

IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS NA ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA

**Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)**

Atena
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

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

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

I34 Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica
[recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann,
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-235-7

DOI 10.22533/at.ed.234190204

1. Engenharia – Tecnologia. 2. Metalurgia. I. Holzmann, Ajuz. II.
Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna.

CDD 620.002854

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2019

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

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais e metalúrgica, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e metalurgia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de obtenção do mesmo, estando diretamente relacionados a área de metalurgia.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ENGENHARIA METALÚRGICA NA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS: ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CURSO	
<i>Kelly Cristina Ferreira</i>	
<i>Júnia Soares Alexandrino</i>	
<i>Telma Ellen Drumond Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902041	
CAPÍTULO 2	8
EVOLUÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS NA UEMG/JOÃO MONLEVADE EM SEUS 10 ANOS DE EXISTÊNCIA	
<i>Kelly Cristina Ferreira</i>	
<i>Júnia Soares Alexandrino</i>	
<i>Telma Ellen Drumond Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902042	
CAPÍTULO 3	15
ACUMULADORES PB-ÁCIDO: CONCEITOS, HISTÓRICO E APLICAÇÃO	
<i>Abdias Gomes dos Santos</i>	
<i>Flávio José da Silva</i>	
<i>Magda Rosângela Santos Vieira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902043	
CAPÍTULO 4	21
ANÁLISE PRELIMINAR DA APLICABILIDADE DA SEPARAÇÃO BASEADA EM SENSORES EM MINA DE CALCÁRIO DE CAÇAPAVA DO SUL (RS)	
<i>Evandro Gomes dos Santos</i>	
<i>Régis Sebben Paranhos</i>	
<i>Carlos Otávio Petter</i>	
<i>Aaron Samuel Young</i>	
<i>Moacir Medeiros Veras</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902044	
CAPÍTULO 5	30
DESEMPENHO DE REAGENTES NA FLOTAÇÃO COLETIVA DE SULFETOS DE UM REJEITO AURÍFERO PARAIBANO	
<i>Marcelo Rodrigues do Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902045	
CAPÍTULO 6	40
UTILIZAÇÃO DE SULFONATO DE ALQUILBENZENO LINEAR (LAS) E POLICARBOXILATO ÉTER (PCE) COMO REAGENTES PARA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	
<i>José Maria Franco de Carvalho</i>	
<i>Mariane Batista de Oliveira Vasconcelos</i>	
<i>Luanne Phâmella da Silva Henriques e Moreira</i>	
<i>Julia Castro Mendes</i>	
<i>Carlos Alberto Pereira</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902046	

CAPÍTULO 7 50

COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER E FIBRAS DE CURAUÁ E BANANEIRA CONTÍNUAS E ALINHADAS

Michel José Caldas Carvalho

Douglas Santos Silva

Roberto Tetsuo Fujiyama

DOI 10.22533/at.ed.2341902047

CAPÍTULO 8 64

EFEITO DE UM ADITIVO ENZIMÁTICO COMERCIAL NA DEGRADAÇÃO DE PEBD EM MEIO SALINO

Jéssica Pereira Pires

Gabriela Messias Miranda

Gabriela Lagranha de Souza

Flávia Stürmer de Fraga

Alessandro da Silva Ramos

Rosane Angélica Ligabue

Jeane Estela Ayres de Lima

Rogério Vescia Lourega

DOI 10.22533/at.ed.2341902048

CAPÍTULO 9 81

PREPARAÇÃO DE MICROESFERAS DE QUITOSANA/ARGILA PARA USO COMO SISTEMA CARREADOR DO IBUPROFENO

Matheus Aleixo Maciel

Bárbara Fernanda Figueiredo dos Santos

Hanniman Denizard Cosme Barbosa

Albaniza Alves Tavares

Pedro Henrique Correia de Lima

Suédina Maria de Lima Silva

DOI 10.22533/at.ed.2341902049

CAPÍTULO 10 97

CONSOLIDAÇÃO POR SINTERIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE ALUMÍNIO RECICLADO A PARTIR DE LATAS DE BEBIDA VIA METALURGIA DO PÓ

José Raelson Pereira de Souza

Regina Bertília Dantas de Medeiros

Mauricio Mhirdauí Peres

DOI 10.22533/at.ed.23419020410

CAPÍTULO 11 113

ELETRODEPOSIÇÃO DE FILMES DE POLIPIRROL EM SUPERFÍCIES DE ALUMÍNIO 2024: INFLUÊNCIA DO ELETRÓLITO

Andrea Santos Liu

Alex Fernandes de Souza

Liu Yao Cho

DOI 10.22533/at.ed.23419020411

CAPÍTULO 12	128
UMA REVISÃO SOBRE A TECNOLOGIA DE PROCESSAMENTO DE LIGAS METÁLICAS NO ESTADO SEMISSÓLIDO	
<i>Luis Vanderlei Torres</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020412	
CAPÍTULO 13	141
INFLUÊNCIA DA TAXA DE RESFRIAMENTO SOBRE MACROESTRUTURA DA LIGA DE ALUMÍNIO SAE 323 SOLIDIFICADO EM MOLDE DE AREIA	
<i>Rafael Brasil da Costa</i>	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020413	
CAPÍTULO 14	149
INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DA MESA CONCENTRADORA WILFLEY NA CONCENTRAÇÃO DE ESCÓRIA METALÚRGICA DA LIGA FESIMN	
<i>Raulim de Oliveira Galvão,</i>	
<i>Filipe Brito Marinho de Barros</i>	
<i>José Carlos da Silva Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020414	
CAPÍTULO 15	161
INFLUÊNCIA DO ENSAIO METALÚRGICO DE TEMPERA NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020415	
CAPÍTULO 16	171
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA ENTRE CAMADAS NA TÉCNICA DE RECONSTRUÇÃO 3D POR SEÇÃO SERIAL	
<i>Wesley Luiz da Silva Assis</i>	
<i>Talita Fonseca dos Prazeres</i>	
<i>Ana Beatriz Rodrigues de Andrade</i>	
<i>Douglas de Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020416	
SOBRE OS ORGANIZADORES	179

CONSOLIDAÇÃO POR SINTERIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE ALUMÍNIO RECICLADO A PARTIR DE LATAS DE BEBIDA VIA METALURGIA DO PÓ

José Raelson Pereira de Souza

Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Natal-RN. <raelsonsouza@hotmail.com>

Regina Bertília Dantas de Medeiros

Bacharel em Ciência e Tecnologia. Aluna do Departamento de Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Natal-RN.

Mauricio Mhirdauí Peres

Professor do Departamento de Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Natal-RN. <mauricioperes@ct.ufrn.br>

RESUMO: A Metalurgia do Pó pode ser uma técnica economicamente atrativa, pois minimiza a necessidade de usinagem, aproveita praticamente toda a matéria prima, produz um bom acabamento superficial e mantém uma estreita tolerância dimensional. Buscando alternativas de processamento tecnológico para o alumínio reciclado, uma rota de processamento por moagem de alta energia seguida de sinterização foi analisada. Essa rota de processamento envolve um grande refinamento microestrutural com uma matéria prima de baixo custo e elevado valor agregado. O objetivo desse trabalho foi processar por moagem de alta energia alumínio proveniente

do corpo de latas de refrigerante (liga AA3004), com posterior compactação a frio e sinterização, sendo analisadas a granulometria e microestruturas resultantes. O material previamente fragmentado foi moído por 1h, 1,5h e 2h em um moinho de alta energia, gerando um maior refinamento no tamanho médio de partículas, respectivamente. Todas as condições foram compactadas à 400MPa e sinterizadas à 600°C por 2h. O maior refinamento do pó moído por 2h (tamanho médio de partícula de 104,5 μm) promoveu maior densificação nas amostras sinterizadas, alcançando 13% de porosidade e maior dureza Vickers (92,2 HV). Dessa forma, o material mais refinado, moído por 2h, foi sinterizado também à 470°C por 5h. Nesse caso, o maior tempo de processo, apesar da menor temperatura, promoveu uma maior densificação, alcançando 7,5% de porosidade no produto gerado. A análise microestrutural por Difração de Raios-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) revelou uma microestrutura composta por precipitados Al_6Mn dispersos na matriz de Al-alfa (CFC), típicos da liga Al-Mn.

PALAVRAS-CHAVE: Metalurgia do pó, alumínio, sinterização, reciclagem, microestrutura.

Consolidation by SINTERIZATION and microstructural characterization of recycled aluminum from beverage cans via powder

ABSTRACT: Powder Metallurgy can be an economically attractive technique, since it minimizes the need for machining, has great use of the raw material, produces a good surface finish and maintains a close dimensional tolerance. The search for technological processing alternatives for recycled aluminum, a processing route for high energy ball mill followed by sintering was analyzed. This processing route involves a great microstructural refinement with a raw material of low cost and high added value. The objective of this work was to process by high energy ball mill aluminum from the body of coolant cans (AA3004 alloy), with subsequent cold compaction and sintering, analyzing the granulometry and resulting microstructures. The previously fragmented material was ground for 1h, 1.5h and 2h in a high energy ball mill, generating a higher refinement in the mean particle size, respectively. All conditions were compacted at 400MPa and sintered at 600°C for 2h. The highest refinement of ground powder for 2h (average particle size of 104.5µm) promoted higher densification in the sintered samples, reaching 13% porosity and higher Vickers hardness (92.2 HV). Thus, the most refined material, milled for 2h, was also sintered at 470°C for 5h. In this case, the longer process time despite the lower temperature, promoted a higher densification reaching 7.5% porosity in the generated product. Microstructural analysis by X-ray diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) revealed a microstructure composed of Al₆Mn precipitates dispersed in the Al-Alfa (CFC) matrix, typical of the Al-Mn alloy.

KEYWORDS: Powder metallurgy, aluminum, sintering, recycling, microstructure.

1 | INTRODUÇÃO

O alumínio é o terceiro elemento mais encontrado na crosta terrestre e o mais abundante entre os elementos metálicos. Suas propriedades, como baixa densidade, alta condutividade elétrica, alta resistência à corrosão e baixo ponto de fusão, permitem que seja utilizado de forma extensiva para a produção de diversos itens, tais como ligas metálicas, laminados e extrudados. Uma das suas principais aplicações é na indústria de alimentícia, em latas para bebida, devido à suas propriedades já mencionadas e por ser 100% reciclável. (CARDOSO, 2011)

Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2017), o Índice de Reciclagem das Latas de Alumínio no Brasil em 2014 foi de 98,4%, sendo esse índice de aproveitamento de extrema importância, uma vez que o custo da produção de alumínio primário é muito alto por envolver um processo de eletrólise ígnea da alumina proveniente da bauxita. O uso do alumínio a partir da reciclagem de produtos descartados pode tornar a produção de um novo produto com custo de apenas 5% do total do custo do alumínio primário, resultando em um valor agregado muito grande em termos comerciais, ambientais e também sociais.

Usualmente, o corpo de uma lata de alumínio no Brasil é fabricado com a liga

AA3004 e equivale a 75% do seu peso total (REIS, 2013). Essa liga possui altos teores de manganês e magnésio, além de ferro, silício, cobre e zinco, sendo sua composição nominal mostrada pela Tabela 1. Ela não responde bem à tratamentos térmicos de endurecimento, porém tem alta conformabilidade e alta capacidade de endurecimento por encruamento. Outra característica é a baixa susceptibilidade à corrosão sob tensão (ASTM, 1992).

Componente	Mn	Mg	Fe	Si	Cu	Zn
% (peso)	1,0 – 1,5	0,8 – 1,3	0,70	0,3	0,25	0,25

Tabela 1: Composição química nominal da liga AA3004 (ASTM, 1992).

Teores de Fe e Si até o limite de 0,7% cada, levam ao aumento da resistência mecânica sem diminuir a resistência a corrosão (MARTINS, 2005). A microestrutura é constituída basicamente por uma matriz de Al-alfa (CCC) e outras fases derivadas dos elementos presentes, como intermetálicos do tipo $Al_6(MnFe)$ (ortorrômbico) e $Al(MnFe)Si$ (cúbico) (PATROCÍNIO, 2011). A facilidade de difusão do Mn promove a formação da fase $Al_6(MnFe)$ até sua máxima solubilidade, podendo também ocorrer a formação de uma variação através da fase $Al_6(Mn_{0,5}Fe_{0,5})$ (MERCHANT, 1990; HATCH, 1993).

A baixa solubilidade do Fe, associado à altos teores desse elemento, favorece a formação da fase beta β (Al_5FeSi), que é altamente fragilizante. Portanto, sua ocorrência deve ser evitada, sendo que um dos efeitos benéficos do Mn é o de equalizar a composição induzindo a formação do Fe na fase Al_8Fe_2Si , por exemplo, que é menos prejudicial. Os precipitados de $Al(MnFe)Si$ promovem maior dureza quando comparados às partículas $Al_6(MnFe)$, devido a morfologia das partículas que apresentam-se arredondas no primeiro caso e alongadas no segundo (MONDOLFO, 1976).

A Metalurgia do Pó (MP) é uma forma de processamento já desenvolvida e utilizada industrialmente para a fabricação de componentes ferrosos e não ferrosos. Ela é economicamente vantajosa frente a outras técnicas de produção, uma vez que minimiza a necessidade de usinagem e acabamento superficial, e mantém uma estreita tolerância dimensional. Geralmente, o processo de fabricação por MP inclui obtenção do pó, o processamento prévio deste pó, compactação a frio, sinterização e acabamento (ZILNYK, 2008). Outras formas de consolidação de pó têm sido analisadas e comparadas com a sinterização, tal como a extrusão de pó metálico com base em ligas de alumínio (Silva et al, 2017; Peres et al, 2008a, b, c; Peres et al, 2009a, b; Peres et al, 2010; Dabhade et al, 2008; Wang et al, 2015)

Dentre as vantagens do processo de sinterização em relação às técnicas metalúrgicas convencionais (fundição e conformação mecânica de lingotes), pode-se destacar: produção de peças de metais refratários, obtenção de efeitos estruturais especiais (porosidade controlada em buchas autolubrificantes e filtros metálicos),

combinações de substâncias metálicas com materiais não metálicos (compósito metal-cerâmica), obtenção de materiais onde os constituintes metálicos ou não metálicos continuam a conservar suas características físicas individuais (discos de fricção e contatos elétricos), produção mais econômica de peças de grande precisão de forma e dimensões, controle rigoroso da composição do material, eliminação ou redução a um mínimo das impurezas introduzidas pelos processos metalúrgicos convencionais; operação em atmosfera rigorosamente controlada ou em vácuo; redução ou eliminação das perdas de material ou produção de sucata. (CHIAVERINI, 1992)

Além disso, de acordo com o Grupo Setorial de Metalurgia do Pó (2009) e CHIAVERINI (1992), a MP dispõe de alto aproveitamento das matérias primas, usualmente acima de 95%; baixo impacto ambiental, já que exige uma baixa energia de transformação do material, e a possibilidade de se produzir e conformar metais difíceis de serem obtidos pelos processos metalúrgicos convencionais, como metais duros e refratários.

Uma alternativa para o reaproveitamento do material em termos de produtos reciclados é a moagem de alta energia. De acordo com SOUSA (2012), a Moagem de Alta Energia (MAE) ou Mechanical Alloying (MA) é um processo de moagem que ocorre no estado sólido que envolve repetidas soldas, fraturas e ressoldas de partículas de pó em moinhos de bolas de alta energia. Originalmente desenvolveu-se na indústria aeroespacial para produzir superligas à base de níquel e ferro por meio de dispersão de óxidos capaz de produzir uma variedade de ligas a partir de mistura de pós-elementares. As fases de não equilíbrio sinterizados incluem soluções sólidas supersaturadas, fases metaestáveis cristalinas e quasicristalinas, nanoestruturas e ligas amorfas.

A energia de moagem do pó é tanto maior quanto menor for o diâmetro das bolas e maiores forem a velocidade de moagem e a razão em massa bolas/material. Dentre algumas limitações, sob velocidade muito elevada as esferas ficam presas na parede interna da câmara e não exercem a força de impacto. Dessa forma a velocidade máxima da moagem deve ser logo abaixo da velocidade crítica. O número de colisões entre as bolas e o material é maior em velocidades maiores, pois estão relacionadas a frequência de movimentação da câmara, porém elevam a temperatura, melhorando a soldabilidade, a ductilidade e a difusividade dos elementos, sendo este último um promotor da homogeneização do material, porém aumenta a reatividade ao meio e pode induzir a ocorrência de transformação microestrutural, levando à decomposição de soluções sólidas supersaturadas ou fases metaestáveis. (SURYANARAYANA, 2001)

A forma mais comum usada para consolidação à verde do pó metálico, facilitando o seu manuseio, é a compactação uniaxial em moldes com o formato do produto desejado seguida da consolidação final por sinterização. A sinterização pode ser efetuada nos componentes sob o estado *totalmente sólido* ou no estado *componente sólido/ componente líquido*, sendo o primeiro caso o que tende a promover menor

influência de alteração microestrutural. A sinterização ocorre a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão do metal base ou da liga metálica considerada, sob condições controladas de temperatura, tempo e atmosfera (ARENHARDT et al, 2015). Vários mecanismos de difusão interatômica estão envolvidos, sendo que a difusão interfacial entre partículas de pó promove a sua união por ligações primárias, promovendo ganho na resistência mecânica, redução da porosidade e densificação do produto consolidado. (OLIVEIRA, 2014)

Este trabalho teve como objetivo processar por moagem de alta energia e por sinterização alumínio a partir do corpo de latas de refrigerante recicladas e sua caracterização microestrutural analisada e correlacionada com os parâmetros de processo adotados com base em dados da literatura.

2 | METODOLOGIA

A realização do trabalho experimental se dividiu em cinco etapas: moagem de alta energia, compactação, sinterização, preparação metalográfica e caracterização microestrutural.

O corpo de latas de refrigerante de alumínio de um mesmo fabricante do Brasil foram selecionadas, lavadas com água e detergente e cortadas em fragmentos de área quadrada de 2,5 x 2,5 mm. Os fragmentos foram submetidos à moagem em um moinho de alta energia do tipo planetário, com relação 10:1 entre o peso das bolas e o peso do material e rotação de 450 RPM. Em cada moagem foram usadas 3 gramas de material e 5 esferas de aço cromado (6 gramas por esfera). Foram realizados três tempos de moagem diferentes sob atmosfera ambiente, nos períodos de 1h, 1h30min e 2h. Para cada moagem, foi respeitado intervalo de parada a cada 30 minutos a fim de se evitar o super-aquecimento da câmara do moinho.

Os pós obtidos foram caracterizados por Análise de Distribuição Granulométrica, a fim de se obter o tamanho médio de partícula e a distribuição de tamanho de partículas, realizado em equipamento de análise de tamanho de partículas por difração de laser (Granulômetro), modelo CILAS 920, do Laboratório de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais da UFRN,

A primeira etapa de consolidação foi feita através de compactação uniaxial a frio no Laboratório de Metais e Ensaios Mecânicos (LABMEM) no Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAT) da UFRN, a partir de uma matriz cilíndrica de 5 mm de diâmetro e o uso de 2,5 gramas do pó em cada compactação. Os corpos de prova a verde foram submetidos ao processo de sinterização em um forno tipo mufla 600 °C sob velocidade de aquecimento de 10°C/min e patamar de 1h, totalizando o tempo de 2h, sendo que as amostras foram deixadas no forno até o resfriamento. Para atmosfera de sinterização foi utilizado o gás argônio. Essa temperatura foi definida através da análise prévia por ensaio de térmico de dilatométrica, no equipamento NETZSCH DIL

402, do laboratório de análises térmicas do DEMAT_UFRN, sob taxa de aquecimento de 10°C/min, visando-se o uso de uma temperatura de sinterização abaixo de qualquer indicativo de fusão para o pó metálico produzido.

Com a verificação do melhor resultado obtido pela moagem de 2h na obtenção do maior refinamento de tamanho de partículas, efetuou-se um novo procedimento de consolidação através da compactação à 400MPa e de sinterização à 470 °C sob o patamar de 5h, para posterior comparação com o material sinterizado à 600°C por 2h.

Tanto os pós como os materiais consolidados foram analisados por Difração de Raios-X (DRX) (Shimadzu modelo XRD-7000) para a identificação das principais fases presentes com varredura de 10° a 90° para 2θ e velocidade angular de 1°/minuto (0,0167°/segundo) no modo contínuo, realizado no Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais (LCEM) do DEMAT-UFRN.

Os materiais também foram preparados metalograficamente por embutimento em resina acrílica de cura a frio, lixados em granalhas #240, #320, #400, #600, #1200 e #2000, polidos com pasta de diamante de 1,0 μm e atacados quimicamente em uma solução de 5 gramas hidróxido de sódio para 10 ml de água destilada durante 5 segundos. A aplicação da solução foi realizada através do contato de um chumaço de algodão embebido no reagente sobre cada amostra. Esse procedimento foi realizado no Laboratório de Caracterização dos Materiais (LCM) do DEMAT-UFRN.

Nas amostras polidas, antes de serem atacadas quimicamente, foram submetidas à análise quantitativa da porosidade através do método dos pontos (ASTM E562 - 11) via Microscopia Ótica, sendo calculados a média de 10 medições por amostra.

Após o ataque químico, as amostras foram caracterizadas microestruturalmente por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), modelo TM 3000 HITACHI, e por Espectrometria de Raios-X por Dispersão de Energia (EDS) com sistema SDD (*Silicon Drift Detector*), em equipamento do Laboratório de Caracterização Estrutural dos Materiais (LCEM) do DEMAT - UFRN.

Análise de microdureza Vickers foi realizada nas amostras sinterizadas em um equipamento Pantec MV200A no laboratório GET da UFRN, aplicando-se uma carga de 2,94N durante 15 segundos, em pontos aleatórios da amostra. Calculou-se a média de 10 medidas por amostra e seu respectivo desvio padrão.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do tempo de moagem na granulometria

As curvas do ensaio de distribuição granulométrica obtidas no granulômetro a laser são exibidas a seguir. A **Figura 1**. mostra a curva de distribuição granulométrica, em que o diâmetro médio de partícula obtida com tempo de moagem de 1h, 1h30min e 2h foram de 119,3 μm, 114,0 μm e 104,5 μm, respectivamente. A moagem de 1h apresentou uma maior média de tamanho de partícula, além de uma faixa de distribuição

de tamanho mais estreita em relação aos tempos de moagem superiores, indicando condições menos favoráveis para uma consolidação por compactação via metalurgia do pó. Em contrapartida, a moagem por 2h apresentou o melhor resultado em termos de refinamento do pó, com o menor tamanho médio e a maior faixa de distribuição de tamanho, fatores favoráveis para maior compactação do pó sob compressão uniaxial e favorecendo produtos consolidados mais densos e menos porosos após a sinterização.

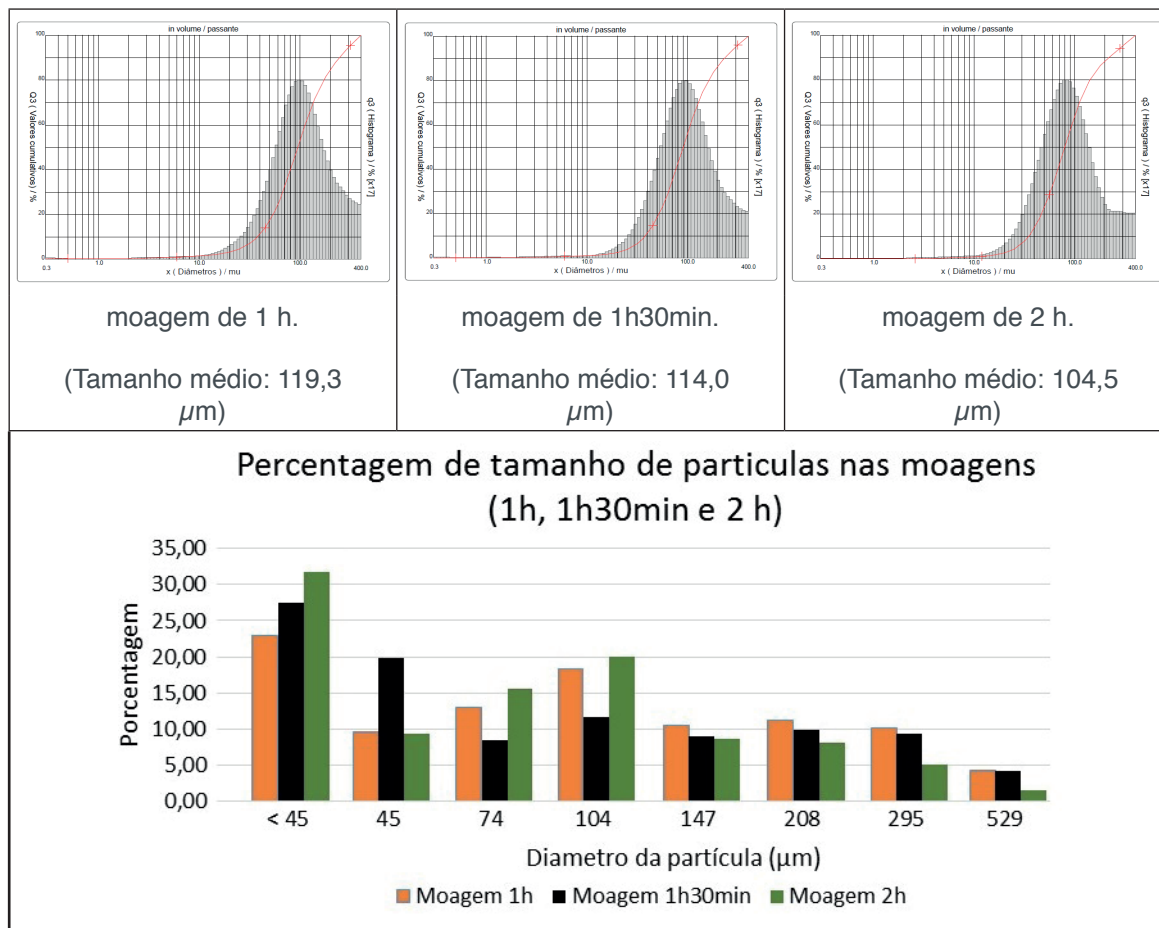


Figura 1: Distribuição granulométrica das partículas de pó para os tempos de moagem de 1h, 1h30min e 2h.

A matéria prima usada é à base de liga de alumínio baixa liga, sendo um material dúctil e portanto o processo de moagem está relacionado a um ciclo de deformação, soldagem e fragmentação das partículas, levando a diminuição do tamanho das partículas nos períodos de moagem efetuados. O diagrama da Figura 11 apresenta o comparativo de diferentes faixas de tamanho de partículas para os diferentes tempos de moagem. Sendo observado que os parâmetros de processo usados foram efetivos em alterar significativamente o tamanho e a distribuição das partículas de pó, onde as partículas mais refinadas foram mais frequentes nos maiores tempos de moagem.

3.2 Análise da morfologia das partículas de pó

A análise morfológica das partículas foi realizada via microscopia eletrônica de varredura (MEV) visando a caracterização do formato das partículas de pó em relação ao tempo de moagem. A **Figura 2** mostra imagens representativas das partículas

resultantes dos três tempos de moagem (1h, 1h30min e 2h). Em todos os casos ocorreu uma efetiva fragmentação do material original, o qual possuía área quadrada de 2,5 x 2,5 mm, resultando em partículas de tamanhos micrométricos em concordância com os resultados de distribuição e tamanho apresentados pela análise granulométrica a laser (tópico 3.1). Uma característica dominante foi a forma irregular e escamosa para os três períodos de moagem, a qual segundo SURYANARAYANA (2001) é uma característica comum em partículas dúcteis cominuídas por moagem.

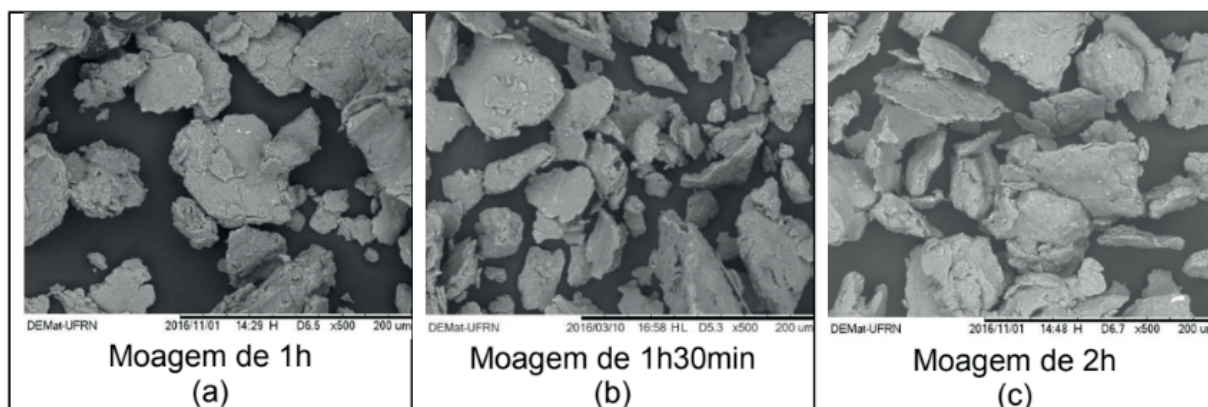


Figura 2: Morfologia das partículas observadas via MEV: (a) partículas obtidas com 1h de moagem; (b) partículas obtidas com 1h30min de moagem; (c) partículas obtidas com 2h de moagem.

Analisando a Tese de FOGAGNOLO (2000), um maior tempo de moagem associado ao uso de bolas de menor diâmetro durante a moagem ou ao uso de bolas de diâmetros combinados (esferas grandes e pequenas), podem reduzir mais efetivamente o tamanho das partículas de pó, assim como promover geometrias mais equiaxiais. Esse comportamento é válido até um período de moagem limite, onde períodos excedentes de moagem podem promover a aglomeração de partículas finas de forma indesejada e reduzindo a efetividade do processo. Comparando esse efeito com os resultados aqui apresentados, pode se concluir que o material processado a partir do corpo de latas de refrigerantes não atingiu o período limite de moagem, podendo ser cominuído acima das 2h utilizada, com o intuito de obter partículas menores e mais equiaxiais. Porém, deve-se levar em consideração o maior custo que poderá acarretar e os danos microestruturais e de oxidação do pó, uma vez que a rota de processamento proposta se baseia em moagem sob atmosfera ambiente, sem o uso de gás inerte ou produto similar.

Por outro lado, a presença de partículas de forma irregular, escamosa e angular, de acordo com FIGUEIREDO (2013), quanto mais irregular for a partícula maior será a área superficial específica livre para interação entre as moléculas na sinterização, formando uma peça mais compacta e com melhores propriedades mecânicas. Além disso, uma larga distribuição granulométrica, como a presença de partículas finas associados à pós grosseiros auxiliam em um maior empacotamento durante a compactação, visto que os vazios são facilmente preenchidos pelas mesmas.

3.3 Análise da porosidade dos materiais consolidados

Os materiais sinterizados à 600°C a partir dos pós cominuídos por 1h, 1h30min e 2h, e o material sinterizado à 470°C com o pó cominuído por 2h tiveram sua porosidade média determinada pelo método dos pontos, conforme resultado apresentado na Tabela 2.

Condições de sinterização	600°C por 2h			470°C por 5h
Tempo de moagem	1h	1h30min	2h	2h
Porosidade	26%	19%	13%	7,5%

Tabela 2: Porosidade dos materiais sinterizados.

Verifica-se que os períodos de moagem adotados foram bastante efetivos na densificação do material após a sinterização à 600°C por 2h., apresentando porosidades de 26%, 19% e 13% para os tempos de moagem de 1h, 1h30min e 2h, respectivamente. Uma redução ainda maior da porosidade, de 7,5%, foi obtida para o material sinterizado à 470 °C por 5 horas. Ou seja, embora consolidado à uma temperatura bem menor, o maior tempo de exposição promoveu uma maior atuação dos mecanismos de difusão interfaciais com a maior densificação do produto.

A Figura 3 mostra as micrografias obtidas em MEV, que indicam a diferença de porosidade entre as amostras sinterizadas a 600 °C. A porosidade do material é relacionada à curva de distribuição de tamanho de partícula, portanto como já citado anteriormente, o fato do pó obtido em 2h de moagem ter melhor distribuição de tamanho de partícula e menor tamanho médio resulta em um material consolidado com menor porosidade.

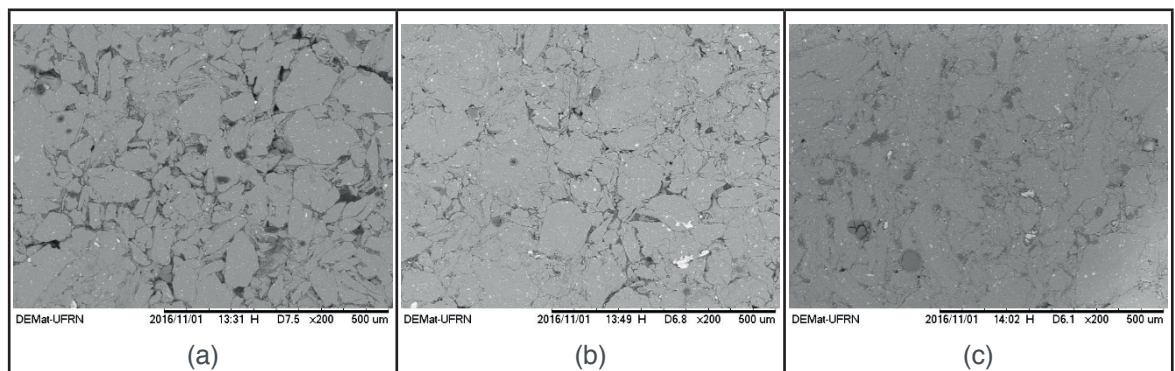


Figura 3: : Micrografias comparativas da densificação dos materiais sinterizados à 600 °C, proveniente dos pós submetidos aos diferentes períodos de moagem: (a) 1h de moagem (b) 1h30min de moagem (c) 2h de moagem

Na micrografia da Figura 4 observa-se um maior grau de consolidação, com menor porosidade e a maior ocorrência de coalescência das partículas de pó através da difusão de átomos durante a sinterização à 470°C por 5 horas do pó moído durante

2 horas.

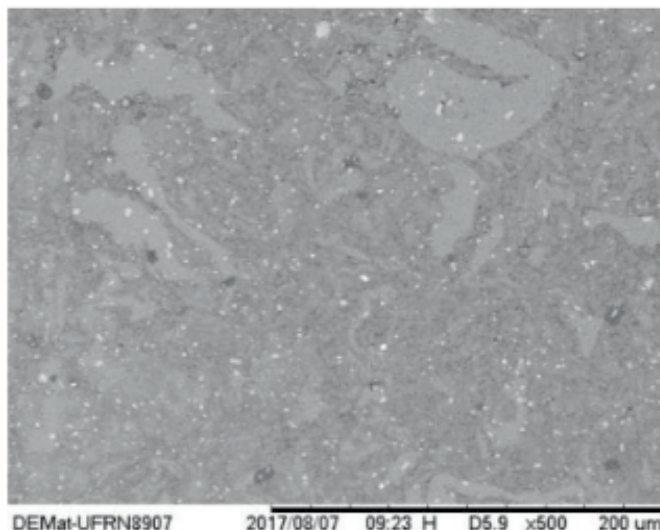


Figura 4: Micrografia da amostra após sinterização à 470°C por 5h.

3.4 Análise microestrutural por Difração de Raios-X

A análise de difração de raios-x permitiu identificar as principais fases presentes nos pós processados e nos materiais sinterizados, a partir da comparação com fichas catalográficas padrões da literatura.

A Figura 5a apresenta os difratogramas com as fases encontradas por meio das análises das amostras do pó de alumínio conforme os diferentes tempos de moagem e a Figura 5b os difratogramas dos mesmos pós após a sinterização à 600°C por 2h. Como fase principal está a Al-alfa (CFC), além das fases Al_6Mn , $AlFe_3$ e Mg_2Si . As fases encontradas estão de acordo com as fases esperadas para a liga 3004 ou similar usadas comercialmente na fabricação do corpo das latas de refrigerantes. As fases $AlFe_3$ e Mg_2Si foram claramente identificadas para o tempo de moagem de 1h, mas não para os demais casos, justificado pela pequena quantidade das mesmas associado ao limite de detecção do equipamento de DRX. Uma outra hipótese é uma possível solubilização parcial dos componentes dessas fases na matriz de Al-alfa com tempos maiores de moagem de alta energia, embora improvável devido à baixa solubilidade do Fe e do Si na matriz (Al-alfa), além de não ter sido detectado pelo DRX após a sinterização (condição com maior tendência de precipitação dessas fases).

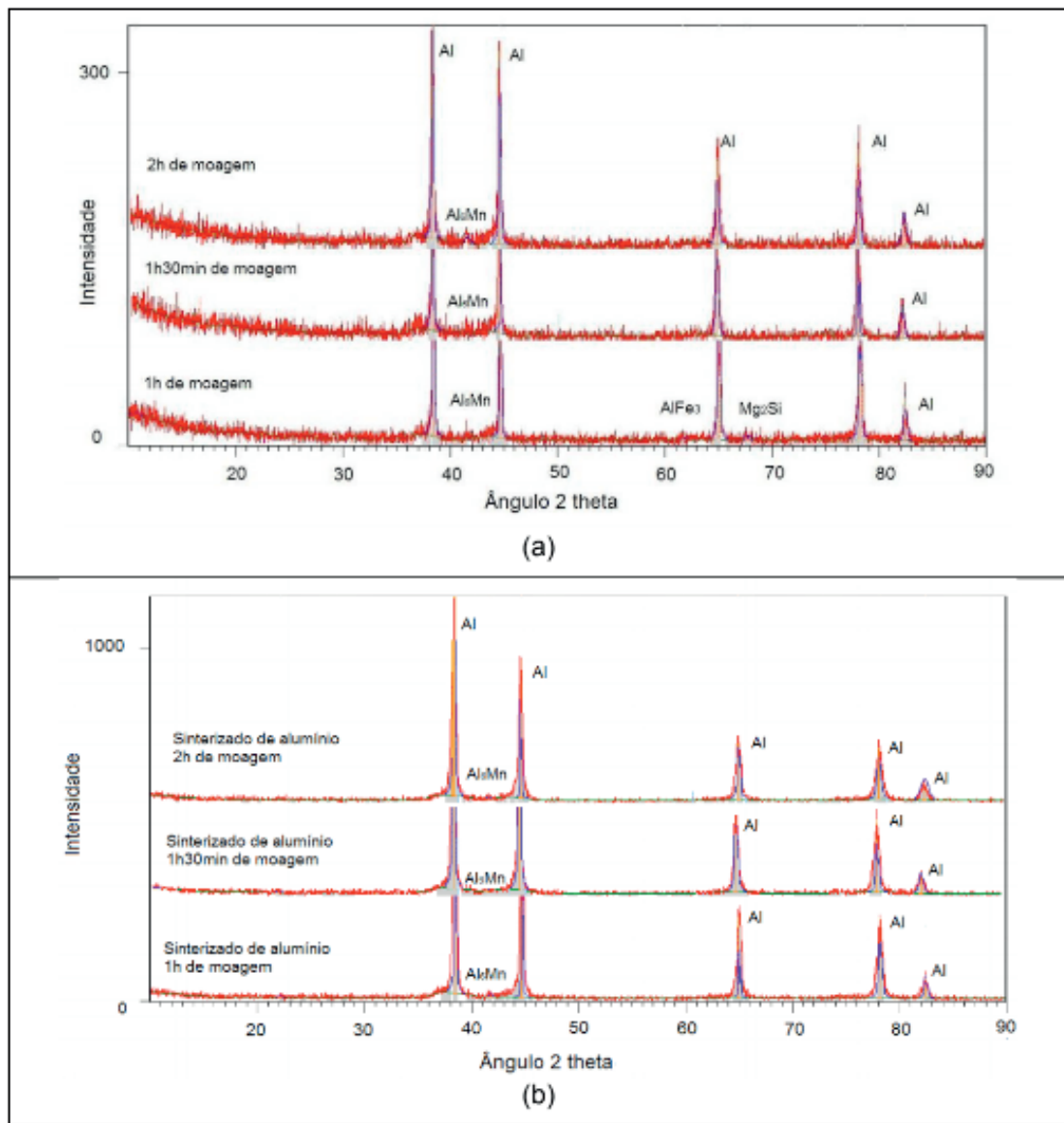


Figura 5: Difratogramas de Raios-X: (a) Alumínio em pó após moagens de 1h, 1h30min e 2h; (b) Alumínio sinterizado à 600°C por 2h a partir dos pós moídos por 1h, 1h30min e 2h [Autor].

3.5 Microanálise por EDS

As micrografias obtidas por MEV revelam a homogeneidade da distribuição das fases precipitadas nos materiais sinterizados sob todas as condições de processo, além da presença marcante de precipitados claros dispersos na matriz de Al-alfa. De forma representativa, a Figura 6a, referente a liga obtida com 1h de moagem e sinterizada a 600°C, mostra essa característica predominante. A microanálise por EDS da Figura 6b mostra a presença dos elementos Fe, Mn, Al e Si presentes nesses precipitados. Assim, comparando com os resultados encontrados por DRX, conclui-se que os precipitados são constituídos pelas fases Al₆Mn (em maior quantidade) e de AlFe₃. Esses precipitados tem característica frágil e, ao mesmo tempo que podem elevar a resistência mecânica do produto, podem também promover microtrincas sob carregamento mecânico reduzindo a ductilidade.

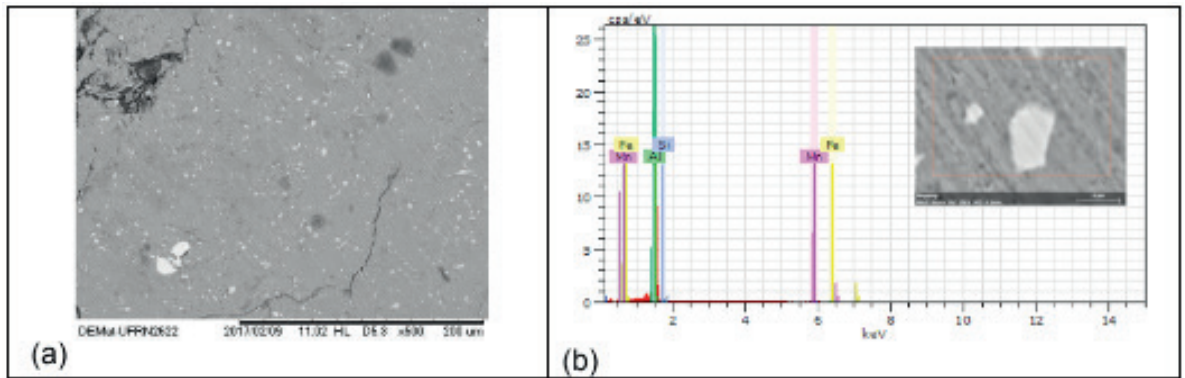


Figura 6: (a) Micrografia da distribuição da fases precipitadas na liga com 1h de moagem e sinterizada a 600°C obtida em MEV; (b) Análise de EDS das fases precipitadas na liga.

Outro dado interessante está expresso na Tabela 3 com os valores da composição química das amostras após moagem de alta energia por 2h antes e depois da sinterização à 470°C por 5h, obtidos por EDS.

Elemento químico	Al	O	Mg	Mn	Cu	Fe	Ti	Si
Amostra não Sinterizada (% Peso)	94,04	3,15	1,74	0,51	-	0,18	0,11	0,26
Amostra Sinterizada à 470°C por 5h (% Peso)	76,30	19,08	1,27	0,83	0,63	0,43	0,34	0,12

Tabela 3: Composição Química das Amostras obtidas por MEV-EDS, moídas por 2 h no estado antes e após a sinterização à 470°C por 5h

De acordo com a Tabela 3, com exceção do oxigênio, verifica-se uma variação discreta dos demais elementos. Isso se deve, provavelmente, à região analisada por EDS no material sinterizado ser diferente da região analisada do material antes da sinterização. Apesar disso, de acordo com VERRAN (2004), as porcentagens de Si, Fe, Mg estão dentro da faixa de tolerância da composição química do corpo da lata de bebida.

Já o aumento significativo do teor de oxigênio de 3,15%(% peso) para 19,08% (% peso) após a sinterização é um forte indicativo da ocorrência de oxidação da amostra. Este resultado se justifica pela ausência de gás inerte durante a sinterização associado à exposição pelo período de 5 horas à 470 °C dentro do forno, permitindo a difusão e a reação do oxigênio com o alumínio formando a fase mais estável Al_2O_3 , sendo essa uma desvantagem do processo sem o uso de atmosfera inerte, uma vez que tende a afetar negativamente as propriedades mecânicas.

3.6 Ensaio de Microdureza Vickers

O resultado do ensaio de microdureza Vickers apresentou valores próximos aos obtidos pelas ligas de alumínio em geral, de acordo com a literatura consultada (ALMEIDA, 2015; MARTINS, 2005; BARBOSA, 2001). Na Figura 10 é mostrado o comparativo da média dos valores de microdureza com o tempo de moagem com os

seus respectivos desvios padrões.

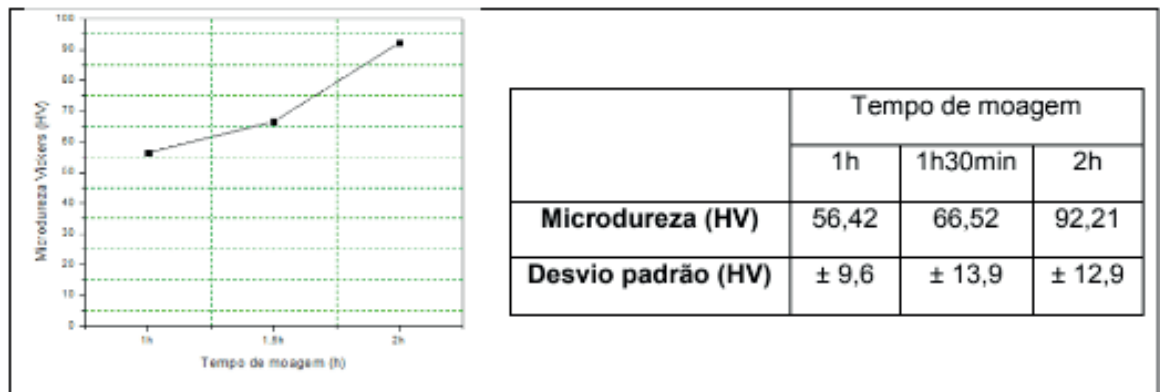


Figura 10: Microdureza Vickers em função do tempo de moagem para as amostras sinterizadas à 600°C por 2h e à 470°C por 5h.

A composição da liga reciclada pode ter contribuído para aumento da dureza, favorecendo a precipitação de partículas, que é um dos mecanismos de endurecimento do alumínio. Nas micrografias analisadas é possível observar a presença da fase Al_6Mn distribuída de forma homogênea na liga, o que resulta no aumento da dureza. Os valores de microdureza obtidos estão próximos aos valores que as ligas de alumínio apresentam em geral, de acordo com a literatura consultada (ALMEIDA, 2015; MARTINS, 2005; BARBOSA, 2001).

Um segundo fator a ser analisado é o tempo de moagem, que quanto maior for tende a promover microestruturas mais metaestáveis (menor tamanho de grão, maior formação de solução sólida super saturada da fase Al-alfa, maior grau de encruamento).

Um terceiro fator é o tamanho de partícula de pó, que quanto menor for, mais reativo e mais rápido tende a formar a união das partículas por difusão (empescoamento) no processo de sinterização.

Assim, há um processo competitivo de mecanismos de endurecimento e de amolecimento durante a sinterização dos pós provenientes de três tempos de moagem diferentes, onde pelo ensaio de dureza verificou-se que o maior tempo de moagem promoveu o domínio de mecanismos de endurecimento nos produtos sinterizados. Em contrapartida, esse efeito não foi o mesmo para o comportamento sob compressão, onde a maior resistência foi obtida para 1h30min de moagem, seguida de 2h e de 1h. Nesse caso, uma análise mais detalhada da porosidade e da microestrutura é recomendada para trabalhos futuros, tais como a análise de precipitados nanométricos via microscopia de emissão de campo (FEG) ou por microscopia eletrônica de transmissão (MET).

Comprando a matéria-prima de origem, os fragmentos do corpo das de refrigerantes provêm de encruamento por laminação, sendo encruados também por moagem de alta energia, porém, o processo final de sinterização promove alívio de tensões e o crescimento de grão, que são mecanismos de amolecimento. Já uma possível ocorrência de precipitação do Al_6Mn atuaria como mecanismo de

endurecimento. Devido aos diversos mecanismos envolvidos, um resultado claro obtido que dominou o processo do aumento da dureza foi a consolidação de materiais com menor porosidade (moagem de 2 horas e sinterização à 470°C por 5h).

4 | CONCLUSÃO

- Através das análises microestruturais efetuadas, verificou-se que o pó metálico apresentou uma boa distribuição de tamanho de partículas, desejável para um maior empacotamento.
- A amostra sinterizada apresentou também porosidade satisfatória, devido ao tamanho satisfatório do pó. Entretanto, verificou-se um grau indesejável de oxidação, que pode ser oriundo do tempo de tratamento térmico ou da ausência do gás de arraste.
- O maior refinamento do pó moído por 2h (tamanho médio de partícula de 104,5 μm) promoveu maior densificação nas amostras sinterizadas, alcançando 13% de porosidade e maior dureza Vickers (92,2 HV).
- O material mais refinado, moído por 2h e sinterizado 470°C por 5h promoveu uma maior densificação, alcançando 7,5% de porosidade no produto gerado. Nesse caso, o maior tempo de processo foi mais efetivo em promover a difusão interatômicas e efetividade da consolidação em um produto mais compacto.
- A análise microestrutural por Difração de Raios-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) revelou uma microestrutura composta por precipitados Al_6Mn dispersos na matriz de Al-alfa (CFC), típicos da liga Al-Mn. Outros intermetálicos comuns da liga do corpo da lata (AA3004) foram detectados em pequena fração como Al_3Fe e Mg_2Si .

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ (Projeto Universal 478987 / 2012-9), bolsa CNPQ PIBIC e ao PPGCEM-UFRN pelo suporte fornecido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. T. **Análise microestrutural e avaliação mecânica de juntas de soldadas por fricção e mistura mecânica (FSW) da liga de alumínio 5182-O.** 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), UFRS. Porto Alegre, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM E 562 – 11). **Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count.** 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK. Properties and selection: nonferrous alloys and

special-purpose materials, V.2, ASM, 1992.

ARENHARDT, Sandro Luís; SILVA, Magnos Marinho da; GARCIA, Guilherme Santos; MARTINS, Vinícius; ROCHA, Alexandre da Silva. **Estudo do Comportamento do Alumínio (Al) com adição de 1% Cobre (Cu) obtido pela Metalurgia do Pó Convencional**. Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal 24 (1): 99 – 104, jan. – jun. 2015). ISSN 1983-4071.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, ABAL. **Alumínio e suas ligas**. Disponível em <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

BARBOSA, C. **Caracterização de ligas de alumínio extrudadas e soldadas por centelhamento**. 163f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2001

CARDOSO, José Guilherme da Rocha et al. **A indústria do alumínio: estrutura e tendências**. BNDES Setorial, v. 33, p.43-88, mar. 2011.

CHIAVERINI, Vicente. **Metalurgia do pó: Técnica e produtos**. 3. ed. São Paulo: Édile Serviços Gráficos e Editora, 1992.

Dabhade, Vikram ; Kansuwan, Panya ; Misiolek, Wojciech. **Consolidation Of Aluminum Powder During Extrusion**. International Journal of Powder Metallurgy, July-Aug. . 2008, Vol.44(4), pp.27-36.

FIGUEIREDO, Nathália Cândido. **CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA DE FASES EM UMA LIGA FE-30NI PROCESSADA POR METALURGIA DO PÓ**. 2013. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

FOGAGNOLO, João Baptista. **Estudo do processo de fabricação de materiais compósitos de matriz de alumínio por metalurgia do pó, via moagem de alta energia e extrusão**. 256f Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), UNICAMP. Campinas, 2000.

GRUPO SETORIAL DE METALURGIA DO PÓ. **A Metalurgia do Pó: Alternativa econômica com menor impacto ambiental**. São Paulo: Ed. Metallum, 1. ed., 2009.

HATCH, J. E. **Aluminum: properties and physical metallurgy**. ASM.1993.

MARTINS, J. de P. **Evolução da microestrutura e da textura durante o processamento de chapas da liga Al-Mn-Fe-Si (3003) produzidas por lingotamento contínuo: um estado comparativo com o processo contínuo**. 203F. Tese (Doutorado em engenharia). USP. São Paulo, 2005

MERCHANT, H. D.; MORRIS, J. D.; HODGSON, D. S. **Characterization of intermetallics in Aluminum Alloy 3004**. Materials Characterization 25: 339-373. 1990.

MONDOLFO, L. F.; **Aluminum alloys: structure and properties**. Butterworths. London, 1976.

OLIVEIRA, Tatiane Potiguara. **Efeito da moagem de alta energia na densificação e microestrutura do compósito Al₂O₃ - Cu**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

PATROCINIO, P. R. G.; **Caracterização da textura e do orelhamento (aerino) da liga AA3104 após redução a frio**. 117f. Dissertação (Mestrado em ciências). USP. Lorena, 2011.

PERES, Mauricio Mhirdai; Kiminami, Cláudio Shiynti; Fogagnolo, João Batista; Jorge, Alberto Moreira; Botta, Walter José; BOLFARINI, Claudemiro. **Extrusão a quente de ligas de alumínio nanoestruturadas em pó: efeito da precipitação no controle microestrutural**. Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração, v. 7, p. 6-11, 2010.

PERES, Mauricio Mhirdai; JORGE JUNIOR, Alberto Moreira ; FOGAGNOLO, João Batista ; KIMINAMI, Cláudio Shiynti ; BOLFARINI, Claudemiro ; BOTTA FILHO, Walter José . **Hot Extrusion of Nanostructured Al-Powder Alloys: Grain Growth Control and the Effect of Process Parameters on Their Microstructure and Mechanical Properties**. Metallurgical and Materials Transactions. A,

Physical Metallurgy and Materials Science, v. 40, p. 3314-3321, 2009a.

PERES, Mauricio Mhirdau; KIMINAMI, Cláudio Shyinti ; BOLFARINI, Claudemiro ; BOTTA FILHO, Walter José ; JORGE JUNIOR, Alberto Moreira. **Effect of Dislocation Mechanisms during Extrusion of Nanostructured Aluminum Powder Alloy**. Metallurgical and Materials Transactions. A, Physical Metallurgy and Materials Science, v. 40, p. 3322-3330, 2009b.

PERES, Mauricio Mhirdau; FOGAGNOLO, João Batista; JORGE JUNIOR, Alberto Moreira; KIMINAMI, Cláudio Shyinti ; BOTTA FILHO, Walter José; BOLFARINI, Claudemiro. **Processing and Simulation for Consolidation of Nanostructured Al-Cu Powder Alloys**. Materials Science Forum, v. 570, p. 97-102, 2008a.

PERES, Mauricio Mhirdau; FOGAGNOLO, João Batista; KIMINAMI, Cláudio Shyinti; BOTTA FILHO, Walter José; BOLFARINI, Claudemiro; JORGE JUNIOR, Alberto Moreira. **Análise do Comportamento Sob Extrusão de Pós Nanoestruturados de Ligas de Alumínio como um Processo Termicamente Ativado**. Tecnologia em Metalurgia e Materiais (São Paulo. Impresso), v. 5, p. 6-11, 2008b.

PERES, Mauricio Mhirdau; FOGAGNOLO, João Batista; AUDEBERT, Fernando E.; SAPORITI, Fabiana; JORGE JUNIOR, Alberto Moreira; KIMINAMI, Cláudio Shyinti; BOTTA FILHO, Walter José; BOLFARINI, Claudemiro. **Hot Extrusion of Nanostructured Al Alloy Powder: Extrusion Ratio and Temperature Effect on the Microstructure and Mechanical Properties**. Materials Science Forum, v. 570, p. 91-96, 2008c.

REIS, A. A.; **Parâmetros de processamento para tixotrofia de uma liga Al-3,8%Si reciclada a partir de latas de alumínio**. 130f. Dissertação de mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais -. IFES. Vitória, 2013.

SILVA, Bismarck Luiz; DESSI, João Guilherme; GOMES, Leonardo Fernandes; PERES, Mauricio Mhirdau; CANTÉ, Manuel Venceslau; SPINELLI, José Eduardo. **Assessing microstructures and mechanical resistances of as-atomized and as-extruded samples of Al-1wt%Fe-1wt%Ni alloy**. Journal of Alloys and Compounds, v. 691, p. 952-960, 2017.

SOUSA, Marcio Marcelo Sampaio de. **Estudo do Processo de Fabricação de Compósitos de Matriz Metálica da Liga de Alumínio AA6061 por Metalurgia do Pó via Moagem de Alta Energia e Sinterização a Vácuo**. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SOUZA, José Raelson Pereira de. **EFEITO DA SINTERIZAÇÃO E DA MOAGEM DE ALTA ENERGIA NA MICROESTRUTURA E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM LIGAS DE ALUMÍNIO RECICLADAS A PARTIR DE LATAS DE BEBIDAS**. 2017. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SURYANARAYANA, C. **Mechanical alloying and milling**. Progress in Materials Science, 46, p. 1-184, 2001.

VERRAN, Guilherme Ourique; KURZAWA, Udo; PESCADOR, Wagner Arcaro. **RECICLAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO VISANDO A OBTENÇÃO DE MATÉRIAS PRIMAS COM QUALIDADE PARA APLICAÇÃO EM PROCESSOS METALÚRGICOS DE FABRICAÇÃO**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004. Florianópolis: ICTR, 2004. p. 4290 - 4300.

WANG, Xiao-Xi ; HE, Min ; ZHU, Zhen ; XUE, Ke-Min ; LI, Ping. **Influence of twist extrusion process on consolidation of pure aluminum powder in tubes by equal channel angular pressing and torsion**. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, July 2015, Vol.25(7), pp.2122-2129.

ZILNYK, Kahl. **Influência da Moagem de Alta Energia na porosidade de produtos da metalurgia do pó**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 4., 2008, Ponta Grossa. **Anais...** . Ponta Grossa: 2008.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-235-7



9 788572 472357