

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Marcos Augusto de Lima Nobre
(Organizador)

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2021

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Marcos Augusto de Lima Nobre
(Organizador)

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2021



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição- Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comercial. A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizadoras	Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre
Imagem da Capa	Kateryna Kon
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba*
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa, Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal*
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo*
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México*
Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*
Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda, Portugal*
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*
Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bio-Bío, Chile*



Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, USA
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista
 Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás
 Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
 Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe
 Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto
 Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia
 Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão
 Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba
 Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras
 Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense
 Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
 Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
 Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
 Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
 Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
 Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
 Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
 Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilár, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

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

G786 The great world of nanotechnology [livro eletrônico] : vol. II /
 Organizador Marcos Augusto de Lima Nobre. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 Edição bilíngue
 ISBN 978-65-87396-36-1
 DOI 10.37572/EdArt_300621361

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. I. Nobre, Marcos Augusto Lima.

CDD 620.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PREFACE

The insertion of new and enhanced materials based on materials belonging to the Nano scale in the day-by-day has growth up in a silent way. In part, a number of works in the nanotechnology stemming of theoretical research using Density Functional Theory (DFT) and sophisticated simulation methods; another part is associated to the protected technologies associated to the military and patented nanomaterial and its process. In this sense, open access to recent aspects on the nanostructures application and properties can be reached in this book. Here, an interesting set of chapters gives opportunity of access texts that reach process and processing of nanostructures, applications of nanotechnology, advanced techniques to theoretical development. A broad set of nanostructures are here covered such as, nanocrystal, superficial nanograins, inner microstructures with nanograins, nanoaggregates, nanoshells, nanotubes, nanoflowers, nanoroad, nanosheets, Also, reveals new investigations areas as grainboundary of nanograins in ceramics and metals. A great number of software has been used as a tool of development of Science and Technologies for nanotechnology COMSOL Multiphysics 5.2. Phenomena and properties has been investigated by recent or classical techniques of materials characterization as Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM) with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), Raman Scattering Spectroscopy (RSS), X ray diffraction (XRD), ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopy, UV-vis spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), Atomic Force Microscopy (AFM), and Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM). In this sense, collections of spectra from Mössbauer spectroscopy, UV-vis spectroscopy and Infrared spectroscopy can be found. As a matter of fact, some chapter's item can be seemed as specific protocols for synthesis, preparations and measurements in the nanotechnology.

I hope you enjoy your reading.

Prof. Dr. Marcos Augusto Lima Nobre

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER 1..... 1

ROLLING OF 316L STAINLESS STEEL WITH ROUGH ROLLS: A POSSIBLE TECHNIQUE TO OBTAIN SUPERFICIAL NANOGRAINS

Carlos Camurri

Alejo Gallegos

DOI 10.37572/EdArt_3006213611

CHAPTER 2..... 11

EFFECTS OF DIFFERENT ASPECT RATIOS AND JUNCTION LENGTHS ON THE COUPLED PLASMON GOLD NANOROD DIMERS

Hafiz Zeeshan Mahmood

Umer Farooq

Usman Rasool

Noor ul Huda

Sana Gulzar

Mahmood Ali

Maryam Iftikhar

Yasir Javed

Sajid Farooq

DOI 10.37572/EdArt_3006213612

CHAPTER 3.....21

AB-INITIO STUDY OF ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF ZnO NANOCRYSTALS CAPPED WITH ORGANIC MOLECULES

Aline L. Schoenhalz

Paulo Piquini

DOI 10.37572/EdArt_3006213613

CHAPTER 439

CONFINED WATER CHEMISTRY: THE CASE OF NANOCHANNELS GOLD OXIDATION

André Mourão Batista

Herculano da Silva Martinho

DOI 10.37572/EdArt_3006213614

CHAPTER 5..... 67

PLASMONIC RESPONSE OF GOLD- SILICA AND SILVER- SILICA METAL CORE NANOSHHELLS BY OPTIMIZING THE FIGURE OF MERIT

Hafiz Zeeshan Mahmood

Zainab Shahid

Alina Talat

Imama Irfan

Bushra Arif

Sana Habib

Saba Munawar

Yasir Javed

Shaukat Ali Shahid

Sajid Farooq

DOI 10.37572/EdArt_3006213615

CHAPTER 6 76

AMORPHOUS MICRO AND NANO SILICA EXTRACTED FROM RICE HUSKS AND OBTAINED BY ACIDIC PREHYDROLYSIS AND CALCINATION: PREPARATION ROUTE AND CHARACTERIZATION

Eduardo Roque Budenberg

Eilton Aparecido Prado dos Reis

Deuber Lincon da Silva Agostini

Renivaldo José dos Santos

Felipe Silva Bellucci

Aldo Eloizo Job

Daltro Garcia Pinatti

Rosa Ana Conte

DOI 10.37572/EdArt_3006213616

CHAPTER 7..... 92

FORMATION OF METAL NANOPARTICLES BY SPUTTER DEPOSITION ON UNCD FILMS BY NPIII INSIDE CONDUCTIVE TUBES

Nazir Monteiro dos Santos

Divani Carvalho Barbosa

Evaldo José Corat

Mario Ueda

DOI 10.37572/EdArt_3006213617

CHAPTER 8 109

X-RAY PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY (XPS) STUDY OF CONDUCTIVE TUBE AFTER NITROGEN PIII

Nazir Monteiro dos Santos
Elver Juan de Dios Mitma Pillaca
Mario Ueda
Steven Frederick Durrant
Pericles Lopes Sant'Ana

DOI 10.37572/EdArt_3006213618

CHAPTER 9 125

APPLICATION OF CLAY-CARBOXIMETHYLCHITOSANE NANOCOMPOSITE-SILVER NANOPARTICLES IN FILTERS TO TREAT CONSUMPTION WATER IN RURAL AREAS OF CAMANA - AREQUIPA-PERU

Maria Elena Talavera Nuñez
Irene Zea Apaza
Corina Vera Gonzales
Julia Zea Alvarez
Luis Rodrigo Benavente Talavera

DOI 10.37572/EdArt_3006213619

CHAPTER 10..... 138

NANOGRAIN BOUNDARY PHENOMENON IN CERAMIC NANOMETRIC MICROSTRUCTURE

Marcos Augusto Lima Nobre
Silvania Lanfredi

DOI 10.37572/EdArt_30062136110

CHAPTER 11..... 150

ON SPIN HAMILTONIAN FITS TO MÖSSBAUER SPECTRA OF NIFE₂O₄ NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY CO-PRECIPIATION

Jose Higinio Dias Filho
Jorge Luis Lopez
Adriana Silva de Albuquerque
Renato Dourado Maia
Wesley de Oliveira Barbosa
Ernando Campos Ferreira
Fellipe Silva Pereira
Kátia Guimarães Benfica

DOI 10.37572/EdArt_30062136111

CHAPTER 12..... 162

EFFECT OF GRAPHITE NANOSTRUTURES ON THE VISCOSITY PROPERTIES OF BLENDS DIESEL-S10 AND BIODIESEL

Túlio Begena Araújo

Marcos Augusto Lima Nobre

DOI 10.37572/EdArt_30062136112

CHAPTER 13..... 172

REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE EFLUENTES ACUOSOS EMPLEANDO COMO ADSORBENTE MAGNETITA NANOESTRUCTURADA

Orfelinda Avalo Cortez

Luis Jean Carlo Cisneros García

David Pedro Martínez Aguilar

DOI 10.37572/EdArt_30062136113

CHAPTER 14..... 182

AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA DE NANOCOMPÓSITOS DE MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO

Daniel Andrada Maria

Andreza de Sousa Andrada Jordânio

Samuel Siqueira

Adelina Pinheiro Santos

Clascídia Aparecida Furtado

DOI 10.37572/EdArt_30062136114

CHAPTER 15..... 197

ROTA ECOLOGIA PARA SINTESE DE ELETRODO NANOESTRUTURADO DE ZnO PARA SUPERCAPACITOR

Eguiberto Galego

Marilene Morelli Serna

Tatiane Yumi Tatei

Bruna Rodrigues de Lima

Rubens Nunes de Faria Junior

DOI 10.37572/EdArt_30062136115

CHAPTER 16.....	212
MORFOLOGIA DE FILMES FINOS NANOESTRUTURADOS DE ZnO PRODUZIDOS PELO MÉTODO SILAR	
Eguiberto Galego	
Marilene Morelli Serna	
Lalgudi Venkataraman Ramanathan	
Rubens Nunes de Faria Junior	
DOI 10.37572/EdArt_30062136116	
CHAPTER 17.....	228
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE A PARTIR DE PAPEL RECICLADO VIRGEM E PÓS-CONSUMO	
Jean Brito Santos	
Emanoel Igor da Silva Oliveira	
Nádia Mamede José	
DOI 10.37572/EdArt_30062136117	
ABOUT THE ORGANIZER.....	234
INDEX.....	236

CHAPTER 14

AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA DE NANOCOMPÓSITOS DE MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO

Data de aceite: 23/05/2021

Daniel Andrada Maria

Instituto de Engenharias Integradas
Universidade Federal de Itajubá
Campus Theodomirosantiago – Itabira - MG
<http://lattes.cnpq.br/4360044696999610>

Andreza de Sousa Andrada

Instituto de Engenharias Integradas
Universidade Federal de Itajubá
Campus Theodomirosantiago – Itabira - MG
<http://lattes.cnpq.br/8856252121271211>

Jordão Samuel Siqueira

Instituto de Engenharias Integradas
Universidade Federal de Itajubá
Campus Theodomirosantiago – Itabira - MG
<http://lattes.cnpq.br/1234922729106387>

Adelina Pinheiro Santos

Laboratório de Química de
Nanoestruturas de Carbono
Centro de Desenvolvimento da
Tecnologia Nuclear – Belo Horizonte - MG
<http://lattes.cnpq.br/6588263168885710>

Clascídia Aparecida Furtado

Laboratório de Química de
Nanoestruturas de Carbono
Centro de Desenvolvimento da
Tecnologia Nuclear – Belo Horizonte - MG
<http://lattes.cnpq.br/8253616889612034>

RESUMO: Este trabalho investiga o uso do óxido de grafeno reduzido (rGO) como reforço em nanocompósitos com matriz de alumínio (NCMAs), obtidos via metalurgia do pó. A moagem mecânica de uma mistura de pó de alumínio e rGO demonstrou ser capaz de formar compósitos homogêneos e altamente densificados, permitindo estabelecer uma interação efetiva entre a matriz e o reforço. O efeito do conteúdo de rGO (variando de 0,01 a 1,0% em massa) na microdureza dos NCMAs-rGO foi investigado. Um ganho de ~200% em microdureza para a composição de 0,5% em massa de rGO foi obtido.

PALAVRAS-CHAVE: Nanocompósitos. Nanotecnologia. Alumínio. Metalurgia do pó. Óxido de grafeno reduzido.

MICROHARDNESS EVALUATION OF NANOCOMPOSITES OF ALUMINUM MATRIX REINFORCED WITH REDUCED GRAPHEN OXIDE

ABSTRACT: This work investigates the use of reduced graphene oxide (rGO) as reinforcement in aluminum matrix composites (AMNCs) fabricated by powder metallurgy. Mechanical milling of a mixture of aluminium and rGO powders was able to form homogeneous and highly densified composites, allowing an effective interaction between matrix and reinforcement to establish. The effect of rGO content (ranging for 0.01 to 1.0 wt%) on the microhardness of

rGO-AMNCs was investigated. A gain of ~ 200% in microhardness for the 0.5 wt% rGO composition was obtained.

KEYWORDS: Nanocomposites. Nanotechnology. Aluminium. Powder metallurgy. Reduced graphene oxide.

1 INTRODUÇÃO

Depois apenas do aço e do ferro, o alumínio (Al) e suas ligas constituem os materiais mais utilizados em aplicações estruturais, em razão de excelentes propriedades como baixa densidade, elevada resistência mecânica específica, elevadas maleabilidade e ductibilidade e boa resistência à corrosão (ZHANG et al., 2019). Entretanto, apresentam algumas limitações, como, por exemplo, alto coeficiente de expansão térmica, propriedades tribológicas limitadas (STOJANOVIC; BUKVIC; EPLER, 2018), propriedades mecânicas sensíveis à temperatura, ao carregamento dinâmico e à presença de impurezas e uma maior susceptibilidade à corrosão (KAINER, 2006). Buscando contornar tais limitações, nas últimas décadas, materiais compósitos baseados em matriz de alumínio (CMAs) vêm sendo extensivamente investigados (KAINER, 2006).

Os CMAs podem ser obtidos pela combinação da matriz de alumínio com partículas de reforços cerâmicos ou não-metálicos. Dependendo do tipo de reforço utilizado, podem ser produzidos compósitos de matriz de alumínio com combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, ductibilidade e resistência à corrosão.

Os CMAs podem ser obtidos pela combinação da matriz de alumínio com partículas de reforços cerâmicos ou não-metálicos. Dependendo do tipo de reforço utilizado, podem ser produzidos compósitos de matriz de alumínio com combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, ductibilidade e resistência à corrosão. Contudo, não é sempre que a adição de partículas de reforço a uma matriz de alumínio leva a melhorias consideráveis em suas propriedades. Em alguns casos, as partículas de reforço podem constituir pontos de defeitos no material, resultando na falha prematura do compósito sob condições de carregamento mecânico. Adicionalmente, o tamanho das partículas de reforço tem um forte efeito sobre a resistência mecânica, a ductibilidade e o modo de falha do compósito resultante. Assim, as propriedades mecânicas dos CMAs podem ser melhoradas com a redução no tamanho das partículas de reforço da escala micrométrica para a escala nanométrica, dando origem aos nanocompósitos de matriz de alumínio (NCMAs).

Entre os nanomateriais de reforço utilizados na confecção dos NCMAs, os nanotubos de carbono (NTCs) e, mais recentemente, os materiais grafênicos (BIANCO et al., 2013; WICK et al., 2014), como o óxido de grafeno (GO), o óxido de grafeno reduzido (rGO), o grafeno de poucas camadas (FLG), as nanofolhas de grafeno (GNS) e a nanoplacas de grafeno (GNPs) têm sido considerados os melhores candidatos.

Quando comparados aos NTCs, os materiais grafênicos apresentam propriedades intrínsecas iguais ou superiores e vêm se mostrando especialmente adequados para produção de NCMA's. Diferente dos NTCs, os materiais grafênicos possuem uma estrutura plana capaz de suportar melhor as condições comuns ao processamento de materiais metálicos (elevadas temperatura e pressão) (NIETO et al., 2017). Adicionalmente, a elevada área superficial específica dos materiais grafênicos proporciona uma maior interação com a matriz, o que possibilita uma transferência mais eficaz de propriedades. E por fim, os materiais grafênicos podem ser obtidos a partir de fonte natural, o grafite, tornando-se relativamente mais barato e abundante.

Dessa forma, a dispersão homogênea de materiais grafênicos em uma matriz de alumínio pode conduzir à produção de NCMA's com propriedades mecânicas aprimoradas. Além disso, outras propriedades funcionais também podem ser esperadas em razão das propriedades notáveis do grafeno e seus derivados, como as propriedades autolubrificantes, o baixo coeficiente de expansão térmica e as elevadas condutividades térmica e elétrica. Na Tabela 1 são apresentadas algumas dessas propriedades para o grafeno e o rGO (objeto de estudo deste trabalho) e para o alumínio metálico (por motivo de comparação).

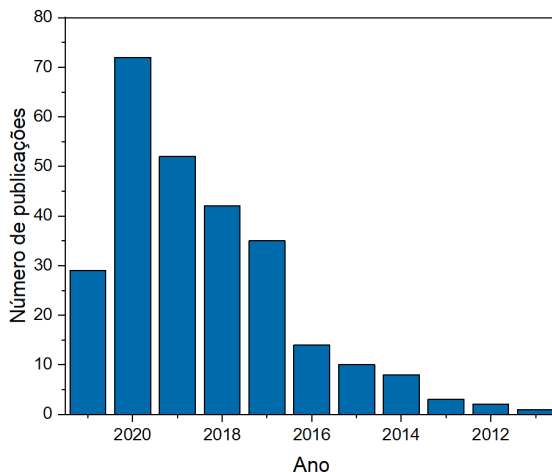
Tabela. 1 - Comparativo de propriedades entre o alumínio, grafeno e o rGO.

Propriedades	Alumínio (MACKENZIE; TOTTEN, 2003)	Grafeno (monocamada) (NIETO et al., 2017)	rGO
Resistencia à tração	40-700 MPa	130 GPa	360 MPa (Filme fino) (WAN et al., 2019).
Módulo de elasticidade	70 GPa	0,5-1 TPa	~300 GPa (ZHU et al., 2010)
Condutividade térmica	237 W.m ⁻¹ .K ⁻¹	4840- 5300 W.m ⁻¹ .K ⁻¹	30-2600 W m ⁻¹ K ⁻¹ (ZENG et al., 2019).
Coefficiente de expansão térmica	21-24x10 ⁻⁶ /K	-6x10 ⁻⁶ /K	-
Mobilidade de elétrons (298K)	12 cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹	15000 cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹	-
Transmitância		>95%	~83%
Área superficial específica		2630 m ² .g ⁻¹	~700 m ² .g ⁻¹ (seco)

Os estudos relacionados ao desenvolvimento de NCMA's reforçados com materiais grafênicos vem apresentando um crescimento exponencial na última década. Tal fato pode ser observado analisando o gráfico de barras apresentado na Figura 1,

construído por pesquisa à base de dados bibliográficos *ISI Web of Science* (<http://apps.webofknowledge.com>). Nesta pesquisa foram selecionados artigos publicados no período de 2011 a 2021, usando as palavras-chave “*graphene*”, “*composites*” e “*aluminum*”.

Figura 1 Número de artigos publicados por ano (incluindo artigos científicos e de revisão), no período de 2011 a 2021, usando as palavras-chave “*graphene*”, “*composites*” e “*aluminum*”.



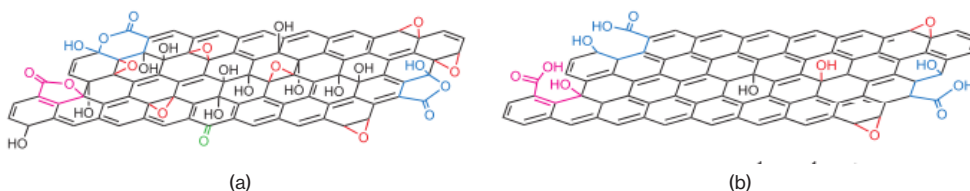
Os primeiros trabalhos que relataram a obtenção de NCMA's reforçados com materiais grafênicos (BARTOLUCCI et al., 2011) datam de quase uma década após o isolamento do grafeno em 2004 (NOVOSELOV, 2004). Tal atraso é frequentemente atribuído ao período de levantamento das propriedades dos novos materiais e à relativa facilidade para obtenção dos nanocompósitos de matriz polimérica quando comparados aos nanocompósitos de matriz metálica (TJONG; CHIN, 2013). Apesar da taxa absoluta anual ser arbitrária e depender da escolha das palavras-chave utilizadas na pesquisa é possível verificar que há uma tendência crescente do número de trabalhos que envolvem a obtenção de NCMA's reforçados com materiais grafênicos, apresentando-se como um novo paradigma no contexto dos nanocompósitos de matriz metálica e alavancando as pesquisas nessa área.

Por conseguinte, várias abordagens para sintetizar materiais grafênicos em grandes quantidades têm sido desenvolvidas. Estas podem ser divididas em duas grandes categorias: (i) as abordagens *bottom-up* (do inglês, de baixo para cima), que incluem o crescimento epitaxial por decomposição térmica de carbeto de silício e a deposição química em fase vapor de grafenos em superfícies metálicas; e (ii) as abordagens *top-down* (do inglês, de cima para baixo), que incluem os métodos de esfoliação mecânica (ANTISARI et al., 2006; PARK; RUOFF, 2009; ZHAO et al., 2010), a esfoliação química do

grafite em líquidos (PARK; RUOFF, 2009; VALLÉS et al., 2008; GHAFARZADEH, 2018) e a oxidação do grafite seguida pela sua redução (NOVOSELOV, 2004; PARK; RUOFF, 2009; PEI; CHENG, 2011; REINA et al., 2008).

Este último tem sido um método importante por sua relativa simplicidade e baixo custo, alto grau de esfoliação e quantidade de material obtido (STANKOVICH et al., 2006). O produto das reações de oxidação do grafite e redução do óxido é chamado frequentemente de óxido de grafite reduzido, que, quando esfoliado ou disperso, torna-se óxido de grafeno reduzido (rGO). O processo de redução química remove parcialmente defeitos e grupos funcionais (carboxila, hidroxila, epóxi, carbonila) da rede hexagonal do GO, tornando, assim, as propriedades do rGO mais próximas daquelas do grafeno (Tabela 1). A estrutura do GO e do rGO são apresentadas esquematicamente na Figura 2.

Figura 2 - Modelo esquemático para a estrutura química de uma única camada de óxido de grafeno (a) e do óxido de grafeno reduzido (b).



O desenvolvimento dos nanocompósitos baseados em matriz de alumínio e materiais grafênicos enfrenta principalmente os seguintes desafios: (i) a dispersão não homogênea do material grafênico; (ii) a ligação interfacial fraca e a formação de carbetos; e (iii) a degradação do ordenamento cristalino das fases durante o processamento. Para superar tais dificuldades, muitas estratégias têm sido desenvolvidas nos últimos anos (KHANNA; KUMAR; BANSAL, 2021), inclusive a avaliação de diferentes métodos de processamento, como a metalurgia líquida, a metalurgia do pó, a liga mecânica por fricção, a deposição eletroquímica, entre outros novos métodos que dependem da dispersão das fases em líquidos, como, por exemplo, a mistura em nível molecular. Dentre esses métodos, a metalurgia do pó se destaca, em razão da sua simplicidade e flexibilidade, alta produtividade e baixos custos relativos (ALRASHEEDI, 2016; BAIG et al., 2018; BARTOLUCCI et al., 2011; DASARI et al., 2018; ELGHAZALY; ANIS; SALEM, 2017; KHAN et al., 2017; LATIEF et al., 2011; LI; XIONG, 2017a; LI et al., 2018a; LIU et al., 2016a; PÉREZ-BUSTAMANTE et al., 2014; RAJ et al., 2020; SUN et al., 2017; SYED NASIMUL ALAMN, 2016; TURAN; AYDIN, 2020; WANG et al., 2019).

Neste trabalho, a metalúrgica do pó foi utilizada na obtenção de um nanocompósito de matriz de alumínio reforçado com rGO (NCMA-rGO). O efeito da concentração de rGO na microdureza do nanocompósito foi avaliado.

2 EXPERIMENTAL

2.1 OBTENÇÃO DA AMOSTRA DE rGO

A amostra de grafite utilizada nesse estudo foi fornecida pelo Nacional de Grafite LTDA, Brasil. Possui partículas com diâmetro médio de 50 μm , espessura de camadas da ordem de 50 nm e pureza maior que 99,9%. Todos os solventes e reagentes foram de grau analítico e utilizados sem purificação adicional. Outros reagentes químicos de análise foram fornecidos pela Sigma-Aldrich.

O procedimento de obtenção do GO (método Hummers modificado) foi baseado no trabalho de Abdolhosseinzadeh e colaboradores (ABDOLHOSSEINZADEH; ASGHARZADEH; KIM, 2015). A amostra sólida final foi triturada manualmente e peneirada em uma malha de 40# para obtenção de uma amostra em pó homogênea.

A reação de redução foi realizada em uma segunda etapa que iniciou-se com o preparo de uma dispersão aquosa da amostra de GO (1 mg. mL^{-1}). Em seguida, foi adicionada solução aquosa de NaOH 1,0 M para ajustar o pH \approx 9-10 e, finalmente, adicionou-se solução de ácido ascórbico (L-AA) 0,45 M numa quantidade equivalente a 10 vezes a massa inicial de GO. O produto sólido foi separado por filtração em membrana hidrofílica, de policarbonato, de 0,47 μm (Millipore®) e lavado com água deionizada e etanol anidro. O produto final foi seco em estufa à vácuo em temperatura inferior a 40 ° C durante 48h.

2.2 OBTENÇÃO DO NCMA-rGO

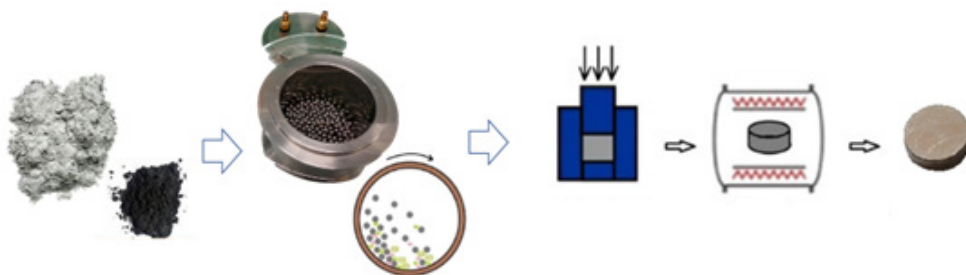
Pós de Al puros (> 99,7% de pureza) obtidos pela técnica de atomização foram cedidos pela ALCOA – Poços de Caldas – MG. Os pós possuem tamanho médio de partículas de 10 μm .

Para combinação de todos os pós e obtenção do NCMA-rGO utilizou-se inicialmente a moagem de alta energia para favorecer a dispersão homogênea das fases. Foi utilizado um moinho de bolas Restch PM 100 com a velocidade de 250 rpm. A moagem foi realizada durante 3 h em frasco de aço inoxidável de 250 ml com bolas de aço inoxidável de 2 mm de diâmetro, sob atmosfera inerte de N_2 ultrapuro. A moagem foi interrompida por 15 minutos a cada intervalo de 60 minutos para evitar o aquecimento excessivo da amostra. A proporção massa/carga foi mantida constante em 10:1. O metanol (CH_3OH -99,99%) foi utilizado como agente de controle do processo para minimizar a soldagem à frio das partículas de alumínio, numa proporção de 0,8% em massa em relação ao teor de alumínio.

Ao final do processo, a mistura foi mantida em um dessecador sob vácuo para permitir a passivação lenta do pó metálico por um período mínimo de 24 h. Em seguida, a mistura foi transferida para um frasco limpo e seco e devidamente selado para evitar

a contaminação e a absorção de umidade. Por fim, as amostras nanocompósitas foram adicionadas em uma matriz de aço de 10 mm de diâmetro e compactadas à frio a uma pressão de 550MPa e, em seguida, submetidas à sinterização utilizando um forno tubular horizontal (Fortelab, FT - 1200/HFL) em atmosfera de gás seco e inerte a 605 °C/10° C.min⁻¹, por 180 min. Uma representação esquemática do processo de obtenção dos NCMA's é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Representação esquemática das etapas de dispersão e consolidação dos CMMs.



Em relação à escolha da porcentagem mássica do reforço, de maneira geral, observa-se que nos NCMA's obtidos com porcentagens mássicas iguais ou superiores a 1% é comum verificar prejuízos nas propriedades mecânicas do material (LI; XIONG, 2017a; LI et al., 2015; LIAO; TAN, 2011; MORSI et al., 2010; STEIN et al., 2012). Portanto, para o presente trabalho, foram projetados NCMA's com as concentrações de 0,0, 0,01, 0,05, 0,5 e 1,0% em massa de rGO.

2.3 CARACTERIZAÇÃO

Medidas de densidade aparente e densidade real foram realizadas usando a técnica de picnometria à hélio em diversas etapas da manufatura dos NCMA's, buscando compreender aspectos relacionados à consolidação das amostras. A técnica de difração de raios X (DRX) foi empregada com a finalidade de identificar e avaliar alterações na microestrutura das amostras na forma de pó. As medidas de microdureza foram realizadas utilizando-se um microdurômetro Vickers Wilson – 402 MVD com carga de 0,2 kgf e tempo de 15 segundos. As amostras foram previamente limpas e polidas de acordo com norma ASTM E-384.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DENSIDADE E MICROESTRUTURA DOS NCMA'S

Os valores de densidade obtidos para os diferentes NCMA's estão apresentados na Tabela 2. As densidades experimentais (ρ_e) foram obtidas pelo método de Arquimedes

e as densidades teóricas foram calculadas (ρ_c) por meio da regra das misturas utilizando os valores de densidade do Al e do rGO puros obtidos experimentalmente ($2,698 \pm 0,006 \text{ g.cm}^{-3}$ e $1,651 \pm 0,019 \text{ g.cm}^{-3}$ para o Al e o rGO, respectivamente).

Tabela 2 – Valores médios de densidade obtidos experimentalmente e calculados por meio da regra das misturas para os diferentes NCMA-rGOs produzidos.

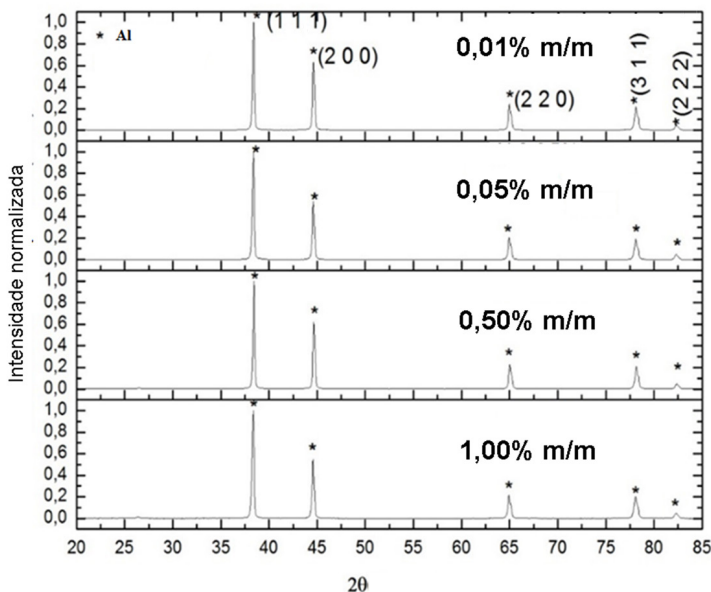
NCMA-rGOs		
$X_{m(rGO)}$	$\rho_e \text{ (g.cm}^{-3}\text{)}$	$\rho_c \text{ (g.cm}^{-3}\text{)}$
0	$2,63 \pm 0,01$	2,698
0,0001	$2,63 \pm 0,02$	2,698
0,0005	$2,63 \pm 0,01$	2,697
0,005	$2,60 \pm 0,01$	2,689
0,01	$2,57 \pm 0,01$	2,681

Para os NCMA-rGOs, a incorporação dos materiais de reforço tem o efeito de reduzir a densidade. Essa diminuição mostra-se significativa apenas acima de 0,5% m/m.

Para o alumínio puro observou-se um valor de ~98% em relação à densidade teórica, o que demonstra o alto nível de densificação alcançado utilizando a metodologia proposta. Este valor está de acordo com os relatados na literatura (CHAMPION, 2008; KHAN et al., 2017; RASHAD et al., 2014). Já para os NCMA-rGOs foi possível verificar níveis de densificação atingindo valores de ~97% e ~96% em relação aos valores máximos teóricos. Resultados semelhantes foram obtidos por Khan e colaboradores (KHAN et al., 2017), que utilizaram metodologia semelhante à usada nesse trabalho, e em outros estudos que utilizaram variações do método de processamento (BISHT et al., 2017; LI; XIONG, 2017b). Para os NCMA-rGOs, observou-se a diminuição da densidade com a incorporação de rGO em concentrações acima de 0,5% em massa. As diferenças encontradas entre os valores experimentais e os valores calculados, em particular nas amostras com teor de reforço de 0,5 e 1,0% em massa devem-se, provavelmente, a fatores como a porosidade e à formação de aglomerados do material de reforço na amostra.

Os resultados de difração de raios X dos pós após a etapa de moagem são apresentados na Figura 4. É possível verificar que, para todas as proporções estudadas, apenas as reflexões mais intensas (111), (200), (220), (311) e (222) referentes à estrutura do alumínio (ICDD No. 89-4037) foram identificadas.

Figura 4 – Difratomogramas dos pós após a etapa de dispersão por moagem de alta energia.



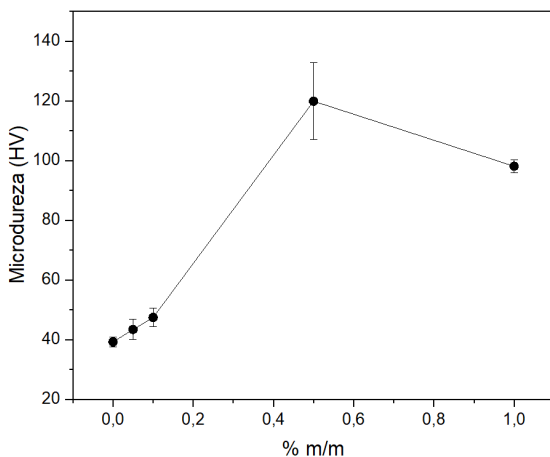
Devido à baixa concentração ($\leq 1\%$ em massa) do rGO e em razão de sua estrutura de poucas camadas, a reflexão (002) típica da estrutura tridimensional de materiais gráficos, comumente utilizada para identificar essa fase, não foi detectada nos difratogramas. Este resultado sugere que o processo de moagem possa ter favorecido a distribuição homogênea das fases e a sua concomitante inserção ao volume das partículas metálicas. Resultados semelhantes foram relatados na literatura (LIU et al., 2016b; ZHOU et al., 2019a, 2019b).

Outra observação importante é que o pico em $\sim 31^\circ$ não foi detectado nos difratogramas. Este pico é referente à fase Al_4C_3 conhecida por causar fragilização no Al e deteriorar as propriedades mecânicas dos NCMA's (AGARWAL; BAKSHI; LAHIRI, 2016). Isso pode ser devido à ausência dessa fase no nanocompósito ou devido ao limite de detecção da técnica.

3.2 MICRODUREZA DOS NCMA'S

Os valores obtidos para a microdureza dos NCMA's-rGO em função do percentual em massa de rGO são apresentados na Figura 5. É possível notar que o rGO tem um efeito significativo no valor da microdureza dos NCMA's em comparação com o alumínio puro. Um aumento discreto foi verificado para a incorporação de rGO nas concentrações de 0,05 e 0,1% em massa. Já para a concentração de 0,5% em massa de rGO, observou-se um ganho real em microdureza de ~ 3 vezes em relação à do alumínio puro, de ~ 39 HV a ~ 120 HV (Figura 5).

Figura 5 - Resultados médios de microdureza para as amostras NCMA-rGO em função da % em massa do material de reforço.



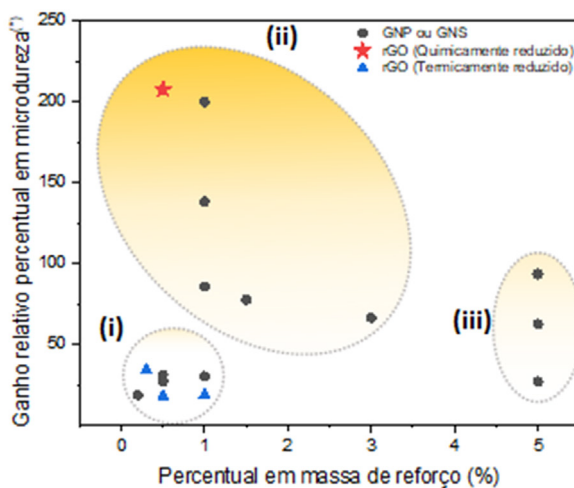
Para a concentração de 1% em massa de rGO, observou-se uma redução nos valores de microdureza, sugerindo um possível efeito de inhomogeneidade da dispersão, que pode induzir à formação de aglomerados, maior porosidade e menor efetividade da interação interfacial entre o Al e a fase carbono. Resultados semelhantes foram obtidos em outros estudos (BISHT et al., 2017; LI et al., 2015) onde proporções acima de 1% em massa provocaram degradação nas propriedades mecânicas de uma forma geral.

A Figura 6 a seguir reúne os melhores resultados encontrados na literatura para a microdureza dos NCMA reforçados com rGO e com outros materiais grafênicos (por motivo de comparação). Nessa figura a microdureza encontra-se expressa em termos do ganho percentual relativo (comparação com o alumínio não reforçado), permitindo assim uma melhor comparação entre os diferentes trabalhos. A seleção dos trabalhos utilizados nesta comparação foi baseada na semelhança em termos de metodologia de processamento (metalurgia do pó/moagem de alta energia) (ALRASHEEDI, 2016; BAIG et al., 2018; BARTOLUCCI et al., 2011; DASARI et al., 2018; ELGHAZALY; ANIS; SALEM, 2017; KHAN et al., 2017; LATIEF et al., 2011; LI; XIONG, 2017a; LI et al., 2018a; LIU et al., 2016a; PÉREZ-BUSTAMANTE et al., 2014; RAJ et al., 2020; SUN et al., 2017; SYED NASIMUL ALAMN, 2016; TURAN; AYDIN, 2020; WANG et al., 2019.

Em função de não haver outros trabalhos na literatura até o momento que apresentem resultados de microdureza para NCMA reforçados com rGO quimicamente reduzido, foi incluído nessa comparação os resultados de microdureza para o NCMA-rGO termicamente reduzido e NCMA reforçado com outros materiais grafênicos (GNPs ou GNS), como detalhado na legenda da Figura 6. Verifica-se nesta Figura, em função

da distribuição dos resultados, algumas regiões delimitadas que sugerem tendências, identificadas como (i), (ii) e (iii).

Figura 6 – Ganho relativo percentual⁽¹⁾ da microdureza em função do percentual em massa do reforço. ⁽¹⁾ $(HV_{(a)} - HV_{(b)}) / HV_{(b)} \times 100$. $HV_{(a)}$: microdureza do NCMA, $HV_{(b)}$: microdureza do alumínio puro em iguais condições de processamento.



No grupo (i) encontram-se reunidos os resultados com menores ganhos relativos na microdureza. Tal fato pode ser atribuído à pobre dispersão da fase de reforço e da baixa interação do reforço com a matriz metálica.

No grupo (iii) encontram-se agrupados resultados onde foram utilizadas maiores frações mássicas de reforço na confecção dos NCMA-rGO. Como mencionando, um dos maiores obstáculos para obter um NCMA-rGO com propriedades mecânicas aprimoradas é a distribuição homogênea do material de reforço, que se torna um desafio cada vez maior à medida que a quantidade relativa de reforço aumenta. A elevada energia de superfície desses materiais é responsável pela forte tendência de aglomeração de suas partículas, que, conseqüentemente, leva à redução nas suas propriedades mecânicas.

Por fim, o grupo (ii), onde o resultado do presente estudo se situa, reúne os trabalhos que apresentam melhor desempenho no ganho em microdureza. É possível dizer que os trabalhos incluídos nesse grupo são aqueles onde verifica-se uma combinação sinérgica entre as propriedades da matriz e do reforço. A faixa de concentração em massa em torno de 0,5-1,0% se destaca na obtenção de NCMA-rGO com melhores propriedades mecânicas, utilizando a metodologia de metalurgia do pó, concordando com outros trabalhos relatados na literatura (LI; XIONG, 2017a; LI et al., 2015; LIAO; TAN, 2011; MORSI et al., 2010; STEIN et al., 2012).

Ainda na Figura 6 é possível verificar que entre todos os trabalhos envolvendo o uso de rGO como reforço, o presente trabalho que utilizou o rGO reduzido quimicamente

(em vermelho) foi o que ofereceu melhor desempenho em aumento de microdureza. Cabe ressaltar que dos três estudos que investigaram a utilização do rGO reduzido termicamente (em azul), um deles refere-se ao primeiro estudo realizado em 2011 por Bartolucci e colaboradores (BARTOLUCCI et al., 2011) e outro, mais recente (RAJ et al., 2020), embora tenha apresentado desempenho inferior no aumento em microdureza, apresentou um valor absoluto expressivo de ~160 HV (para 0,5% em massa de rGO). Entretanto, nesse trabalho os autores utilizam a liga de alumínio 7075 que já possui dureza elevada.

Estudos teóricos recentes (CHEN et al., 2021; LI et al., 2018b; ZHANG; WANG, 2021) têm demonstrado que grafenos mais “defeituosos” (que apresentam maior densidade de defeitos pontuais e hibridização sp^3), GO ou rGO por exemplo, podem ser considerados materiais mais promissores para serem utilizados como fase de reforço em NCMA. De acordo com esses estudos, a energia de ligação interfacial Al-C é quase 4 vezes superior à esperada para um NCMA reforçado com “grafeno ideal” (GNP ou GNS, por exemplo), o que pode proporcionar, portanto, melhorias nas propriedades mecânicas dos NCMA.

4 CONCLUSÕES

Nanocompósitos NCMA-rGO, com concentração de rGO entre 0,01 e 1,0% em massa de rGO, foram obtidos utilizando a moagem de alta energia para promover a dispersão e combinação das fases. Os NCMA-rGO apresentaram elevado grau de densificação, verificando-se ganhos em microdureza de ~200% com frações mássicas de 0,5%. A fase Al_4C_3 , cuja formação pode levar a perdas em propriedades mecânicas dos NCMA, não foi detectada nos pós por DRX, evidenciando que as condições de moagem selecionadas podem ter sido adequadas para evitar danos excessivos ao material grafênico e, conseqüentemente, a sua formação. Em um estudo comparativo, frações mássicas de 0,5-1,0% apresentaram ganhos relativos em microdureza significativos, sugerindo um guia para estudos futuros.

5 AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio do Instituto Brasileiro de Nanocarbono, do Programa SisNano e das agências brasileiras CNPq, CAPES, FAPEMIG e CNEN. Os autores gostariam de agradecer à Alcoa e à Nacional de Grafite LTDA pelo fornecimento das amostras.

REFERÊNCIAS

ABDOLHOSSEINZADEH, S.; ASGHARZADEH, H.; KIM, H. S. Fast and fully-scalable synthesis of reduced graphene oxide. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1-7, 2015.

- AGARWAL, A.; BAKSHI, S. R.; LAHIRI, D. **Carbon nanotubes: Reinforced metal matrix composites**. 1. ed. CRC Press, 2016.
- ALRASHEEDI, N. H. Facile Synthesis and Characterization of Aluminum/Graphene Nanosheets Composites. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 41, n. 11, p. 4391–4395, 2016.
- ANTISARI, M. V. et al. Low energy pure shear milling: A method for the preparation of graphite nanosheets. **Scripta Materialia**, v. 55, n. 11, p. 1047–1050, 2006.
- BAIG, Z. et al. An efficient approach to address issues of graphene nanoplatelets (GNPs) incorporation in aluminium powders and their compaction behaviour. **Metals**, v. 8, n. 2, p. 1–16, 2018.
- BARTOLUCCI, S. F. et al. Graphene-aluminum nanocomposites. **Materials Science and Engineering A**, v. 528, n. 27, p. 7933–7937, 2011.
- BIANCO, A. et al. All in the graphene family - A recommended nomenclature for two-dimensional carbon materials. **Carbon**, v. 65, p. 1–6, 2013.
- BISHT, A. et al. Strengthening mechanism in graphene nanoplatelets reinforced aluminum composite fabricated through spark plasma sintering. **Materials Science & Engineering A**, 2017.
- CHAMPION, Y. Powder metallurgy of nanometric aluminium powders. **Powder Metallurgy**, v. 51, n. 2, p. 125–132, 2008.
- CHEN, Y. et al. The interface properties of defective graphene on aluminium: A first-principles calculation. **Computational Materials Science**, v. 188, n. December 2020, p. 110157, 2021.
- DASARI, B. L. et al. Mechanical properties of graphene oxide reinforced aluminium matrix composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 145, n. October 2017, p. 136–144, 2018.
- ELGHAZALY, A.; ANIS, G.; SALEM, H. G. Effect of Graphene Addition on the Mechanical and Tribological Behavior of. **Composites Part A**, 2017.
- GHAFFARZADEH K. IDTechEX. **Graphene, 2D Materials and Carbon Nanotubes: Markets, Technologies and Opportunities 2018–2028**. Available online: <https://www.idtechex.com/research/reports/graphene-2d-materials-and-carbon-nanotubesmarkets-technologies-and-opportunities-2018-2028-000603.asp>, 2018
- KAINER, K. U. **Basics of Metal Matrix Composites**. 1. ed. Forschungszentrum, Geesthacht: Wiley, 2006.
- KHAN, M. et al. Microstructural evolution, mechanical profile, and fracture morphology of aluminum matrix composites containing graphene nanoplatelets. **Journal of Materials Research**, v. 32, n. 11, p. 2055–2066, 2017.
- KHANNA, V.; KUMAR, V.; BANSAL, S. A. Mechanical properties of aluminium-graphene/carbon nanotubes (CNTs) metal matrix composites: Advancement, opportunities and perspective. **Materials Research Bulletin**, v. 138, n. April, 2021.
- LATIEF, F. H. et al. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Fabrication of exfoliated graphite nanoplatelets-reinforced aluminum composites and evaluating their mechanical properties and corrosion behavior. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 92, n. 2, p. 485–492, 2011.
- LI, G.; XIONG, B. Effects of graphene content on microstructures and tensile property of graphene-nanosheets / aluminum composites. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 697, p. 31–36, 2017a.

- LI, G.; XIONG, B. Effects of graphene content on microstructures and tensile property of graphene-nanosheets / aluminum composites. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 697, p. 31–36, 2017b.
- LI, J. L. et al. Microstructure and tensile properties of bulk nanostructured aluminum/graphene composites prepared via cryomilling. **Materials Science and Engineering A**, v. 626, p. 400–405, 2015.
- LI, M. et al. Microstructure evolution and properties of graphene nanoplatelets reinforced aluminum matrix composites. **Materials Characterization**, v. 140, n. April, p. 172–178, 2018a.
- LI, Z. et al. Graphene quality dominated interface deformation behavior of graphene-metal composite: The defective is better. **International Journal of Plasticity**, v. 111, p. 253–265, 2018b.
- LIAO, J.; TAN, M. Mixing of carbon nanotubes (CNTs) and aluminum powder for powder metallurgy use. **Powder Technology**, v. 208, n. 1, p. 42–48, 2011.
- LIU, J. et al. Powder processing methodology for production of graphene oxide reinforced aluminium matrix composites. **Advances in Materials and Processing Technologies**, v. 0698, n. October, p. 1–14, 2016a.
- LIU, J. et al. Graphene oxide and graphene nanosheet reinforced aluminium matrix composites: Powder synthesis and prepared composite characteristics. **Materials and Design**, v. 94, p. 87–94, 2016b.
- MACKENZIE, D. S.; TOTTEN, G. E. **Handbook of aluminum**. 1. ed. New York: Marcel Dekker, 2003.
- MORSI, K. et al. A Spark plasma extrusion (SPE) of ball-milled aluminum and carbon nanotube reinforced aluminum composite powders. **Composites Part A**, v. 41, n. 2, p. 322–326, 2010.
- NIETO, A. et al. Graphene reinforced metal and ceramic matrix composites : a review. **International Materials Reviews**, v. 62, n. 5, p. 241–302, 2017.
- NOVOSELOV, K. S. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. v. 666, n. 2004, 2004.
- PARK, S.; RUOFF, R. S. Chemical methods for the production of graphenes. **Nature Nanotechnology**, v. 4, n. 4, p. 217–224, 2009.
- PEI, S.; CHENG, H. The reduction of graphene oxide. **Carbon**, v. 50, n. 9, p. 3210–3228, 2011.
- PÉREZ-BUSTAMANTE, R. et al. Microstructural and hardness behavior of graphene-nanoplatelets / aluminum composites synthesized by mechanical alloying. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 615, p. S578–S582, 2014.
- RAJ, R. R. et al. Effect of graphene addition on the mechanical characteristics of AA7075 aluminium nanocomposites. **Carbon Letters**, n. 0123456789, 2020.
- RASHAD, M. et al. Effect of Graphene Nanoplatelets addition on mechanical properties of pure aluminum using a semi-powder method. **Progress in Natural Science: Materials International**, v. 24, n. 2, p. 101–108, 2014.
- REINA, A. et al. Large Area, Few-Layer Graphene Films on Arbitrary Substrates by Chemical Vapor Deposition. **Nano Letters**, v. 9, n. 1, p. 30–35, 2008.
- STANKOVICH, S. et al. Graphene-based composite materials. **Nature**, v. 442, n. 7100, p. 282–286, 2006.
- STEIN, J. et al. Mechanical reinforcement of a high-performance aluminium alloy AA5083 with homogeneously dispersed multi-walled carbon nanotubes. **Carbon**, v. 50, n. 6, p. 2264–2272, 2012.

- STOJANOVIC, B.; BUKVIC, M.; EPLER, I. Application of aluminum and aluminum alloys in engineering. **Applied Engineering Letters**, v. 3, n. 2, p. 52–62, 2018.
- SUN, Y. et al. Reduced Graphene Oxide Reinforced 7075 Al Matrix Composites: Powder Synthesis and Mechanical Properties. **Metals**, v. 7, n. 11, p. 499, 2017.
- SYED NASIMUL ALAMN, L. K. A Mechanical properties of aluminium based metal matrix composites reinforced with graphite nanoplatelets. **Materials Science & Engineering A**, v. 667, p. 16–32, 2016.
- TJONG, S. C.; CHIN, S. Recent progress in the development and properties of novel metal matrix nanocomposites reinforced with carbon nanotubes and graphene nanosheets. **Materials Science and Engineering R: Reports**, v. 74, n. 10, p. 281–350, 2013.
- TURAN, M. E.; AYDIN, F. Improved elevated temperature mechanical properties of graphene-reinforced pure aluminium matrix composites. **Materials Science and Technology (United Kingdom)**, v. 36, n. 10, p. 1092–1103, 2020.
- VALLÉS, C. et al. Solutions of negatively charged graphene sheets and ribbons. **Journal of the American Chemical Society**, v. 130, n. 47, p. 15802–15804, 2008.
- WAN, S. et al. Ultrastrong Graphene Films via Long-Chain π -Bridging. **Matter**, v. 1, n. 2, p. 389–401, 2019.
- WANG, J. et al. Effect of the graphene content on the microstructures and properties of graphene/aluminum composites. **Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials**, v. 34, n. 3, p. 275–285, 2019.
- WICK, P. et al. Classification framework for graphene-based materials. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 53, n. 30, p. 7714–7718, 2014.
- ZENG, Y. et al. Thermally Conductive Reduced Graphene Oxide Thin Films for Extreme Temperature Sensors. **Advanced Functional Materials**, v. 29, n. 27, p. 1–7, 2019.
- ZHANG, J. et al. A review of selective laser melting of aluminum alloys: Processing, microstructure, property and developing trends. **Journal of Materials Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 270–284, 2019.
- ZHANG, X.; WANG, S. Interfacial strengthening of graphene/aluminum composites through point defects: A first-principles study. **Nanomaterials**, v. 11, n. 3, p. 1–16, 2021.
- ZHAO, W. et al. Preparation of graphene by exfoliation of graphite using wet ball milling. **Journal of Materials Chemistry**, v. 20, n. 28, p. 5817–5819, 2010.
- ZHOU, W. et al. In situ formation of uniformly dispersed Al₄C₃ nanorods during additive manufacturing of graphene oxide/Al mixed powders. **Carbon**, v. 141, p. 67–75, 2019a.
- ZHOU, W. et al. Interfacial reaction induced efficient load transfer in few-layer graphene reinforced Al matrix composites for high-performance conductor. **Composites Part B: Engineering**, v. 167, p. 93–99, 2019b.
- ZHU, Y. et al. Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications. **Advanced Materials**, v. 22, n. 35, p. 3906–3924, 2010.

ABOUT THE ORGANIZER

MARCOS AUGUSTO DE LIMA NOBRE: Assistant Professor and Researcher (2006 - present), with citation name M. A. L. Nobre, at the São Paulo State University (UNESP), School of Science and Technology, Department of Physics, campus at Presidente Prudente-SP. Head and Founder (2002) of the Laboratory of Functional Composites and Ceramics (LaCCeF acronym in Portuguese, the native idiom), Lab certified by PROPE-UNESP/National Council for Scientific and Technological Development/CNPq*. Grants from National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), 2020-2023, 2019-2021 and 2010-2012. Granted with Young-Researcher scholarship by the São Paulo Research Foundation, FAPESP (São Paulo, São Paulo) (2002 - Summer of 2005). Postdoctoral fellow at the Polytechnic School of the University of Sao Paulo (POLI USP-SP) Metallurgy and Materials Science Department with FAPESP Scholarship (1999-summer of 2000). PhD in Science, CAPES Scholarship (Physical Chemistry 1999) by the Chemistry Department, UFSCar-SP. Master in Chemistry CNPq scholarship (Physical Chemistry 1995) by the Chemistry Department, UFSCar-SP. Licentiate degree (4-year of study) in Physics (1993) CNPq and CNPq-Rhae scholarships by the Physics Department, UFSCar-SP. Associate Editor of the Micro & Nano Letters - IET 2019-2020. Associate Editor of the Micro & Nano Letters-Wiley, 2020 - present. Ethical Editor of the Applied Mathematics Science (Reuse) m-Hikari and Modern Research in Catalysis, Irvine-CA, USA (2017- date). Editorial board member of the Artemis Editora, Brazil. Nowadays, have 02 patents. Has published 80 papers at 39 different indexed Journals of renowned Editors. In May/25/2021, has been cited 1379 times, at 76 papers (47 with citations), in according to the ResearchID actual Publons base having an H-index equal to 23. Academic Google score: H = 28, i10 = 45 and 2338 citations. Reviewer of more than three dozen of journals. Have more than 580 communications and presentation in National and International Congress and Symposiums, from these 150 has been published as Conference Paper. Author or co-author of 20 Chapters of book approaching Scientific Divuligation, Teaching of Physic and Chemistry for teachers actuating in the graduating degree. For this, the Nanoscience and Nanotechnology have been the first strategy. Received tens of National and International Awards, Honorable mentions and distinction mentions, as well as titles. Research skills: Materials Science, Advanced Ceramic Processing, Linear and Non-linear Advanced Dielectrics Materials, Solid state chemistry, Impedance spectroscopy of solids and fluids, Structural Characterization via Mid infrared Spectroscopy with Fast-Fourier-Transformed of solid and fluids, Structural and non-structural Phase Transitions in Semiconductor Ferroelectrics. Also, Molecular Interactions in Functional Fluids as biofuels and its blends, probed via mid infrared Spectroscopy. Research interests: New Functional Materials as

amorphous composite based on carbon/nanoparticles and Semiconductor Ferroelectrics.
Member of the Program of Post-Graduation in Chemistry at UNESP - Campus of São José
do Rio Preto, IBILCE UNESP – SP, Brazil.

INDEX

A

Adsorbente 172, 173, 179, 180

Alumínio 182, 183, 184, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 193, 198, 200, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Annealing 1, 2, 4, 5, 7, 9, 10, 227

Arsénico 172, 173, 174, 178, 179, 180, 181

AuNR dimer 12, 14, 16, 17, 18, 19

B

Biodiesel 162, 164, 165, 168, 169, 171

Blends 162, 168, 169, 170, 171

Bulk sensitivity 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 73

C

Carboxymethylchitosan 125, 127, 128, 129, 132, 133, 136

Celulose 228, 229, 230, 231, 232, 233

Chemical composition of SS surface 109

Clay 125, 127, 128, 130, 131, 133, 136, 137

Comparison among Silica and reuse of waste 77

COMSOL 14, 15, 68

Conductive tubes 92, 93, 94, 95, 100, 102, 104, 106

Confined water 39, 40, 41, 42, 52, 55, 58, 59, 60, 61, 63, 65

D

DFT 21, 23, 35, 36, 49, 50, 63

Diesel 162, 163, 164, 165, 168, 169, 171

DSSC 213, 214, 217

E

Efluente 172, 173

Evolutionary strategies 151, 156

F

FEM 14, 68

Figure of merit 11, 12, 14, 15, 16, 17, 67, 68, 72, 73, 74

Filmes finos 205, 212, 213
Filter 125, 126, 127, 128, 131, 132, 134, 135, 136, 137
Fits on Mössbauer spectra 151
FoM 15, 16, 17, 18, 19, 68, 74

G

Graphite nanostructures 162

K

$\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$ ceramic 138, 139, 141, 144, 146

M

Magnetita nanoestruturada 172, 173
Metalurgia do pó 182, 186, 191, 192
Métodos químicos 198, 201, 205
Micro and nano silica 76, 77, 78, 79, 84, 90

N

Nanocomposite 36, 37, 91, 125, 126, 127, 128, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 161, 182, 183, 194, 195, 196, 198, 211
Nanocompósitos 182, 183, 185, 186, 193
Nanocristais 228, 229, 230, 232, 233
Nanoestruturas 182, 198, 200, 201, 202, 206, 210, 213, 217, 218, 219, 222, 223, 224, 226
Nanograins 1, 2, 3, 9, 138
Nanolithography 39, 40, 41, 42, 45, 50, 62, 64, 66
Nanopartículas 151, 180, 212, 224, 228, 229, 231
Nanostructures 2, 9, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 25, 38, 61, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 138, 162, 170, 211, 213, 226, 227
Nanostructures surface 21, 22, 23
Nanotechnology 12, 20, 62, 66, 102, 106, 126, 138, 162, 183, 195, 213, 226
Nanotecnologia 182, 212
 NiFe_2O_4 nanoparticles 150, 151, 153

O

Oxidation 39, 40, 41, 42, 53, 55, 59, 64, 65, 91, 109, 117, 118, 121
Óxido de grafeno reduzido 182, 183, 186

Óxido de zinco 197, 213

P

Papel reciclado 228, 229, 232, 233

Perfectly matched layer 11, 12, 15, 68, 69

PIII in magnetic field 109

Plasma immersion ion implantation 92, 93, 94, 107, 108, 109, 122, 123, 124

R

RI 15, 16, 67, 68, 72, 73

Rice husk Silica 77

Rolling 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9

Rough rolls 1, 2, 3, 8, 9

S

SILAR 198, 200, 201, 204, 205, 206, 210, 212, 213, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 226

Silica Morphology 77, 83

Silver nanoparticles 74, 125, 127, 128, 129, 130, 132, 133, 136, 137

Supercapacitores 197, 198, 199, 200, 202, 209, 210

Surface 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 75, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 129, 152, 160, 161, 173, 211, 213, 226, 227

Surface modification 37, 38, 92, 93, 106, 109, 110

U

Ultrananocrystalline Diamond Films 93, 108

V

Viscosity 89, 162, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171

X

X-ray photoelectron spectroscopy 42, 92, 96, 103, 108, 109, 111, 123

Z

ZnO 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227

ZnO nanocrystals 21, 23, 25, 35



**EDITORA
ARTEMIS**