

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Estudos

Sobre

as

Propriedades, Processamento e
Produção de Materiais

Sergio Bitencourt Araújo Barros
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2020

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Estudos

Sobre

as

Propriedades, Processamento e
Produção de Materiais

Sergio Bitencourt Araújo Barros
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2020

2020 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2020 Os autores
Copyright da Edição © 2020 Editora Artemis
Edição de Arte: Bruna Bejarano
Diagramação: Helber Pagani de Souza
Revisão: Os autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*.
Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Editora Chefe:

Prof^ª Dr^ª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora Executiva:

Viviane Carvalho Mocellin

Organizador:

Sergio Bitencourt Araújo Barros

Bibliotecário:

Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial:

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 Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso

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. 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. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof.^ª Dr.^ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco

Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

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. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros

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. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista
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 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. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
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. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia

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

C569 Ciência e tecnologia [recurso eletrônico] : estudos sobre as propriedades, processamento e produção de materiais / Organizador Sergio Bitencourt Araújo Barros. – Curitiba, PR: Artemis, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-18-7

DOI 10.37572/EdArt_187261020

1. Materiais – Ciência e tecnologia. 2. Química verde. 3. Sustentabilidade. I. Barros, Sergio Bitencourt Araújo.

CDD 577.14

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

APRESENTAÇÃO

A coletânea intitulada **“Ciência e Tecnologia: Estudos sobre as Propriedades, Processamento e Produção de Materiais”** contempla resultados de pesquisas na área de química da matéria condensada, envolvendo conceitos de Química Verde, sustentabilidade e tecnologia.

A obra é iniciada com capítulos que versam sobre desenvolvimento de materiais sustentáveis e suas aplicações, como o uso de rejeitos de frutos aplicados como inibidores de corrosão de aço carbono, desenvolvimento de fotocatalisadores eficientes na purificação de sistemas aquosos contaminados por corante, assim como uma minuciosa revisão sobre a ampla gama de microorganismos existentes no meio ambiente capaz de biodegradar uma grande variedade de polímeros. Nos capítulos seguintes são tratadas a otimização de sistemas e materiais que são normalmente usados em impressão 3D de objetos e na fabricação de dispositivos eletrônicos; a preparação de material cerâmico com grande potencial em aplicações odontológicas; o aproveitamento de finos de resíduos de minério de manganês pelo processo de pelotização e, finalmente, a utilização de resíduos de minério de manganês para obtenção de compósitos com matriz metálica de alumínio.

O livro tem como foco apresentar aos leitores diferentes aspectos de pesquisas e aplicações da química da matéria condensada e de suas áreas correlatas no desenvolvimento de materiais e tecnologias que incentivem a sustentabilidade e tecnologias.

As pesquisas que integram a obra são de grande valia para o meio acadêmico, fornecendo subsídios teóricos para futuras investigações científicas, podendo ser usados desde o ensino dos temas abordados, para o desenvolvimento de projetos de trabalhos de conclusão de curso e pesquisas, para a atualização do estado da arte na área de degradação de polímeros, tratamento de efluentes, dentre outros.

Aos autores da obra, quero parabenizar pela qualidade dos artigos e agradecer por disponibilizá-los aos leitores por meio da Editora Artemis. Aos leitores, convido a apreciarem e examinarem a obra **“Ciência e Tecnologia: Estudos sobre as Propriedades, Processamento e Produção de Materiais”**.

Enfim, desejo-lhes uma excelente leitura!

Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ESTUDO DO SINERGISMO DO PÓ DA CASCA DE CACAU E MAMONA COMO INIBIDORES DE CORROSÃO PARA O AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO

Lhaira Souza Barreto
Thássia Félix de Almeida
André de Mendonça Santos
Fernando Cotting
Franco Dani Rico Amado
Vera Rosa Capelossi

DOI 10.37572/EdArt_1872610201

CAPÍTULO 213

AUMENTO DA ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA INDUZIDA POR FILMES HETEROESTRUTURADOS DE TiO₂/Pt/SnO₂

Elias de Souza Monteiro Filho
Glaucio de Oliveira Testoni
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Glaucio Meireles Mascarenhas Morandi Lustosa
João Paulo de Campos da Costa
Marcelo Vianna Nogueira
Miguel Ruiz
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Elson Longo da Silva
Leinig Antonio Perazolli

DOI 10.37572/EdArt_1872610202

CAPÍTULO 331

MICROORGANISMOS NA BIODEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS EM MEIO AQUOSO

Lhaira Souza Barreto
Erika Emanuele Gomes da Silva
Josiane Dantas Viana Barbosa
Sara Horácio de Oliveira Maciel
Yêda Medeiros Bastos de Almeida Glória
Maria Vinhas

DOI 10.37572/EdArt_1872610203

CAPÍTULO 449

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E TÉRMICA DO PLA PROCESSADO POR MANUFATURA ADITIVA

Felipe Lopes Fonseca da Silva
Nirlei Santos de Lima
Luciana Sgarbi Rossino
Marcos Dorigão Manfrinato

DOI 10.37572/EdArt_1872610204

CAPÍTULO 5	62
ESTUDO DE SUPERFÍCIE E MORFOLÓGICO DE FILMES FINOS BASEADOS NO POLÍMERO SEMICONDUTOR CONJUGADO PBTTT-C14	
José Enrique Eirez Izquierdo	
Marco Roberto Cavallari	
Marcelo Goncalves Honnicke	
Fernando Josepetti Fonseca	
DOI 10.37572/EdArt_1872610205	
CAPÍTULO 6	75
ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS E MORFOLÓGICAS DE DOIS SISTEMAS CERÂMICOS SINTERIZADOS DE 3Y-TZP	
Fabiola Stahlke Prado	
Cláudio Machado Junior	
Renato Panegaci dos Santos	
Alejandra Hortencia Miranda González	
DOI 10.37572/EdArt_1872610206	
CAPÍTULO 7	84
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS PARA OBTENÇÃO DE PELOTAS	
Milton Teles Neto	
Margarida Márcia Fernandes Lima	
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz	
Rosa Malena Fernandes Lima	
DOI 10.37572/EdArt_1872610207	
CAPÍTULO 8	98
SINTERIZAÇÃO AO NATURAL DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM 5%p, 10%p e 15%p DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS	
Margarida Márcia Fernandes Lima	
Vítor Martins Incalado	
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz	
Rosa Malena Fernandes Lima	
DOI 10.37572/EdArt_1872610208	
SOBRE O ORGANIZADOR	118
ÍNDICE REMISSIVO	119

SINTERIZAÇÃO AO NATURAL DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM 5%P, 10%P E 15%P DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS

Data de aceite: 15/10/2020

Margarida Márcia Fernandes Lima

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1795077420118200>

Vítor Martins Incalado

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8254735449407107>

Rhelman Rossano Urzedo Queiroz

Instituto Federal de Minas Gerais, campus Ouro Preto,
Coordenadoria de Metalurgia
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/1745642248868023>

Rosa Malena Fernandes Lima

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Engenharia de Minas
Ouro Preto – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0232995533976144>

RESUMO: A utilização de resíduos de minério para obtenção de produtos manufaturados tem sido objeto de muitos estudos para aplicação desses materiais. Neste trabalho,

compósitos foram obtidos com resíduos de minério de manganês e alumínio pelo processo de sinterização. Os compósitos foram obtidos com 5%p, 10%p e 15%p de resíduos de minério com $D_{90}=44,14\mu\text{m}$ e pó de alumínio com $D_{90}=73,43\mu\text{m}$. As misturas foram homogeneizadas em gral de ágata por 3600s. As amostras verdes foram obtidas com pressão de compactação de 140MPa e sinterizadas a 600°C e 610°C durante 120min e 180min. As caracterizações foram realizadas por perda de peso, densidade geométrica, MO e MEV/EDS, microdureza Vickers e testes de compressão. As microestruturas das amostras apresentaram porosidade e fases contendo diversos elementos químicos, tais como: Al, Mn, Mg, Si, Zr, Ca, C, etc. Todos os compósitos sinterizados apresentaram menor perda de massa em relação às amostras de alumínio e valores menores de densidade geométrica do que as amostras verdes. A melhor condição de trabalho foi de 610°C durante 120min, pois essas amostras apresentaram maiores valores de densidade geométrica, menor perda de massa e, conseqüentemente, maiores valores de resistência à compressão e dureza. Para pequenas deformações, as amostras reforçadas com 5%p, 10%p e 15%p de resíduos de minério de manganês nos compósitos

exibiram maior resistência à compressão do que o alumínio. Já para deformações superiores a 30%, o encruamento do alumínio foi superior aos reforços fornecidos pelos resíduos. Compósitos reforçados com 5%p de resíduos exibiram maior resistência à compressão. Compósitos reforçados com 10%p resíduos exibiram o maior valor de dureza. Em geral, todos os compósitos apresentaram maiores valores de dureza quando comparados às amostras de alumínio.

PALAVRAS-CHAVE: compósitos de matriz metálica de alumínio, sinterização, aproveitamento de resíduos de minérios.

SINTERING UNDER AIR ATMOSPHERE OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH 5%WT, 10%WT AND 15%WT OF MANGANESE ORE TAILINGS

ABSTRACT: The use of ore tailings to obtain manufactured products has been the subject of many studies to application of these materials. In this work, composites were obtained with aluminum and manganese ore tailings by the sintering process. The composites were obtained with 5%wt, 10%wt and 15%wt of ore tailings with $D_{90}=44.14\mu\text{m}$ and aluminum powder with $D_{90}=73.43\mu\text{m}$. The mixtures were homogenized in an agate mortar for 3600s. The green samples were obtained with compaction pressure of 140MPa and sintered at 600°C and 610°C during 120min and 180min. The characterizations were carried out by weight loss, geometric density, MO and MEV/EDS, Vickers microhardness and compression tests. The microstructures of the samples showed porosity and phases containing several chemical elements, such as: Al, Mn, Mg, Si, Zr, Ca, C, etc. All sintered composites showed lower weight loss compared to aluminum samples and lower values of geometric density than the green samples. The best condition work was 610°C during 120min, as these samples showed higher values of geometric density, lower weight loss and, consequently, higher values of compressive strength and hardness. For small deformations, reinforced samples with 5%wt, 10%wt and 15%wt of manganese ore tailings in the composites exhibited greater compressive strength than the aluminum. While for deformations greater than 30%, the work hardening of aluminum was higher than the reinforcements gave by the tailings. Composites reinforced with 5%wt exhibited greater compressive strength. Composites reinforced with 10%wt exhibited the highest hardness value. In general, all composites showed higher hardness values when compared to aluminum samples.

KEYWORDS: aluminum metal matrix composites, sintering, reuse of ore tailings

1. INTRODUÇÃO

Os processos de aglomeração surgiram com o objetivo de aproveitar a grande quantidade de finos que ficavam acumulados durante a produção de minérios

granulados ou para aproveitamento de minérios pobres que necessitavam de concentração prévia. Nesta linha, apresenta-se o processo de sinterização, por isso a sua aplicação para materiais cerâmicos e minerais [1-6].

Os metais são materiais interessantes para a fabricação de compósitos, principalmente, quando o reforço é particulado. As matrizes metálicas possuem características atrativas de resistência à corrosão, alta resistência mecânica e tenacidade à fratura. Destacam-se o alumínio, o magnésio e o titânio por ainda possuírem baixa massa específica e o cobre pela alta condutividade térmica. Dependendo do particulado, os compósitos obtidos podem apresentar maior temperatura de uso em relação ao material da matriz, melhor estabilidade térmica e melhor resistência ao desgaste. Em particular, os compósitos com matriz de alumínio têm grande aplicação nas indústrias automobilísticas, aeroespaciais e navais devido à leveza deste elemento químico. Para aumentar a sua resistência ao desgaste, diversos tipos de reforços têm sido usados [1-11].

Sabe-se que existem inúmeros fatores na formulação de compósitos que podem influenciar nas suas propriedades, como as proporções dos constituintes e as condições de trabalho. Estudos preliminares de resíduos de minério de manganês mostraram que este material tem grande capacidade de aderência em outros materiais, fusão parcial acima de 1150°C, além de elevada resistência mecânica quando obtidos na forma de peças sinterizadas [12-16]. Neste trabalho, pretendeu-se utilizar resíduos de minério de manganês na obtenção de compósitos com matriz de alumínio e verificar as mudanças de propriedades em relação ao alumínio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Pós de alumínio puro fornecido pela empresa ALCOA de Poços de Caldas-MG e finos de resíduos de minério de manganês sílico carbonatado proveniente de Moro da Mina de Conselheiro Lafaiete-MG foram utilizados para obtenção dos compósitos. A pureza do pó de alumínio era de 99,7% e $D_{90}=73,43\mu\text{m}$. Os resíduos de finos de minério de manganês, in natura, foram utilizados com granulometria menor que $37\mu\text{m}$.

2.1 Preparação do minério

O minério de manganês foi moído a seco em um moinho de bolas para uma granulometria abaixo de 0,044mm (325#) durante aproximadamente 12h. Assim, uma amostra desse minério foi obtida com uma massa de 4,5kg.

2.2 Homogeneização dos pós

Para homogeneização dos pós foi utilizado um gral de ágata. Foram obtidas misturas contendo alumínio e adições de 5%, 10% e 15% de resíduo de minério de manganês. Uma massa de 20g de mistura era homogeneizada durante 1h por vez. Para mensurar as massas dos pós foi utilizada uma balança da marca Sartorius, modelo: MSU324P, com precisão de quatro casas decimais.

2.3 Compactação

Para o processo de compactação foi utilizada uma prensa da marca Nowak com capacidade de 15tf e uma matriz de compactação de 15mm de diâmetro interno confeccionada em aço SAE1045. No processo de compactação, a matriz era lubrificada com carvão ativado. Pastilhas à verde foram obtidas com uma carga de 2,5tf por 1min, o que resultou numa pressão de compactação em torno de 140MPa. Desse modo, foram obtidas vinte amostras para cada proporção mássica de 5%, 10% e 15% de reforço de minério de manganês em matriz de alumínio. Para comparação dos resultados dos ensaios foram confeccionadas dezesseis amostras de alumínio puro.

2.4 Sinterização

As sinterizações ocorreram em um forno mufla da marca FORTELAB, modelo ML 1300/20. A taxa de aquecimento utilizada foi de 5°C/min e as amostras foram retiradas do forno quando a temperatura era menor que 100°C. As sinterizações foram realizadas nas temperaturas de 600°C e 610°C nos intervalos de tempo de 120min e 180min.

2.5 Densidade geométrica

As medições das dimensões das amostras à verde e sinterizadas para determinação dos valores de densidade geométrica foram realizadas utilizando um paquímetro digital da marca Mitutoyo, com precisão de duas casas decimais. As dimensões das amostras foram tomadas como resultado da média de três valores de medição. A massa de cada amostra foi mensurada em uma balança com precisão de quatro casas decimais da marca Sartorius. A relação entre massa e volume de cada amostra possibilitou o cálculo de densidade geométrica.

2.6 Preparação metalográfica de amostras

Uma amostra de cada condição de trabalho, incluindo alumínio puro, foi embutida a frio sob vácuo utilizando uma resina acrílica de cura longa da marca Epoxiglass.

Os lixamentos e polimentos das amostras foram realizados em uma lixadeira/politriz da marca Arotec, modelo Aropol 2V. Para o lixamento foram utilizadas lixas

de carbeta de silício de nos: 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200. Os polimentos foram realizados utilizando alumina com granulometrias de 1 μ m, 0,3 μ m e 0,05 μ m.

2.7 Análise microestrutural

As microestruturas das amostras foram observadas por microscopia óptica utilizando um microscópio da marca Olympus, modelo BX51M. Para análises das microestruturas e mapeamento dos elementos químicos presentes foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura da marca Shinadzu com acoplamento de um espectrômetro EDS da marca Oxford, modelo X-Max 20. Para tanto, as amostras foram metalizadas com ouro.

2.8 Ensaios de compressão

Na Figura 3 estão apresentadas as microestruturas das amostras obtidas em microscópio óptico para cada condição de trabalho estudada. Elas são típicas de pelotas queimadas, com muita porosidade. Nestas micrografias estão indicadas por números algumas fases das amostras que se apresentaram acinzentadas, claras e brilhantes. As regiões mais escuras são poros e algumas regiões cinza de preenchimento correspondem à resina que se adentrou nas amostras.

2.9 Ensaios de microdureza Vickers

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados em uma amostra para cada condição de trabalho utilizando um microdurômetro da marca ENCOTEST, modelo DURASCAN 10. A carga utilizada nos ensaios foi de 50g e o intervalo de tempo de sua aplicação foi de 15s. Os valores finais de microdureza Vickers foram determinados pela média de seis medições de cada amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos pós

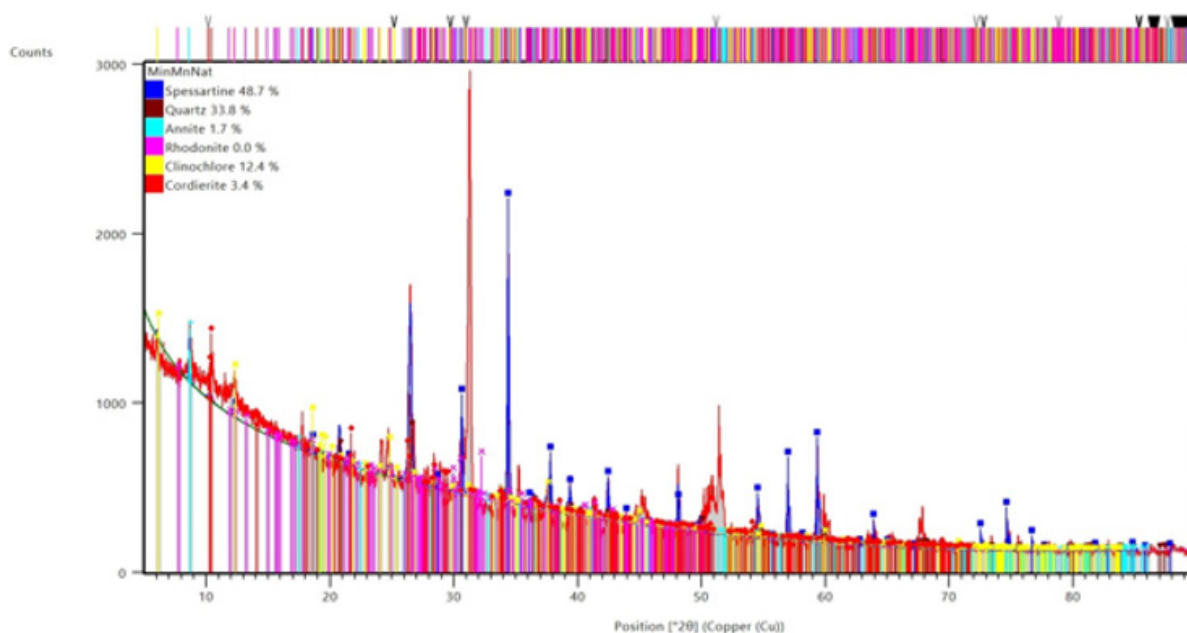
Linhares [13] e Pereira [14] caracterizaram o resíduo de minério de manganês utilizado neste trabalho. Segundo a Tabela 1, a composição mineralógica é majoritariamente composta por silicatos. O principal mineral desse grupo é a espessartita que contribui com 20%. Outros grupos minerais também foram detectados, dentre eles, os carbonatos, representados pela rodocrosita, e os hidratados, como os micáceos e a monazita.

Tabela 1: Composição mineralógica do minério. Referência: Linhares [13].

Mineral	Fórmula química	% em peso
Espessartita (Mn-33,3%)	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	20
Tefroita (Mn-54,5%)	$Mn_2(SiO_4)$	15
Carbonatos: dolomita, magnesita, huntita, e rodocrosita (Mn-47,8%)	$(Ca, Mg)CO_3$; $MgCO_3$; $CaMg_3(CO_3)_4$ e $MnCO_3$	29
Rodonita (Mn-41,9%)	$(Mn, Fe, Mg, Ca)_5(SiO_3)_5$	5
Micáceos: muscovita, biotita/flogopita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$; $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}(OH, F)_2]$	6
Quartzo	SiO_2	4
K-Feldspato	$KAlSi_3O_8$	5
Opacos e outros: Magnetita, rutilo, ilmenita, Pirita/pirrotita, esfalerita, pentlandita, monazita e zircão	Fe_3O_4 ; TiO_2 ; $FeTiO_3$; FeS_2 ; $(Zn, Fe)S$; $(Fe, Ni)S_8$; $(Ce, La)PO_4(H_2O)$ e $ZrSiO_4$	16

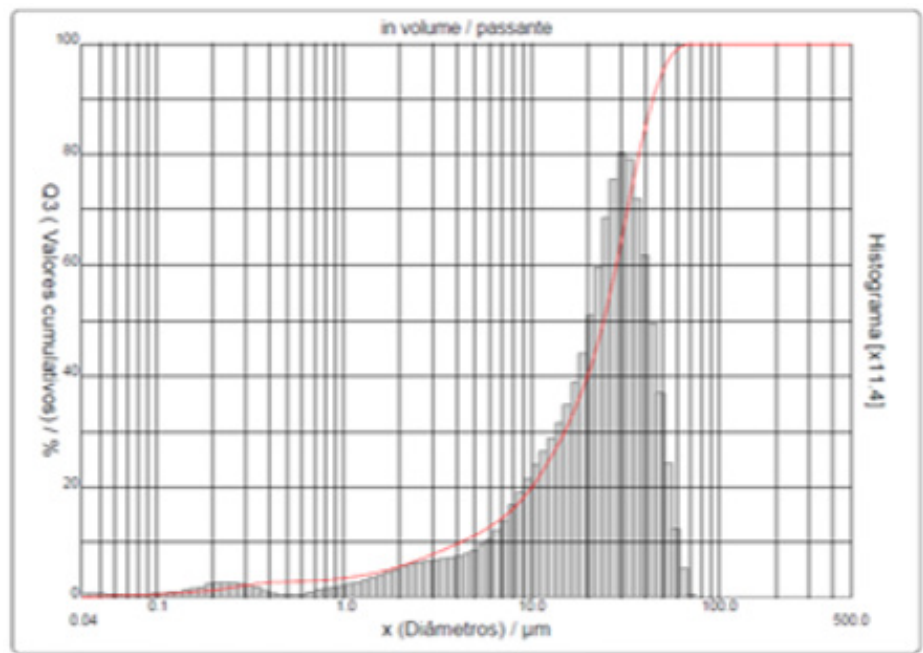
Para enfatizar, em relação ao resíduo de minério de manganês utilizado, o seu difratograma apresentou vários picos [15]. Devido ao fato de esse resíduo ser sílico-carbonatado foi observada a presença de fases contendo silício, manganês ou magnésio, como está demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Difratograma do resíduo de minério de manganês. Referência: Souza [15].



A distribuição granulométrica do resíduo de minério de manganês está apresentada na Figura 2, conforme Souza [15]. Este pó apresentou $D_{90}=44,14\mu\text{m}$.

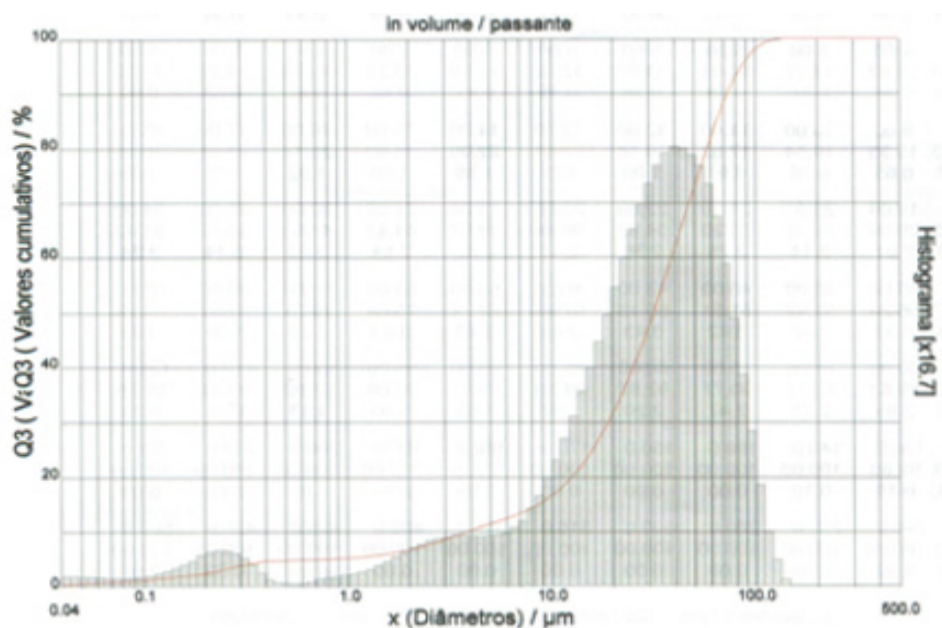
Figura 2: Distribuição granulométrica do resíduo de minério de manganês.
Referência: Souza [15].



A composição química do pó de alumínio, utilizado como fase matriz dos compósitos, fornecido pela ALCOA é: Al-99,70%, Fe-0,21%, Si-0,05% e outros metais-0,02%.

Segundo Barros [11], a distribuição granulométrica do pó de alumínio é aquela apresentada na Figura 3 com $D_{90}=73,43\mu\text{m}$.

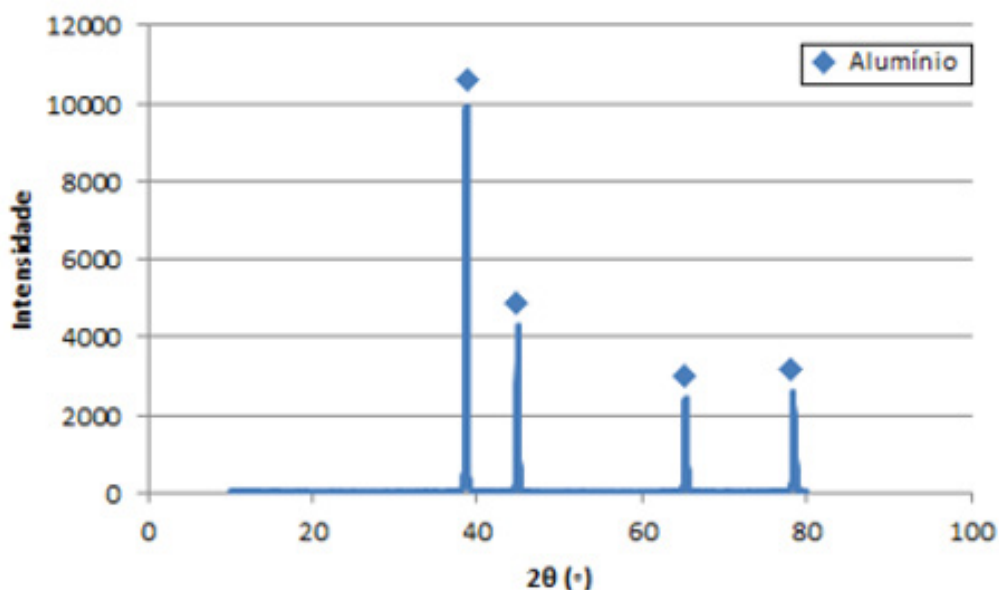
Figura 3: Distribuição granulométrica do pó de alumínio.
Referência: Barros [11].



A diferença entre os tamanhos das partículas de alumínio e do resíduo de minério de manganês certamente influenciou nas propriedades dos compósitos obtidos. Trata-se de um compósito reforçado com partículas grandes, uma vez que as partículas do resíduo de minério de manganês, $D_{90}=44,14\mu\text{m}$, têm metade do tamanho das partículas do alumínio, $D_{90}=73,43\mu\text{m}$ [3].

Na Figura 4 está apresentado o difratograma de raios X do pó de alumínio. Todos os picos foram identificados como sendo provenientes de alumínio e, por isso, o pó foi classificado como de pureza satisfatória.

Figura 4: Difratograma do pó de alumínio. Referência: Barros [11].



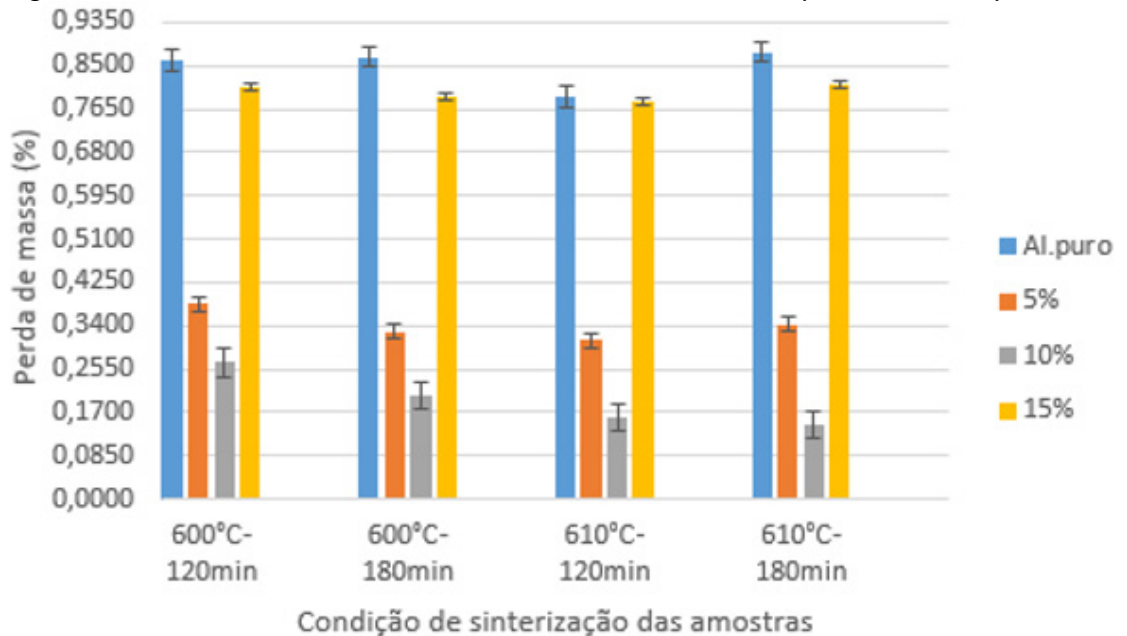
Deste modo, constatou-se que o pó de alumínio possui um bom grau de pureza, enquanto o pó do resíduo de minério de manganês tem uma composição química e mineralógica complexa. Destaca-se a fase carbonatada que durante o aquecimento no processo de sinterização certamente evaporou e foi um dos fatores da presença de poros nos compósitos obtidos [14 e 15].

3.2 Perda de massa

Os valores de perdas de massa das amostras sinterizadas para todas as condições de trabalho estão apresentados na Figura 5. Nota-se que as amostras de alumínio puro e aquelas reforçadas com 15% de resíduos exibiram a maior perda de massa. Além disso, com o aumento da temperatura de sinterização para 610°C durante o intervalo de tempo de 120min, houve um decréscimo da perda de massa, sendo esta a condição de trabalho para menor perda de massa. Entretanto, para a temperatura de sinterização de 610°C durante o intervalo de tempo de 180min, os valores de perda de massa aumentaram em relação ao intervalo de tempo de 120min. Conforme trabalho de Barros [11] e outros

autores, a menor perda de massa se deu para a proporção em massa de 10% de resíduo de minério de manganês.

Figura 5: Perda de massa das amostras sinterizadas de alumínio puro e dos compósitos.

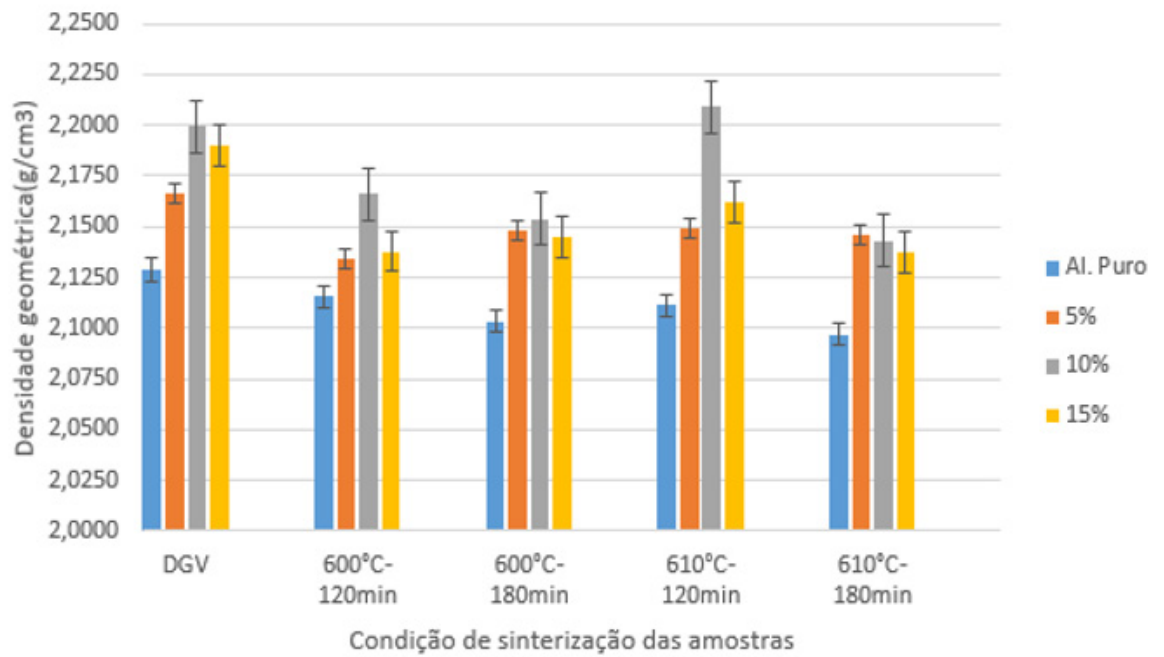


3.3 Densidade geométrica

Na Figura 6 estão apresentados os valores de densidade geométrica das amostras à verde e sinterizadas. Constatou-se que os compósitos reforçados com 5% de resíduos e as amostras de alumínio puro apresentaram um aumento de massa após o processo de sinterização. No entanto, o aumento de volume após a sinterização ocorreu de forma mais expressiva, fator este que favoreceu a redução dos valores de densidade geométrica das amostras. Para os compósitos reforçados com 10% e 15% de resíduos, houve a redução de massa das amostras após o processo de sinterização e a variação de volume não foi expressiva. Mas da mesma forma, também constatou-se uma diminuição dos valores de densidade geométrica das amostras.

Sendo assim, tanto as amostras de alumínio puro, quanto os compósitos apresentaram um decréscimo em seus valores de densidade geométrica. Fato este ligado à evaporação de produtos voláteis e oxidação da matriz de alumínio ocasionando aumento de volume, conforme Barros [11].

Figura 6 – Densidade geométrica versus condição de sinterização das amostras de alumínio puro e dos compósitos.



3.4 Análise microestrutural

Nas Figuras 7 a 10 estão apresentadas as microestruturas obtidas por microscopia eletrônica de varredura para as diferentes condições de sinterização. As amostras apresentaram boa homogeneidade das partículas de reforço pela extensão da matriz de alumínio. No entanto, observam-se descontinuidades em algumas regiões da amostra, conforme trabalho de Barros [11].

Figura 7: Microestrutura das amostras sinterizadas a 600°C durante 120min – a) Al Puro; b) Al-5% de reforço; c) Al-10% de reforço; d) Al-15% de reforço. Microscopia eletrônica de varredura. Imagem de elétrons secundários.

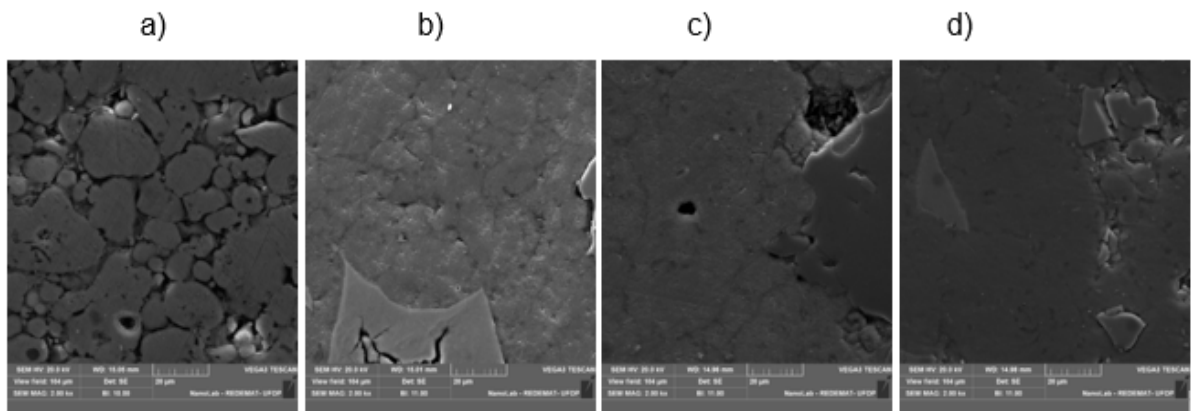


Figura 8: Microestrutura das amostras sinterizadas a 600°C durante 180min – a) Al Puro; b) Al-5% de reforço; c) Al-10% de reforço; d) Al-15% de reforço. Microscopia eletrônica de varredura. Imagem de elétrons secundários.

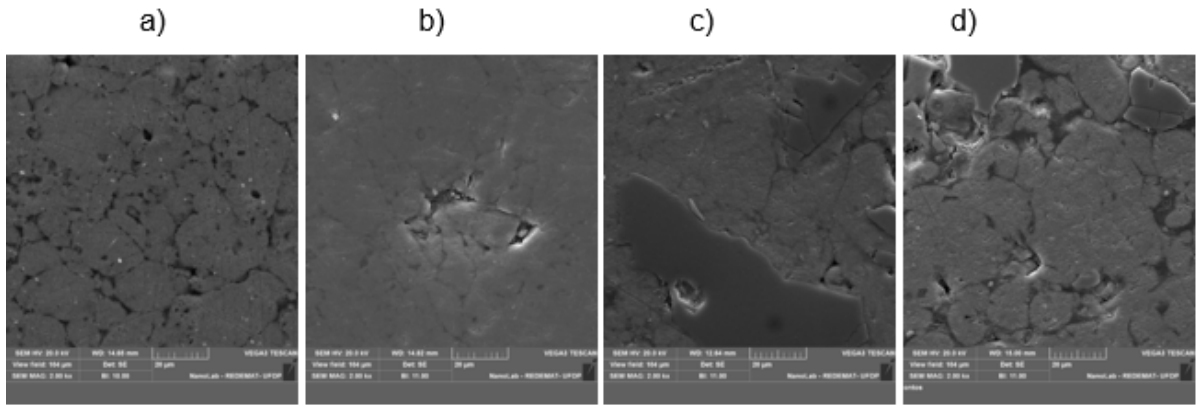


Figura 9: Microestrutura das amostras sinterizadas a 610°C durante 120min – a) Al Puro; b) Al-5% de reforço; c) Al-10% de reforço; d) Al-15% de reforço. Microscopia eletrônica de varredura. Imagem de elétrons secundários.

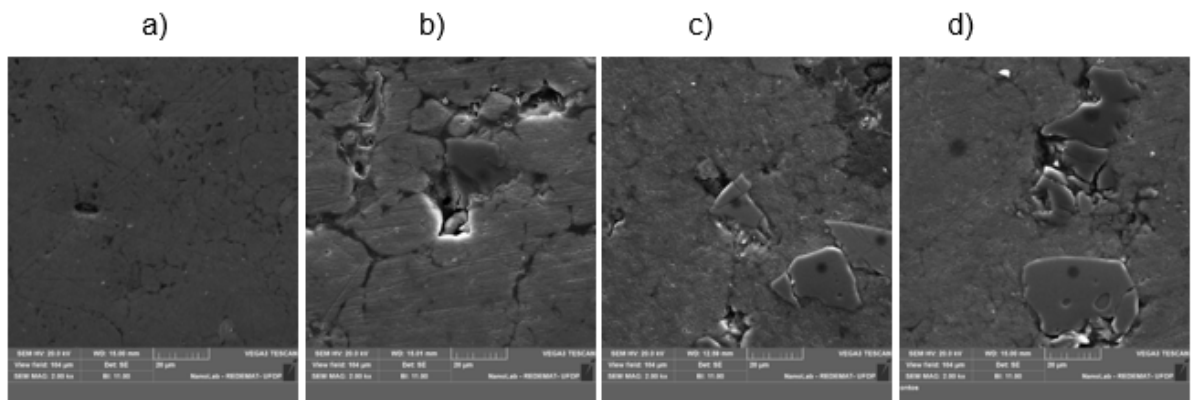
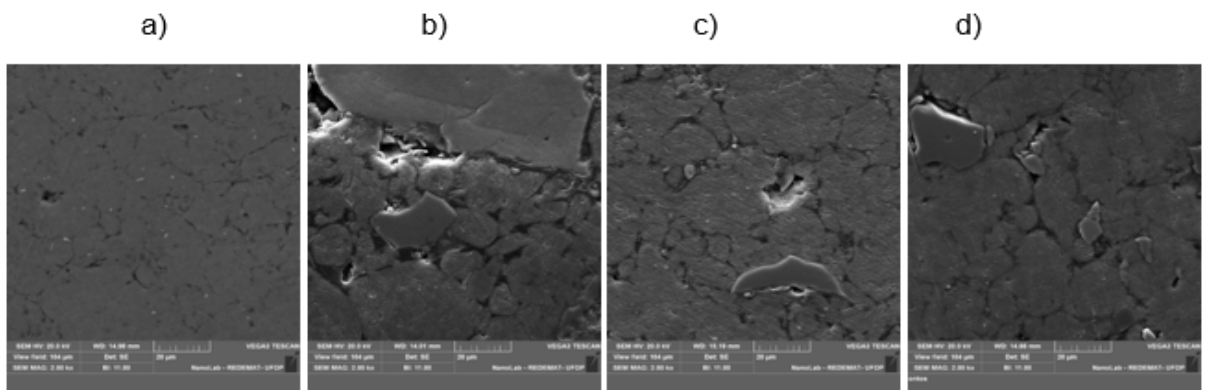


Figura 10: Microestrutura das amostras sinterizadas a 610°C durante 180min – a) Al Puro; b) Al-5% de reforço; c) Al-10% de reforço; d) Al-15% de reforço. Microscopia eletrônica de varredura. Imagem de elétrons secundários.



Nas Figuras 11 a 14 estão apresentadas as regiões das microestruturas das amostras em que foram realizadas análises químicas pontuais EDS. Foram detectados alumínio, manganês, quantidades consideráveis de oxigênio e silício, além de outros elementos químicos.

Figura 11: Microestruturas das amostras sinterizadas a 600°C durante 120min – a) Al-5% de reforço. Ponto 1: fase rica em alumínio; Ponto 2: fase rica em oxigênio, silício e manganês; Ponto 3: fase rica em oxigênio, alumínio, silício e manganês; b) Al-10% de reforço. Ponto 1: fase rica em oxigênio, alumínio e silício; Ponto 4: fase rica em oxigênio, alumínio, silício e manganês; Ponto 7: fase rica em oxigênio, magnésio, silício, manganês e ferro; c) Al-15% de reforço. Ponto 9: fase rica em potássio e ferro.

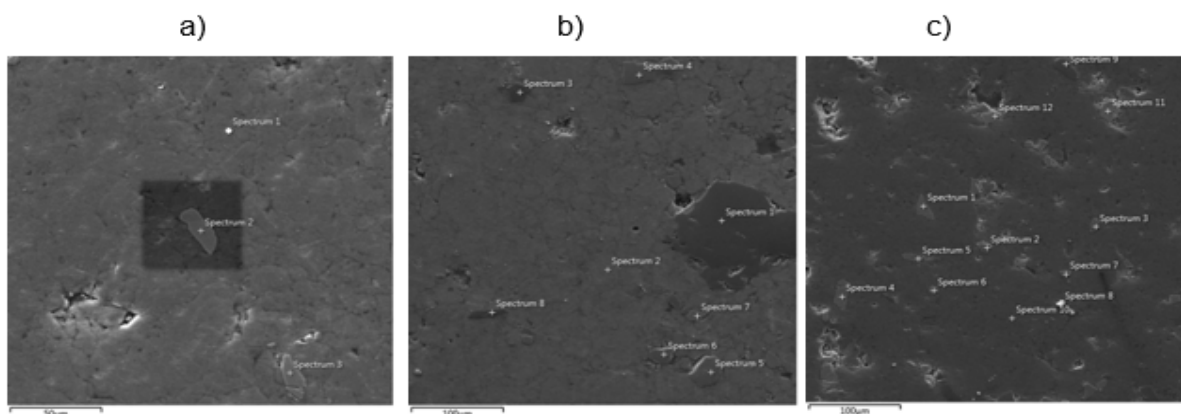


Figura 12: Microestruturas das amostras sinterizadas a 600°C durante 180min – a) Al-5% de reforço. Ponto 6: fase rica em oxigênio, cálcio e manganês; Ponto 10: fase rica em oxigênio, silício, manganês e ferro; b) Al-10% de reforço. Ponto 9: fase rica em oxigênio, alumínio, silício e sódio; Ponto 13: fase rica em oxigênio, magnésio, silício, manganês e ferro; c) Al-15% de reforço. Ponto 14: fase rica em oxigênio, magnésio, silício, manganês e ferro.

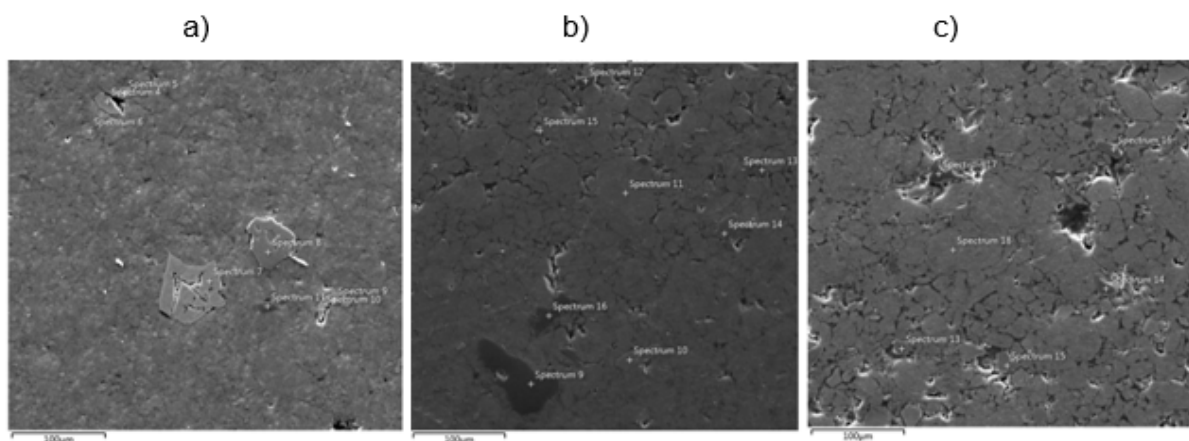


Figura 13: Microestruturas das amostras sinterizadas a 610°C durante 120min – a) Al-5% de reforço. Ponto 12: fase rica em oxigênio, alumínio, silício e sódio; b) Al-10% de reforço. Ponto 22: fase rica em oxigênio, magnésio, cálcio e manganês; Ponto 24: fase rica em oxigênio, alumínio e carbono; c) Al-15% de reforço. Ponto 20: fase rica em oxigênio, titânio, manganês e ferro.

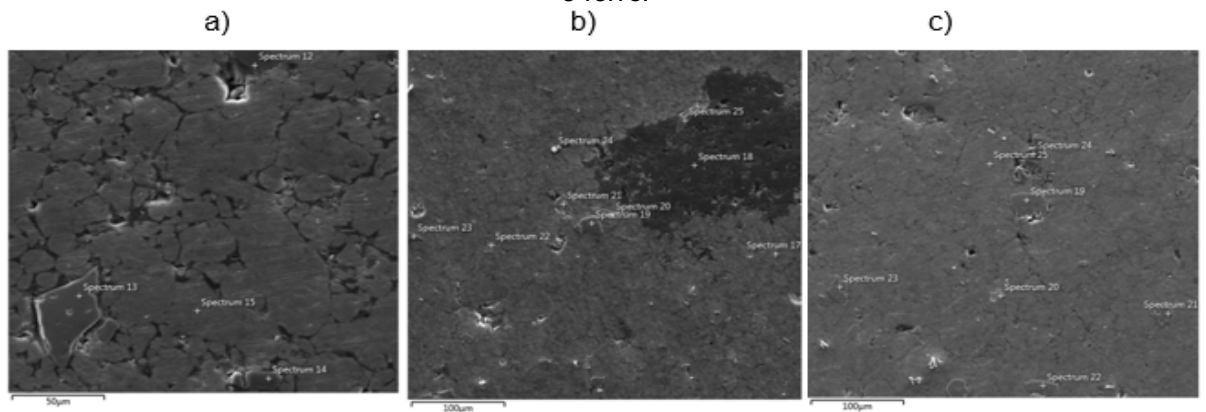
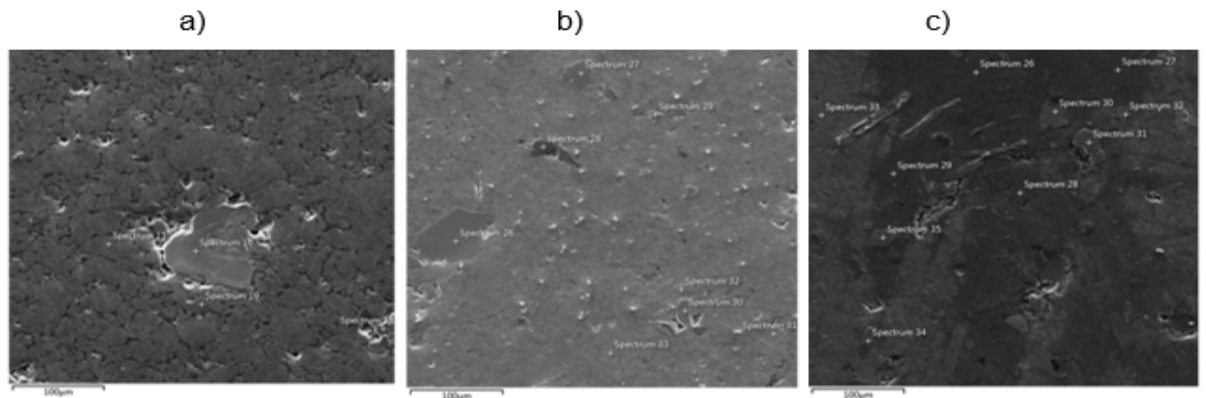


Figura 14: Microestruturas das amostras sinterizadas a 610°C durante 180min – a) Al-5% de reforço. Ponto 17: fase composta por alumínio; b) Al-10% de reforço. Ponto 26: fase rica em oxigênio, cálcio e fósforo; c) Al-15% de reforço. Ponto 27: fase rica em oxigênio, alumínio e carbono.



Os mapas dos elementos químicos presentes nas microestruturas de algumas amostras, obtidos por espectroscopia de energia dispersiva (EDS), estão apresentados nas Figuras 15 a 18. Para uma melhor identificação dos elementos químicos foram selecionadas as seguintes cores: vermelho para o alumínio, laranja para o manganês, amarelo para o ferro, roxo para o silício, azul claro para o oxigênio e verde para o titânio.

Figura 15: Análise química EDS do compósito reforçado com 5% de resíduos de minério de manganês sinterizado a 600°C durante 120min.

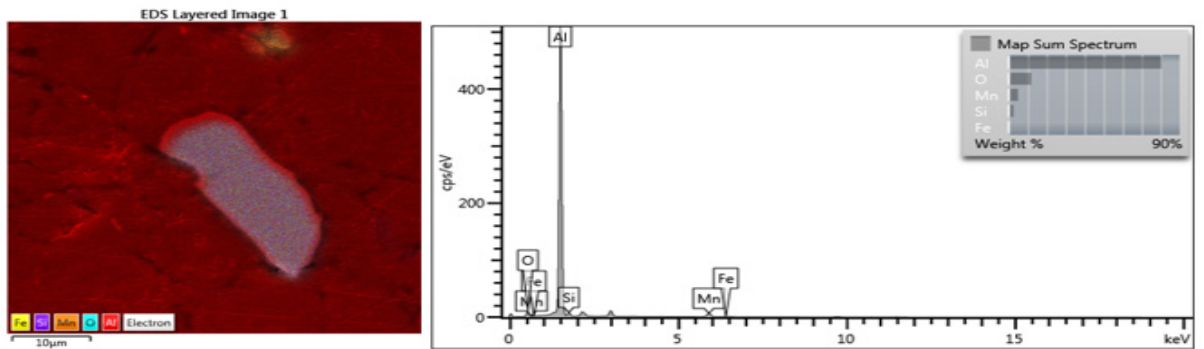


Figura 16: Análise química EDS do compósito reforçado com 5% de resíduos de minério de manganês sinterizado a 600°C durante 180min.

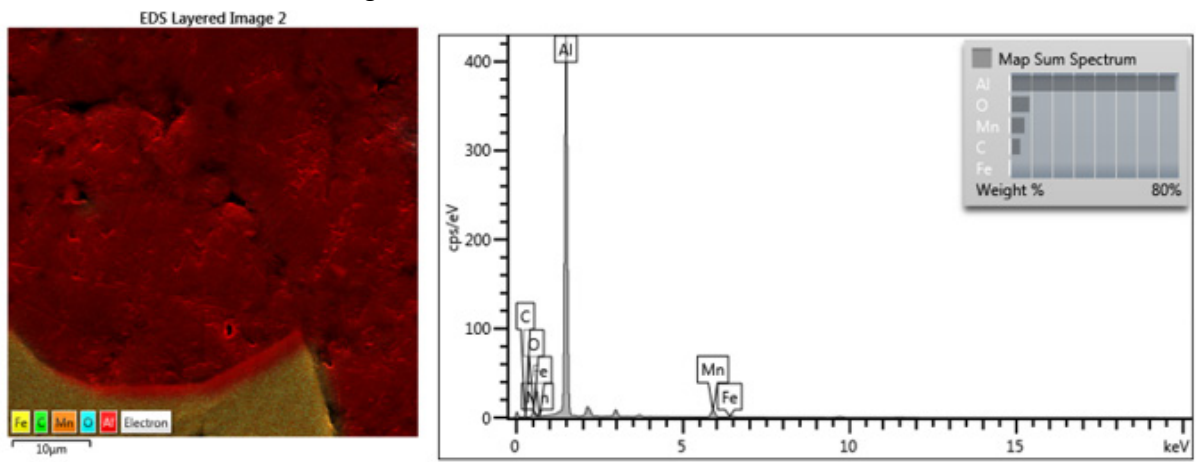


Figura 17: Análise química EDS do compósito reforçado com 5% de resíduos de minério de manganês sinterizado a 610°C durante 120min.

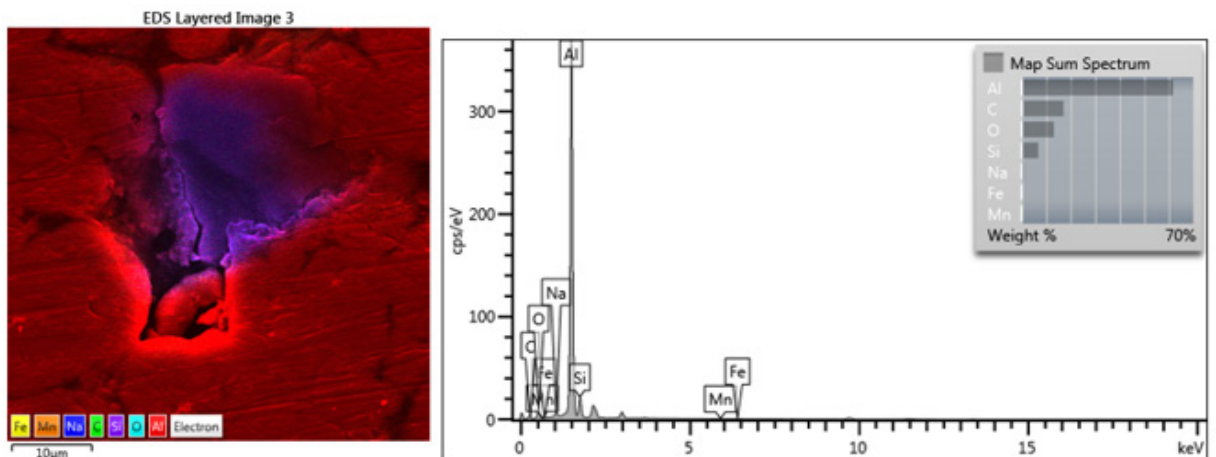
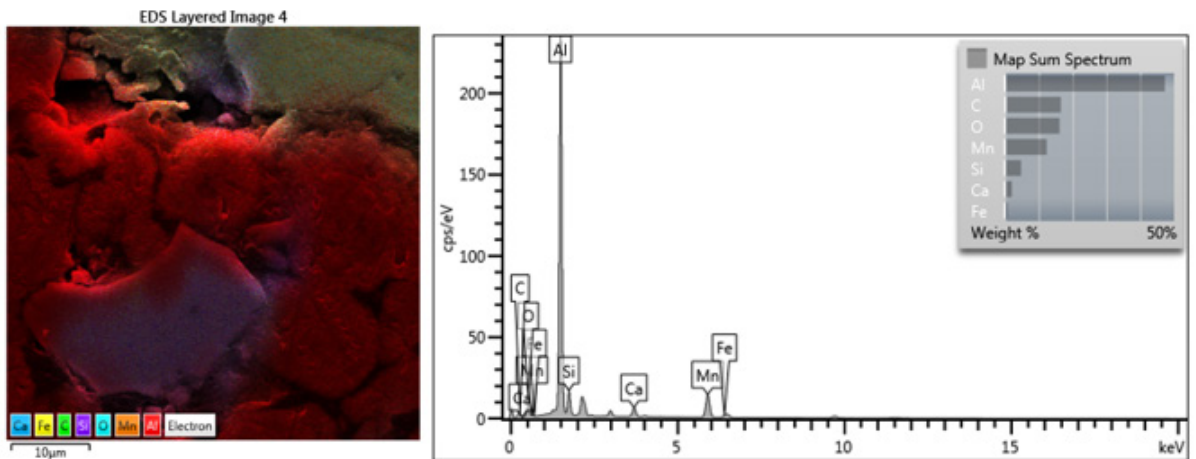


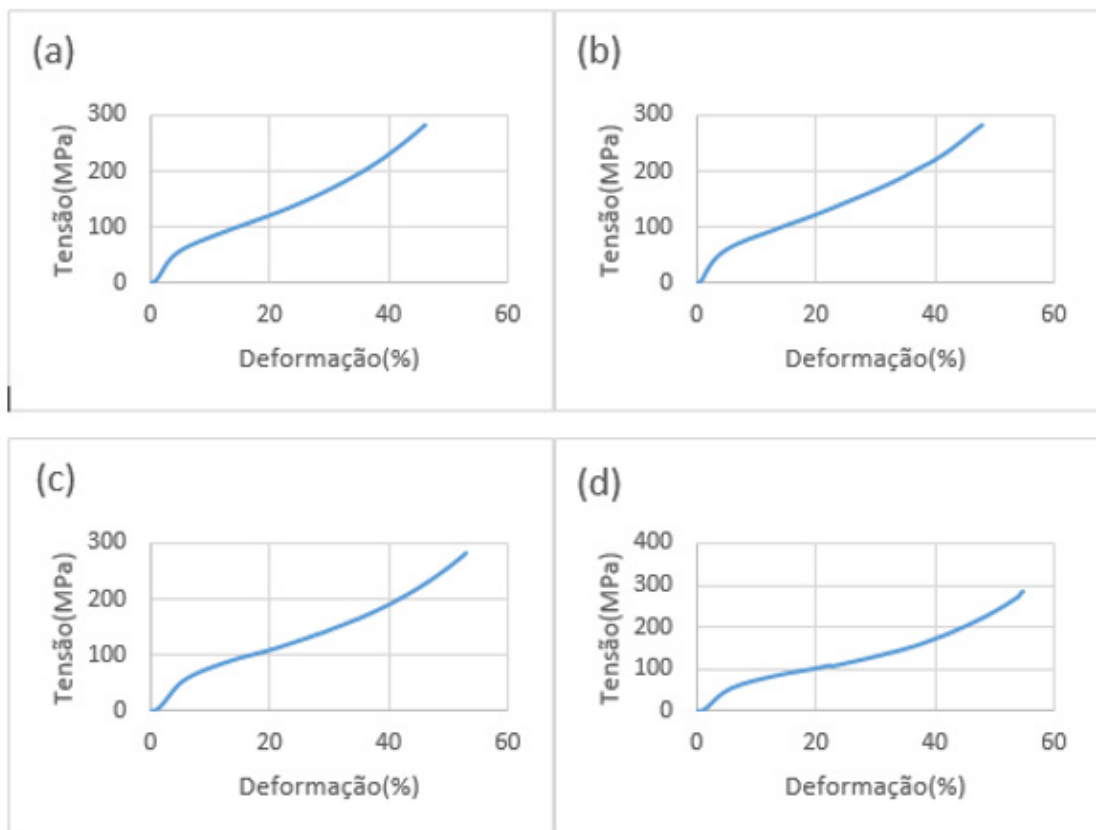
Figura 18: Análise química EDS do compósito reforçado com 5% de resíduos de minério de manganês sinterizado a 610°C durante 180min.



3.5 Ensaios de compressão

As curvas tensão versus deformação dos ensaios de compressão para o alumínio puro e para todos os compósitos estudados apresentaram características de materiais dúcteis devido a presença do alumínio como matriz dos compósitos. Como exemplo, na Figura 19 estão apresentadas essas curvas para o alumínio puro e para as amostras que apresentaram maior resistência a compressão, os compósitos sinterizados a 610°C durante 120min.

Figura 19: Aspecto das curvas tensão versus deformação convencional para os compósitos sinterizados a 610°C durante 120min – a) Al Puro; b) Al-5% de reforço; c) Al-10% de reforço; d) Al-15% de reforço.

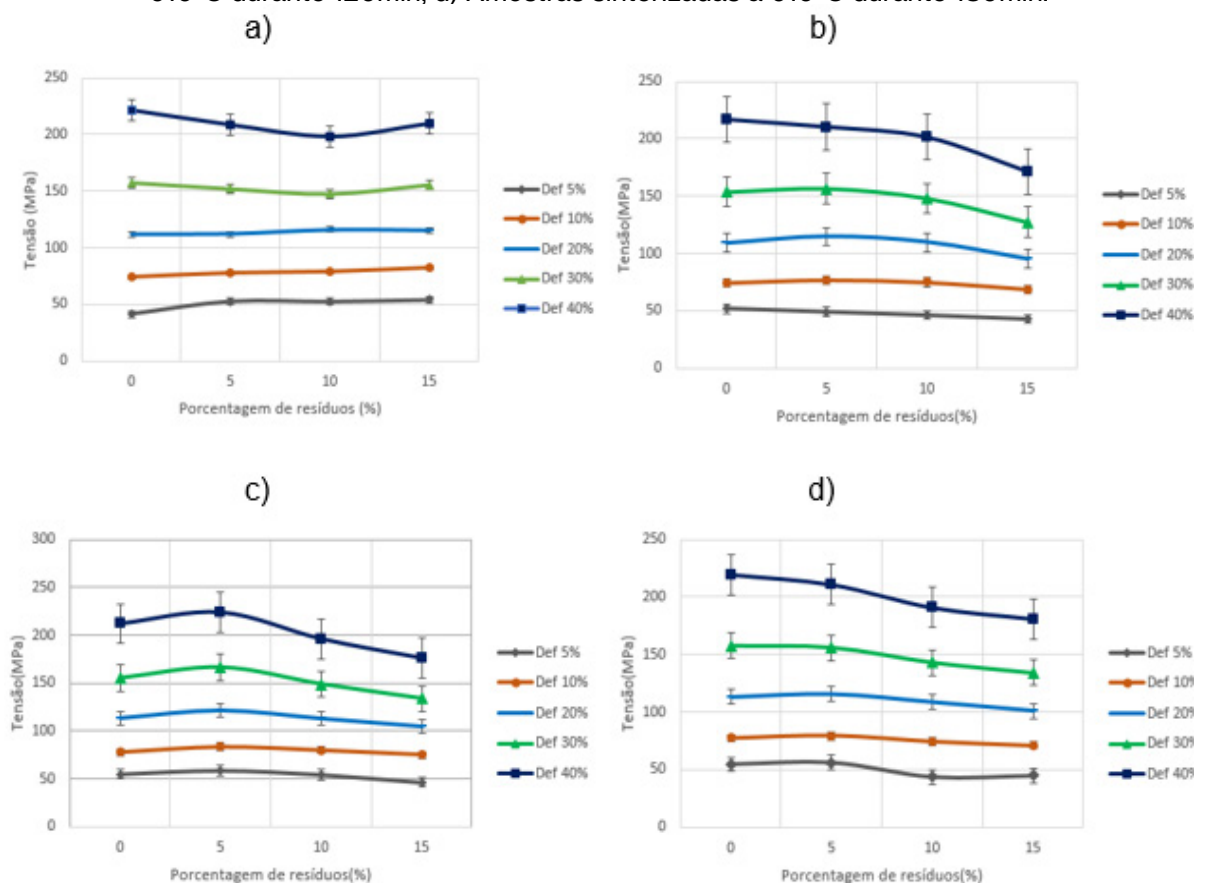


Na Figura 20 estão apresentadas as curvas tensão versus porcentagem de reforço para as diferentes condições de sinterização. As alterações no intervalo de tempo de sinterização e na temperatura de sinterização fizeram com que as amostras reforçadas com 5% de resíduos de minério de manganês apresentassem maiores valores de tensão em relação aos outros compósitos. Para o menor intervalo de tempo, o agente de reforço foi mais efetivo em termos de aumento de resistência mecânica. No entanto, para o menor intervalo de tempo, quando se aumentou a temperatura, o compósito com 5% de reforço apresentou maior resistência.

Em termos da adição do agente de reforço, pensa-se que em maiores temperaturas e intervalo de tempo, as fases voláteis presentes no resíduo utilizado neste trabalho e a oxidação das partículas de alumínio em presença de oxigênio na atmosfera natural da sinterização realizada em forno mufla propiciaram a diminuição da resistência mecânica dos compósitos.

Em linhas gerais, pode-se dizer que para as maiores deformações, 30% e 40%, o encruamento do alumínio se tornou um agente com mais poder de conferir resistência à compressão aos compósitos do que a adição das partículas de reforço.

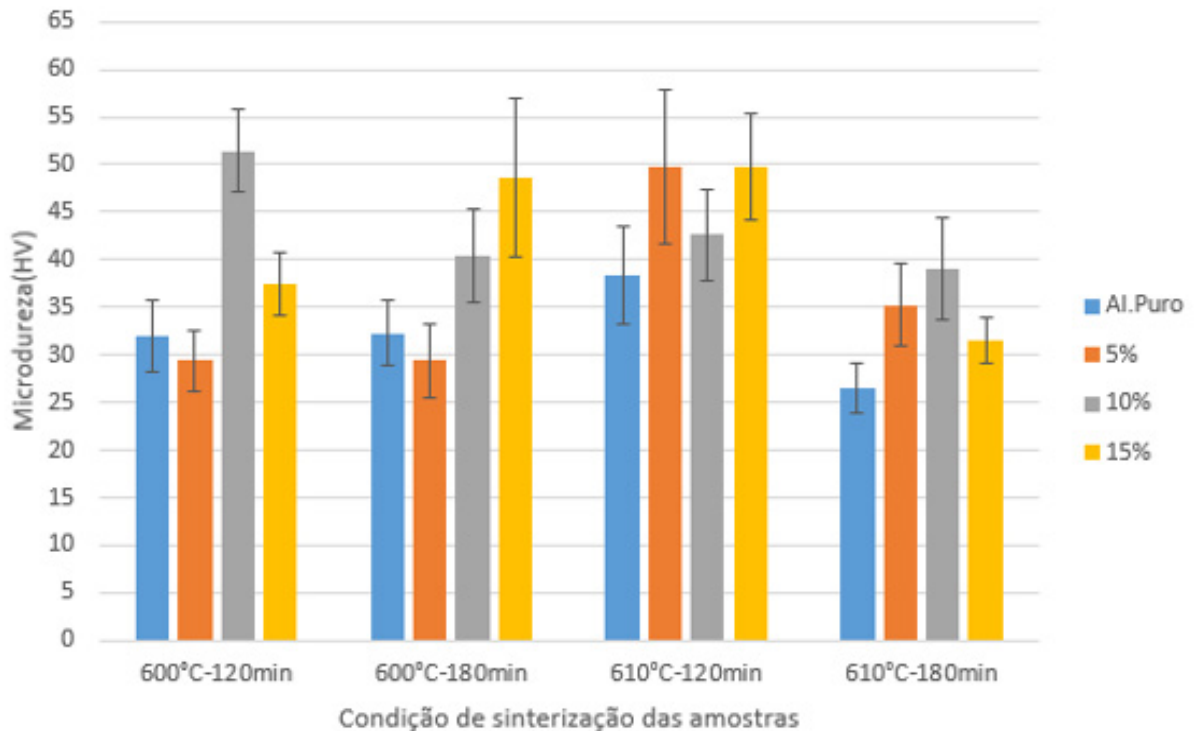
Figura 20: Curvas tensão versus porcentagem de resíduos de minério de manganês provenientes dos ensaios de compressão – a) Amostras sinterizadas a 600°C durante 120min; b) Amostras sinterizadas a 600°C durante 180min; c) Amostras sinterizadas a 610°C durante 120min; d) Amostras sinterizadas a 610°C durante 180min.



3.6 Ensaios de microdureza

Na Figura 21 estão apresentados os valores de microdureza Vickers de todas as amostras sinterizadas. Para as sinterizações realizadas na temperatura de 600°C durante 120min e 180min, apenas as amostras reforçadas com 5% de resíduos de minério de manganês apresentaram menor valor de dureza em relação às amostras de alumínio puro. Já para as sinterizações realizadas a 610°C durante 120min e 180min, todas as amostras reforçadas com resíduos de minério de manganês, independente da proporção mássica de reforço, exibiram valores de dureza superiores às amostras de alumínio puro. Em termos gerais, a sinterização realizada na temperatura de 610°C durante 120min, possibilitou um aumento considerável nos valores de dureza para os compósitos em relação às outras condições de sinterização.

Figura 21: Valores de microdureza Vickers versus condição de sinterização das amostras de alumínio puro e dos compósitos.



Apesar de terem sido feitas seis medições de dureza em cada amostra, os desvios padrões foram relativamente elevados. Este fato pode ser explicado pela presença de porosidade e má fixação da matriz com os resíduos em determinadas regiões das amostras ensaiadas. No entanto, os resultados desses ensaios foram coerentes com os valores de perda de massa e densidade geométrica. Os ensaios de microdureza são mais precisos que os ensaios de compressão devido à necessidade de paralelismo perfeito das bases das amostras nos ensaios de compressão.

4. CONCLUSÕES

Para as condições de trabalho realizadas, conclui-se que: Foram evidenciadas as presenças de porosidade e de fases contendo vários elementos químicos, tais como: Al, Mn, Mg, Si, Zr, Ca, C, etc.

Todos os compósitos sinterizados apresentaram menores valores de perda de massa em relação às amostras de alumínio puro e menores valores de densidade geométrica que as amostras à verde.

A melhor condição de sinterização foi de 610°C durante 120min, pois obtiveram-se maiores valores de densidade geométrica, menores valores de perda de massa e, conseqüentemente, maiores valores de resistência à compressão e dureza.

Para deformações menores, os reforços de 5%, 10% e 15% de resíduos de minério de manganês nos compósitos exibiram maior resistência à compressão que o alumínio puro. Enquanto que para deformações maiores que 30%, o encruamento do alumínio foi superior ao reforço proporcionado pelos resíduos.

Os compósitos reforçados com 5% de resíduos de minério de manganês exibiram maior resistência à compressão. Os compósitos reforçados com 10% de resíduos de minério de manganês exibiram maior dureza.

Em geral, todos os compósitos apresentaram maiores valores de dureza se comparados às amostras de alumínio puro.

AGRADECIMENTOS

À ALCOA de Poços de Caldas-MG pela doação e análise química do pó de alumínio utilizado neste trabalho. À FAPEMIG e a VALE pelos equipamentos utilizados e a Universidade Federal de Ouro Preto pela bolsa de iniciação científica na modalidade PIP/UFOP-2019-20.

REFERÊNCIAS

- [1] CHAWLA, K. K. Composite Materials: Science and Engeneering. New York, USA:
- [2] CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [3] KINGERY, W. D; BOWEN, H. K.; UHLMANN, D. R. Introduction to Ceramics. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York. London. Sydney: 1976. 1032p.
- [4] WRIGHT, W.J.; ASKELAND, D.R. Ciência e Engenharia dos Materiais. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
- [5] ASHBY, F.M.; JONES, D.R.H. Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures, Processing and Design. England: Pergamon, 1986.

- [6] ASM Metals Handbook. Composites. Volume 21, 2001. Springer-Verlag, 1987.
- [7] PARDINI, L.C.; NETO, F.L. Compósitos Estruturais. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- [8] LUAN, B.; QIU, R.; LI, C.; YANG, X.; LI, Z.; ZHANG, D.; LIU, Q. Hot deformation and processing maps of Al₂O₃/Al composites fabricated by flake powder metallurgy. Elsevier Journals, 2015.
- [9] RAHIMIAN, M.; PARVIN N.; EHSANIA N. Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy. Elsevier Journals, 2010.
- [10] SILVA, N. G. Desenvolvimento do Compósito Al-5,0Si-1,0Cu/Al₂O₃: Caracterização Microestrutural e Trabalhabilidade. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2005.
- [11] BARROS, T. N. Caracterização de compósitos de Al-5%Al₂O₃, Al-10%Al₂O₃ e Al-15%Al₂O₃ obtidos por sinterização. 2016. Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto.
- [12] LIMA, M. M. F., ANDRADE, E. M., LIMA, R. M. F., GONÇALVES, D. H., LIMA, G. F. Characterization and sintering of low-manganese ore fines, 2010. Local: Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto; Cidade: Ouro Preto – MG – Brasil. In: IX Brazilian MRS Meeting; Inst. promotora/financiadora: Sociedade Brasileira de pesquisa em Materiais: <http://sbpmat2010.org.br>.
- [13] LINHARES, É. P, LIMA, M. M. F., LIMA, R. M. F. Making Sinter from Low-Grade Manganese Ore, 2012. In: 20 ° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT 2012). 04 a 08 novembro de 2012. Joinville - Santa Catarina-Brasil. Inst.promotora/financiadora: <http://www.metallum.com.br/20cbecimat/>.
- [14] PEREIRA, M.J.; LIMA, M.M.F.; LIMA, R.M.F. Calcination and characterization studies of a Brazilian manganese ore tailing. International Journal of Mineral Processing (Print). , v.131, p.26 - 30, 2014.
- [15] SOUZA, L. G. P. Aplicação de resíduos de minério de manganês na forma de uma peça obtida pela metalurgia do pó. Monografia de Graduação. 2015. Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto.
- [16] LIMA, M.M.F.; VALDUGA, F.; LIMA, R.M.F. Sintering of manganese ore tailings under an argon atmosphere. MATERIALS SCIENCE FORUM (ONLINE). , v.869, p.1013 - 1017, 2016.

SOBRE O ORGANIZADOR

SERGIO BITENCOURT ARAÚJO BARROS - Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre e Licenciado em Química pela Universidade Federal do Piauí. Foi professor do quadro efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, no período de 2009 a 2011, onde atuou no ensino técnico e superior. Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros. Possui experiência em ensino e pesquisa na área de Química e Ciências, com ênfase em Físico Química Inorgânica, atuando principalmente nos seguintes temas: Ensino de Química e Ciências, Síntese de polímeros e preparação de nanofilmes, Polímeros naturais, Síntese de nanopartículas e metalofalocianinas, Método Sol-Gel para elaboração/preparação de materiais carbono cerâmicos e compósitos cerâmicos microporosos, Síntese e Caracterização de novos materiais e Desenvolvimento de sensores eletroquímicos. <http://lattes.cnpq.br/4639320486261004>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço carbono 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10

Análise Fractográfica 54

Aproveitamento de resíduos de minérios 84, 85, 99

Azul de metileno 13, 14, 17, 19, 27

B

Barreira de Schottky 24

Biodegradação 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47

C

Caracterização 1, 6, 37, 43, 53, 59, 75, 80, 83, 85, 88, 89

Caracterização mecânica 49, 53, 54

Caracterização térmica 54, 59

Casca da mamona 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10

Casca do cacau 4, 5, 6, 7, 8, 10

Cerâmicas 76, 77, 79, 80, 81, 82

Compósitos de matriz metálica de alumínio 99

Curvas de polarização 4, 9

D

Degradação enzimática 34, 36, 39, 40

E

Elétron-buraco 25

Eletrônica orgânica 62, 63, 65

F

Filme fino 66, 67, 71

G

Gestão de resíduos 32

I

Impedância 1, 4, 6, 7, 8, 10

Impressão 3D 50, 61

Inibidores de corrosão 1, 2, 3, 6, 10

M

Método dos precursores poliméricos 75, 77, 82

Modelagem por Fusão e Deposição 49, 50

O

Odontológico 78

P

Pelotização 84, 85, 86, 96

Poli (Ácido Lático) 49, 51, 52, 53, 61

Polímeros biodegradáveis 37, 43, 45

Polímeros semicondutores 62, 64

Poly(2,5-bis(3-tetradecyl-thiophen-2-yl)thieno[3,2-b]thiophene) (PBTTT-C14) 62

Propriedades mecânicas 2, 32, 33, 39, 40, 41, 49, 56, 58, 77, 82

S

Semicondutor 15, 16, 24, 62, 64, 66, 69, 71, 72

Sinterização 21, 23, 50, 75, 77, 79, 81, 82, 83, 85, 98, 99, 100, 101, 105, 106, 107, 113, 114, 115, 116

T

Transistores 62, 65



**EDITORIA
ARTEMIS
2020**