcançaram excepcional capacidade de 2700 mAhg^{-1} , com funcionamento de 56 ciclos.

Lu e colaboradores (2016) utilizando nanopartículas de irídio crescidas em placas de óxido de grafeno reduzido (Ir-rGO) conseguiram baixar o potencial de carga para 3,2 V, nos 40 primeiros ciclos da bateria. Tal feito foi alcançado com a limitação capacidade de descarga em 1000 mAhg^{-1} , fazendo com que se formasse majoritariamente a espécie LiO_2 , e não o Li_2O_2 . O LiO_2 é um produto de mais fácil reversibilidade que o Li_2O_2 e, portanto, se decompõe em menores potenciais. Já Su, Dou e Wang (2015) conseguiram reduzir o potencial de carga das baterias para 3,5 V com a utilização de nanopartículas multifacetadas de ouro. Segundo os autores, a exposição de diferentes planos cristalinos fornece grande quantidade de sítios ativos, o que facilita a reação de decomposição do Li_2O_2 .

Asadi e colaboradores (2018) desenvolveram um eletrodo contendo nanopartículas de disulfeto de molibdênio (MoS_2) para baterias Li-ar, e obtiveram notáveis 750 ciclos de 500 mAhg^{-1} de capacidade. Vários fatores colaboraram para o excepcional funcionamento desta célula: (a) a utilização de nanopartículas gerou eletrodos com alta área superficial e alto número de sítios ativos; (b) a baixa interação química de partículas de Li_2O_2 sobre placas de sulfetos facilitou a reversibilidade deste produto. Quando são utilizados catalisadores óxidos, pode existir a formação de ligações covalentes, que são dificilmente revertidas durante a carga; (c) sítios de molibdênio, quando em contato com o eletrólito, neste caso uma mistura de líquido iônico e DMSO, tendem a promover a formação de superóxido (O_2^-), que funciona como sítio ativo para crescimento do Li_2O_2 ; (d) outra técnica inovadora utilizada pelos autores foi o recobrimento do eletrodo de lítio com uma camada de carbonato de lítio. Com esta metodologia, o Li permaneceu protegido da contaminação com CO_2 e humidade.

4 | NOVOS RUMOS E PERSPECTIVAS

Considerando que arquitetura do cátodo, catalisador e eletrólito são todos fatores que influenciam no desempenho da célula, nos últimos anos os esforços das pesquisas envolvendo a tecnologia lítio-ar tem sido focados em desenvolver projetos alternativos para componentes da célula, de modo a amenizar a ocorrência das reações paralelas e alcançar um dispositivo de alto desempenho. Algumas das estratégias envolve o projeto de um cátodo livre de carbono, a promoção da decomposição dos subprodutos e o uso de mediadores para as reações redox (LIU *et al.*, 2017a).

Atacando a primeira estratégia, alguns estudos que utilizaram cátodos de Au, TiO₂, Ru, TiN reportam uma diminuição significativa do acúmulo de subprodutos no eletrodo de ar. Liu e colaboradores (2017b) desenvolveram um cátodo de nanopartículas de Ru crescidas em uma espuma de níquel porosa ultraleve. O resultado foram células com ciclagem estável por mais de 100 ciclos sem queda de potencial. Além disso, a não evolução de CO₂ durante a operação da célula indicam que o eletrodo em questão pode catalisar de forma efetiva as reações de redução e evolução de oxigênio (LIU *et al.*, 2017a). Já Kim *et al.* (2017) avaliaram um eletrodo que consistia de nitreto de Titânio (TiN) mesoporoso que se mostrou resistente ao crescimento espacial do Li₂O₂, evitando o desprendimento das partículas de peróxido de lítio do cátodo. Isso favorece uma maior ciclabilidade da célula (KIM *et al.*, 2017).

Para favorecer a decomposição do Li₂CO₃ acumulado no eletrodo durante o processo de ciclagem, Song e colaboradores (2017) apresentaram um cátodo que combinou Ir e B₄C e um éter como solvente do eletrólito. Eles observaram que um efeito sinérgico entre os componentes do eletrodo difusor de gás favoreceu a decomposição do carbonato de lítio a um potencial relativamente baixo. Já Zhang *et al.* (2018) relataram o uso de uma solução de 1 mol L⁻¹ de LiTFSI em TEGDME como eletrólito e esse composto, que tem um alto número de Donor, seria um excelente agente solvatador dos produtos de reação Li₂O₂, Li₂CO₃ e LiOH. Esses compostos solvatados não obstruem e não passivam o eletrodo, além de serem completamente decompostos durante a carga (ZHANG *et al.*, 2018).

Em termos de atividade catalítica os trabalhos mais recentes da área sugerem o uso de mediadores redox. Uma grande variedade de compostos tem sido apresentada como alternativas para esse fim, sendo os principais o iodeto de lítio (LiI), tetramethylpiperidinyloxy (TEMPO), dihydrodimethylphenazine (DMPZ) e tetrathiafulvalene (TTF). Todos eles são adicionados ao eletrólito e funcionam como carregadores de elétrons, da superfície do cátodo até o Li₂O₂, acelerando a formação e a decomposição do peróxido de lítio (WANG *et al.*, 2017).

Todas essas questões tecnológicas que ainda precisam ser esclarecidas estão associadas a uma falta de conhecimento acerca dos complexos fenômenos que ocorrem durante a operação da célula, sendo eles, catálise, transporte de íons e difusão de gases. No caminho para um melhor entendimento sobre tais fenômenos,

a aplicação de medidas eletroquímicas (como voltametria cíclica e espectroscopia de impedância eletroquímica) associadas à métodos de espectroscopia (Raman, FTIR e DRX) e técnicas *in situ* se apresentam como uma opção promissora. A evolução de picos de Raman do sal e solvente do eletrólito, suporte do eletrodo, óxido e peróxido de lítio e do catalisador durante os processos de descarga e carga foi apresentada por Gittleson e colaboradores (2014). Com esses resultados, eles puderam inferir sobre a reorganização da estrutura da superfície (aumento da intensidade do pico de ouro) e sobre o recobrimento do eletrodo no caminho até o final de uma descarga. Já Mozhzhukhina *et al.* (2013), em uma ciclagem com FTIR *in situ*, observaram que durante a carga, quando aplicados potenciais superiores a 4,2 ocorria a formação de picos negativos em comprimentos de onda relacionados à vibração do grupo SO_2 . Isso foi associado por eles à decomposição do solvente DMSO e formação do subproduto DMSO_2 . Através de técnicas como essas informações importantes sobre o funcionamento do dispositivo têm sido obtidas.

5 | CONCLUSÃO

Neste capítulo foram apresentados os conceitos básicos acerca da tecnologia lítio- O_2 . Apesar do grande potencial tecnológico e dos notáveis avanços realizados desde a publicação original que deu origem à tecnologia, mostramos que muitos ainda são os desafios para a consolidação de um sistema robusto que possa ser aplicado a sistemas comerciais. O desenvolvimento de novos materiais juntamente com o avanço em técnicas de caracterização em regime dinâmico de operação (*in-situ* e operando) consistem em um grande avanço em direção à viabilização o desenvolvimento de um protótipo real para aplicação dessa classe de células em dispositivos elétricos

REFERÊNCIAS

- ASADI, M. et al. **A lithium-oxygen battery with a long cycle life in an air-like atmosphere**. *Nature*, v. 555, n. 7697, p. 502–506, 2018.
- BRUCE, P. G. et al. **Li- O_2 and Li-S batteries with high energy storage**. *Nature Materials*, v. 11, n. 02, p. 172–172, 2012.
- CAI, K. et al. **Gradient Mn-La-Pt catalysts with three-layered structure for Li- O_2 battery**. *Scientific Reports*, v. 6, p. 1–8, 2016.
- CHENG, F.; CHEN, J. **Metal – air batteries : from oxygen reduction electrochemistry to cathode catalysts**. *Chem. Soc. Rev.*, v. 41, n. 207890, p. 2172–2192, 2012.
- FAROOQUI, U. R.; AHMAD, A. L.; HAMID, N. A. **Challenges and potential advantages of membranes in lithium air batteries: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 77, n. July 2016, p. 1114–1129, 2017.
- FU, G. et al. **Robust bifunctional oxygen electrocatalyst with a “rigid and flexible” structure for air-cathodes**. *NPG Asia Materials*, v. 10, n. 7, p. 618–629, 2018.

- GIRISHKUMAR, G. et al. **Lithium-air battery: Promise and challenges**. Journal of Physical Chemistry Letters, v. 1, n. 14, p. 2193–2203, 2010.
- GITTLESON, F. S. et al. **Catalyst and electrolyte synergy in Li–O₂ batteries**. Physical Chemistry Chemical Physics, v. 16, n. 7, p. 3230–3237, 2014.
- GITTLESON, F. S.; RYU, W. H.; TAYLOR, A. D. **Operando observation of the gold-electrolyte interface in Li–O₂ batteries**. ACS Applied Materials and Interfaces, v. 6, n. 21, p. 19017–19025, 2014.
- IMANISHI, N.; LUNTZ, A. C.; BRUCE, P. **The Lithium Air Battery: Fundamentals**. [s.l.: s.n.]. v. 1
- JANG, I. C.; HIDAKA, Y.; ISHIHARA, T. **Li metal utilization in lithium air rechargeable batteries**. Journal of Power Sources, v. 244, p. 606–609, 2013.
- JUNG, H.-G. et al. **An improved high-performance lithium-air battery**. Nature chemistry, v. 4, n. 7, p. 579–85, 2012.
- KIM, B. G. et al. **Ordered Mesoporous Titanium Nitride as a Promising Carbon-Free Cathode for Aprotic Lithium-Oxygen Batteries**. ACS Nano, v. 11, n. 2, p. 1736–1746, 2017.
- KUBOKI, T. et al. **Lithium-air batteries using hydrophobic room temperature ionic liquid electrolyte**. Journal of Power Sources, v. 146, n. 1–2, p. 766–769, 2005.
- LIANG, Z. et al. **Polymer nanofiber-guided uniform lithium deposition for battery electrodes**. Nano Letters, v. 15, n. 5, p. 2910–2916, 2015.
- LIU, Y. et al. **Understanding and suppressing side reactions in Li-air batteries**. Materials Chemistry Frontiers, v. 1, n. 12, p. 2495–2510, 2017a.
- LIU, Z. et al. **Carbon-Free O₂ Cathode with Three-Dimensional Ultralight Nickel Foam-Supported Ruthenium Electrocatalysts for Li–O₂ Batteries**. v. 8568, p. 2714–2719, 2017b.
- LU, J. et al. **A lithium-oxygen battery based on lithium superoxide**. Nature, v. 529, n. 7586, p. 377–382, 2016.
- LU, Y.-C. et al. **The Influence of Catalysts on Discharge and Charge Voltages of Rechargeable Li–Oxygen Batteries**. Electrochemical and Solid-State Letters, v. 13, n. 6, p. A69, 2010a.
- LU, Y. C. et al. **Platinum-gold nanoparticles: A highly active bifunctional electrocatalyst for rechargeable lithium-air batteries**. Journal of the American Chemical Society, v. 132, n. 35, p. 12170–12171, 2010b.
- MCCLOSKEY, B. D. et al. **Twin Problems of Interfacial Carbonate Formation in Nonaqueous Li–O₂ Batteries**. The Journal of Physical Chemistry Letters, v. 3, p. 997–1001, 2012.
- MOZHUKHINA, N.; MÉNDEZ DE LEO, L. P.; CALVO, E. J. **Infrared spectroscopy studies on stability of dimethyl sulfoxide for application in a Li-air battery**. Journal of Physical Chemistry C, v. 117, n. 36, p. 18375–18380, 2013.
- NOMURA, A.; ITO, K.; KUBO, Y. **CNT Sheet Air Electrode for the Development of Ultra-High Cell Capacity in Lithium-Air Batteries**. Scientific Reports, v. 7, n. April, p. 1–8, 2017.
- OGASAWARA, T. et al. **Rechargeable Li₂O₂ electrode for lithium batteries**. Journal of the American Chemical Society, v. 128, n. 4, p. 1390–1393, 2006.

- PARK, M. et al. **Lithium-Air Batteries: Survey on the Current Status and Perspectives Towards Automotive Applications from a Battery Industry Standpoint**. *Advanced Energy Materials*, v. 2, n. 7, p. 780–800, 2012.
- RAHMAN, M. A.; WANG, X.; WEN, C. **A review of high energy density lithium-air battery technology**. *Journal of Applied Electrochemistry*, v. 44, n. 1, p. 5–22, 2014.
- READ, J. **Characterization of the Lithium/Oxygen Organic Electrolyte Battery**. *Journal of The Electrochemical Society*, v. 149, n. 9, p. A1190–A1195, 2002.
- RICHARDSON, T. J.; CHEN, G. **Solid solution lithium alloy cermet anodes**. *Journal of Power Sources*, v. 174, n. 2, p. 810–812, 2007.
- SHAO, Y. et al. **Electrocatalysts for nonaqueous lithium-air batteries: Status, challenges, and perspective**. *ACS Catalysis*, v. 2, n. 5, p. 844–857, 2012.
- SONG, S. et al. **Complete Decomposition of Li_2CO_3 in Li-O_2 Batteries Using $\text{Ir/B}_4\text{C}$ as Noncarbon-Based Oxygen Electrode**. *Nano Letters*, v. 17, n. 3, p. 1417–1424, 2017.
- SU, D.; DOU, S.; WANG, G. **Gold nanocrystals with variable index facets as highly effective cathode catalysts for lithium-oxygen batteries**. *NPG Asia Materials*, v. 7, n. 1, p. e155, 2015.
- TO, J. W. F. et al. **Ultrahigh surface area three-dimensional porous graphitic carbon from conjugated polymeric molecular framework**. *ACS Central Science*, v. 1, n. 2, p. 68–76, 2015.
- WANG, L. et al. **Understanding oxygen electrochemistry in aprotic Li-O_2 batteries**. *Green Energy & Environment*, v. 2, n. 3, p. 186–203, 2017.
- WANG, Z. L. et al. **Graphene oxide gel-derived, free-standing, hierarchically porous carbon for high-capacity and high-rate rechargeable Li-O_2 batteries**. *Advanced Functional Materials*, v. 22, n. 17, p. 3699–3705, 2012.
- WEN, Z.; SHEN, C.; LU, Y. **Air electrode for the lithium-air batteries: Materials and structure designs**. *ChemPlusChem*, v. 80, n. 2, p. 270–287, 2015.
- XIAO, J. et al. **Optimization of Air Electrode for Li/Air Batteries**. *Journal of The Electrochemical Society*, v. 157, n. 4, p. A487, 2010.
- XU, X. L. et al. **The suppression of lithium dendrite growth in lithium sulfur batteries: A review**. *Journal of Energy Storage*, v. 13, p. 387–400, 2017.
- YOUNESI, S. R. et al. **Influence of the cathode porosity on the discharge performance of the lithium–oxygen battery**. *Journal of Power Sources*, v. 196, n. 22, p. 9835–9838, nov. 2011.
- ZHANG, Z. et al. **Verifying the Rechargeability of Li-CO_2 Batteries on Working Cathodes of Ni Nanoparticles Highly Dispersed on N-Doped Graphene**. *Advanced Science*, v. 5, n. 2, 2018.
- ZHENG, J. P. et al. **The Theoretical Energy Densities of Dual-Electrolytes Rechargeable Li-Air and Li-Air Flow Batteries**. *Journal of The Electrochemical Society*, v. 158, n. 1, p. A43–A46, 2011.

SOBRE OS ORGANIZADORES

TAYRONNE DE ALMEIDA RODRIGUES: Filósofo e Pedagogo, especialista em Docência do Ensino Superior e Graduando em Arquitetura e Urbanismo, pela Faculdade de Juazeiro do Norte-FJN, desenvolve pesquisas na área das ciências ambientais, com ênfase na ética e educação ambiental. É defensor do desenvolvimento sustentável, com relevantes conhecimentos no processo de ensino-aprendizagem. Membro efetivo do GRUNEC - Grupo de Valorização Negra do Cariri. E-mail: tayronnealmeid@gmail.com. com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9378-1456>

JOÃO LEANDRO NETO: Filósofo, especialista em Docência do Ensino Superior e Gestão Escolar, membro efetivo do GRUNEC. Publica trabalhos em eventos científicos com temas relacionados a pesquisa na construção de uma educação valorizada e coletiva. Dedicar-se a pesquisar sobre métodos e comodidades de relação investigativa entre a educação e o processo do aluno investigador na Filosofia, trazendo discussões neste campo. Também é pesquisador da arte italiana, com ligação na Scuola de Lingua e Cultura – Itália. Amante da poesia nordestina com direcionamento as condições históricas do resgate e do fortalecimento da cultura do Cariri. E-mail: joaoleandro@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-1164>

DENNYURA OLIVEIRA GALVÃO: Possui graduação em Nutrição pela Universidade Federal da Paraíba, mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e doutorado em Ciências Biológicas (Bioquímica Toxicológica) pela Universidade Federal de Santa Maria (2016). Atualmente é professora titular da Universidade Regional do Cariri. E-mail: dennyura@bol.com.br LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4808691086584861>

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-330-9

