

FABRICAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA3107 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Max Breno Bezerra Muniz, breno.bmuniz@gmail.com¹
Clécio Vicente da Silva, cvslecio@gmail.com¹
Inaldo Amorim da Silva, inaldoamorim@hotmail.com²
Itamar Rodrigues de Lira, itamarrodriguesdelira@gmail.com³
Jonathan Vinícius Moreira Torquato, jonathan.torquato@ufpe.br³
Márcio Rolemberg Freire, rollebergfreire@hotmail.com¹
Oscar Olímpio de Araújo Filho, oscar.oaraujo@ufpe.br³
Rafael Silva de Santana, rafaelsdsantana@gmail.com²
Moisés Euclides da Silva Júnior, juniormoisés7@hotmail.com³

¹Centro Universitário Estácio do Recife, Av. Gen. San Martin, 1449, Jiquiá, Recife – PE, 50761-650,

²Instituto Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luís Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545,

³Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife – PE, 50670-901.

Resumo. O presente estudo analisa o processamento da liga de alumínio AA3107 através da técnica de metalurgia do pó (MP), utilizando a rota de compactação uniaxial a frio e sinterização por fase sólida. O processo partirá do pó da liga AA3107 fabricado por moagem de alta energia (MAE), que será compactado e na sequência sinterizado, fabricando assim um sólido denso, este estudo visa validar a técnica de fabricação por MP como alternativa na produção da liga estudada. A liga desenvolvida foi caracterizada através das técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia dispersiva (EDS) e ensaio de microdureza Vickers (HV). As etapas de caracterização do material fabricado demonstraram uma porosidade acentuada, baixa densificação e uma microestrutura não homogênea, porém foram obtidos valores de dureza aceitáveis para a liga em estudo.

Palavras-chave: Ligas de Alumínio. Metalurgia do Pó. Sinterização. Moagem de Alta Energia.

Abstract. The present study analyzes the processing of aluminum alloy AA3107 by powder metallurgy (PM) technique, using the route of cold uniaxial compaction and solid phase sintering. The process will start from the AA3107 alloy powder manufactured by high energy ball milling (HEBM), which will be compacted and in the sequence sintered, thus manufacturing a dense solid, this study aims to validate the MP manufacturing technique as an alternative in the production of the studied alloy. The developed alloy was characterized by optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), and Vickers microhardness (HV) techniques. The characterization steps of the fabricated material showed a marked porosity, low densification and an inhomogeneous microstructure, but acceptable hardness values were obtained for the alloy under study.

Keywords: Aluminum Alloys, Powder Metallurgy, Sinterization, Mechanical Alloying.

1. INTRODUÇÃO

Após a segunda guerra mundial, com a necessidade e o desenvolvimento de estudos sobre novos materiais e novas técnicas de processamento para atender indústrias em ascensão como automobilística, aeronáuticas, entre outras, expandiu-se a utilização da metalurgia do pó (MP) como alternativa econômica e tecnologicamente viável para uma demanda de pequenos componentes produzidos em grandes quantidades. (CHIAVERINI, 1992)

A MP é uma técnica a qual permite a fabricação de componentes metálicos com uso (pós-metálicos e/ou não metálicos), os componentes são produzidos com aplicação de pressão e calor nas etapas de consolidação dos pós, o que lhes conferem forma, acabamento e propriedades mecânicas. (NASCIMENTO, 2017; SILVA JUNIOR, 2020)

Segundo Moro e Auras (2007), a metalurgia do pó é um processo em que a economia de material é levada ao extremo, com mínimas perdas de matéria-prima (as perdas da rota convencional podem chegar a 50%). Alguns dos motivos que tornam a metalurgia do pó uma fonte produtora de peças são o controle exato da composição química desejada do produto final, a redução ou eliminação das operações de usinagem, bom acabamento de superfície, a pureza dos produtos obtidos e a facilidade de automação do processo produtivo em praticamente todos os ramos da indústria.

Uma das rotas mais comuns para a fabricação de componentes via metalurgia do pó é composta pelas etapas de compactação uniaxial a frio seguida de sinterização. (CHIAVERINI, 1992). Na compactação uniaxial a frio seguida de sinterização os pós são inicialmente compactados no formato final na etapa chamada de compactação, produzindo-se o compactado verde. Em seguida em um processo de aquecimento a 2/3 do ponto de fusão e em condições controladas de tempo e temperatura ocorre através de difusão o fechamento dos poros e uma ligação efetiva entre as partículas de pó dando ao componente suas propriedades finais, esta é a etapa de sinterização propriamente dita. (CHIAVERINI, 1992; NEVES, 2015)

Embora a grande parte dos componentes metálicos fabricados sejam produzidos através de ligas ferrosas como os aços e ferros fundidos, materiais estes que abrangem a grande maioria das aplicações comerciais e industriais, as ligas classificadas como não ferrosas obtiveram um crescimento considerável em sua produção e aplicação nas últimas décadas. Dentre essas ligas não ferrosas, as ligas de alumínio se destacam e vêm sendo cada vez mais aplicadas na indústria aeronáutica e componentes para fabricação de automóveis. (BARBOSA, 2014; ABAL, 2023)

A liga de alumínio usada na aplicação das técnicas de MP neste trabalho é a AA3107, uma liga da série 3XXX onde predomina como principal elemento de liga o Manganês, o qual possui percentual máximo de 1,5%, e são ligas não-tratáveis termicamente, onde o aumento da resistência mecânica é obtido através do encruamento. Esta liga apresenta boa conformabilidade, resistência à corrosão e boa soldabilidade e é utilizada em aplicações como: Placas de veículos; Latas de bebidas; Tanques na indústria química, entre outras. (BARBOSA, 2014)

O presente trabalho visa analisar a fabricação da liga de alumínio AA3107 através da sinterização. As amostras serão fabricadas a partir de pós ligados processados por moagem de alta energia e as amostras consolidadas serão caracterizados quanto a microestrutura por técnicas de microscopia e quanto as propriedades mecânicas por meio de ensaios de dureza Vickers.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente estudo seguiu o fluxograma mostrado na Fig. 1, mostrando as etapas de fabricação pelas duas rotas de MP e a caracterização das amostras.



Figura 1. Fluxograma com as etapas da metodologia adotada. (Os autores, 2023).

2.1 Composição dos produtos consolidados

As ligas da série 3XXX são formadas pelo sistema (Al-Mn), e pertencem a um grupo de ligas que não podem ser endurecidas por precipitação, sendo assim, elas não obtêm nenhum aumento de dureza quando submetidas ao tratamento térmico de envelhecimento, o aumento de dureza nessas ligas se dá através de encruamento. As ligas desta série têm como principais aplicações a fabricação de latas de bebidas e painéis (BARBOSA, 2014).

As ligas AA3107 são formadas pelo sistema Al-Mn, porém, apesar o Mn ser o elemento de liga majoritário, elas possuem em sua composição concentrações de outros elementos, tais como: silício (Si), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e titânio (Ti).

A Tabela 1, expressa as composições percentuais em peso para as ligas de alumínio do presente estudo, conforme ASM Handbook (1992).

Tabela 1. Composição química da liga AA3107 (ASM Handbook, 1992)

Classificação AA	Composição, % em peso						
	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Al
AA3107	0,60	0,70	0,15	0,9	0,20	0,10	97,35

2.2 Compactação uniaxial a frio

Para execução da etapa de compactação foi utilizada uma prensa hidráulica manual de ação simples, com carga máxima de 15 toneladas. A matriz de compactação utilizada é fabricada em três partes, em aço VC 131 (AISI D6), e tem formato cilíndrico com um furo concêntrico, sendo mostrada na Fig. 2 (a).

Foram fabricadas três amostras compactadas, na fabricação a matriz foi carregada com 10,0 gramas do pó da liga AA3107 fabricada por moagem de alta energia e foi empregada uma pressão de 7 ton./cm² durante um intervalo de 10 minutos, obtendo-se assim os compactados verdes mostrados na Fig. 2 (b).



Figura 2. Etapa de compactação. (a) Matriz de compactação utilizada; (b) Compactado verde fabricado. (Os autores, 2023).

2.3 Sinterização

Os compactados verdes fabricados foram submetidos ao processo de sinterização por fase sólida, sendo fabricadas um total de três amostras sinterizadas. A sinterização foi realizada em forno a vácuo. As amostras foram sinterizadas com o aquecimento a uma taxa de 20°C/min até a temperatura de patamar de 500°C e durante um tempo de patamar de 5 horas, o resfriamento foi realizado de maneira lenta dentro do próprio forno. A sinterização ocorreu sob vácuo de - 700mmHg.

A Figura 3, ilustra o ciclo de sinterização, aplicado neste trabalho.

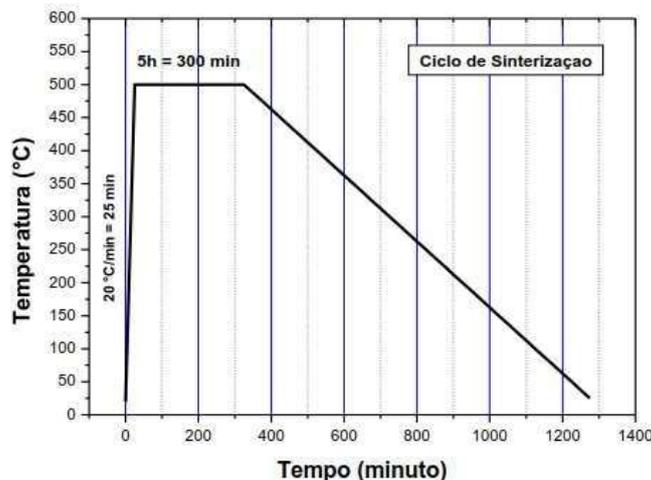


Figura 3. Ciclo de sinterização Fonte: Araujo (2011).

2.4 Preparação metalográfica

Na preparação metalográfica foi executado o corte das amostras consolidadas, com auxílio de uma máquina de corte denominada cut-off de baixa velocidade e precisão, modelo ISOMET da fabricada BÜEHLER. O corte das amostras foi realizado conforme Fig. 4 (a), de modo que se pudesse estudar as seções transversais e longitudinais dos corpos de prova sinterizados.

Após a realização dos seccionamentos necessários para o estudo, as amostras foram embutidas a frio, com a utilização de uma resina acrílica autopolimerizável em pó, as respectivas seções transversal e longitudinal de cada corpo de prova seccionado foram dispostas no embutimento conforme a Fig. 4 (b).

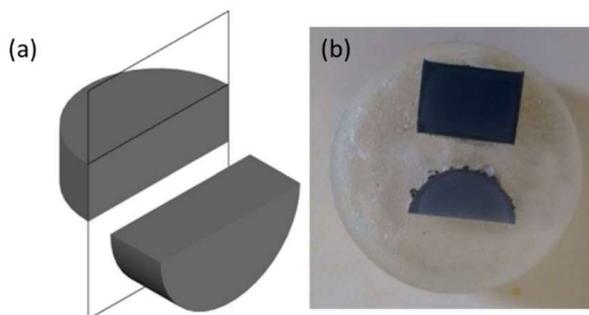


Figura 4. (a)Esquema de seccionamento dos corpos de prova; (b) Embutimento a frio Fonte: Os autores (2021).

Após o prazo de 24h, tempo de cura indicado pelo fabricante da resina autopolimerizante, visando a obtenção de uma superfície sem riscos ou marcas mais profundas proporcionadas pelo processo de seccionamento das seções, os corpos de prova foram submetidos a etapa de lixamento manual. Para realização deste processo utilizou-se uma politriz metalográfica modelo Aropol 2V com velocidade de 300 e 600rpm, fabricada pela Arotec Indústria e Comércio. Foram utilizadas lixas metalográficas de SiC e granulometria de 180#, 220#, 300#, 400#, 600# e 1000#.

Em seguida as amostras foram submetidas ao processo de polimento mecânico na mesma politriz utilizada para o lixamento, para realização desta etapa utilizou-se um pano de polimento de acabamento e alumina em suspensão de 1 μm . Por fim, com o intuito de revelar os contrastes das fases, as amostras foram submetidas ao ataque químico, através de uma solução aquosa de ácido fluorídrico a 0,5% durante um tempo de 15 segundos, através do método de esfregaço, posteriormente as amostras foram lavadas com água corrente, etanol e em seguida secadas por um jato de ar quente paralelamente a superfície atacada.

2.5 Microscopia eletrônica de varredura

As análises de caracterização microestrutural juntamente com análise química pontual das amostras consolidadas (sinterizadas) foram realizadas através do microscópio eletrônico de varredura (MEV), com filamento de FEG (field emission gun) com sensor de espectroscopia por energia dispersiva (EDS) acoplado, o microscópio é de fabricação da TECSCAN e do modelo MIRA3.

2.6 Ensaios de dureza Vickers

Para caracterização mecânica foi realizado o ensaio de micro dureza Vickers com auxílio do microdurômetro fabricado pelo EMCOTEST, modelo DURASCAN G5, o ensaio foi realizado aplicando uma carga de 0,2 kgf (200 g) durante 15 segundos. Para cada amostra, foram realizadas 5 endentações na seção transversal e 5 na seção longitudinal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Microscopia eletrônica de varredura

Na Figura. 6 (a, b, c e d), apresentam-se as micrografias obtidas através do MEV, confirmando que o material sinterizado apresenta uma morfologia heterogênea, onde os contornos de grão são indefinidos ou quase inexistentes, segundo Souza (2012), isso se justifica devido as sucessivas fraturas e soldagens provenientes da moagem de alta energia a qual os pós utilizados na fabricação foram submetidos.

Ao analisar as micrografias das seções transversais das ligas AA3107 ilustradas nas Fig. 6(a) e Fig. 6(b) foi possível a observação de que ambas apresentam uma morfologia lamelar, que se forma perpendicular ao sentido de compactação,

que de acordo com Santos (2017), são provenientes da soldagem em camadas. Tanto nas seções transversais quanto nas longitudinais é perceptível a presença de poros, principalmente na seção transversal.

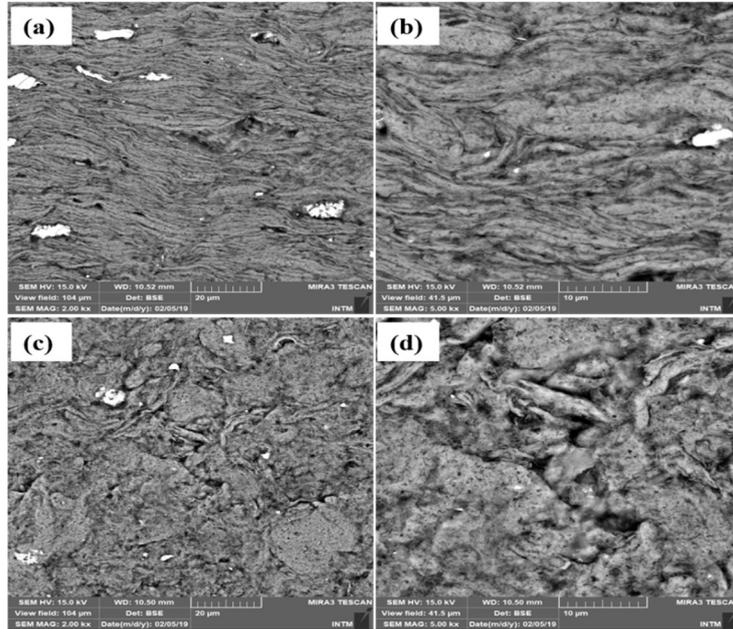


Figura 6. Micrografias de MEV do sinterizado da liga AA3107 – seção transversal: 500x (a), 1000x(b) - seção longitudinal: 500x(c), 1000x(d). (Os autores ,2023).

3.2 Espectroscopia de energia dispersiva

Para o corpo de prova sinterizado da liga AA3107, tanto para microanálise de EDS pontual Fig. 7 e Fig. 8, referente as seções longitudinal e transversal respectivamente. Com os resultados, não foi detectada a presença de nenhum elemento químico que não pertença a composição química da liga em estudo de acordo com ASM Handbook (1992), comprovando assim que não houve contaminação durante a fabricação do material e aferindo a metodologia utilizada.

As áreas onde foi realizada a microanálise de EDS na seção transversal da amostra sinterizada da liga AA3107, Fig. 7, não apresentaram precipitados das fases $Al_6(Mn, Fe)$. Na seção longitudinal a microanálise de EDS pontual, identificou-se nos espectros 10 e 12 ilustrado na Fig. 8, precipitados compostos por AL e Mn, e sugere-se que este precipitado seja da fase ortorrômbica $Al_6(Mn,Fe)$.

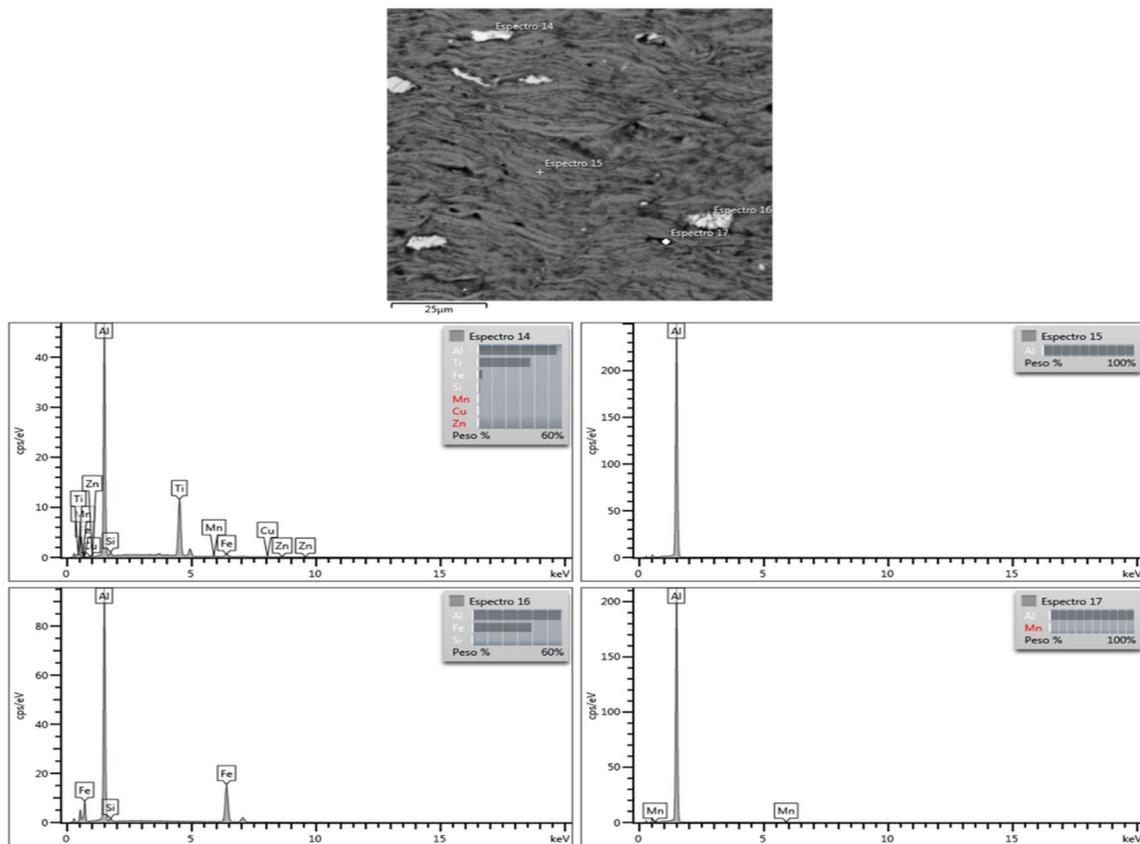


Figura 7. Espectros de EDS pontuais para amostra da liga AA3107 sinterizada, seção longitudinal. (Os autores, 2023).

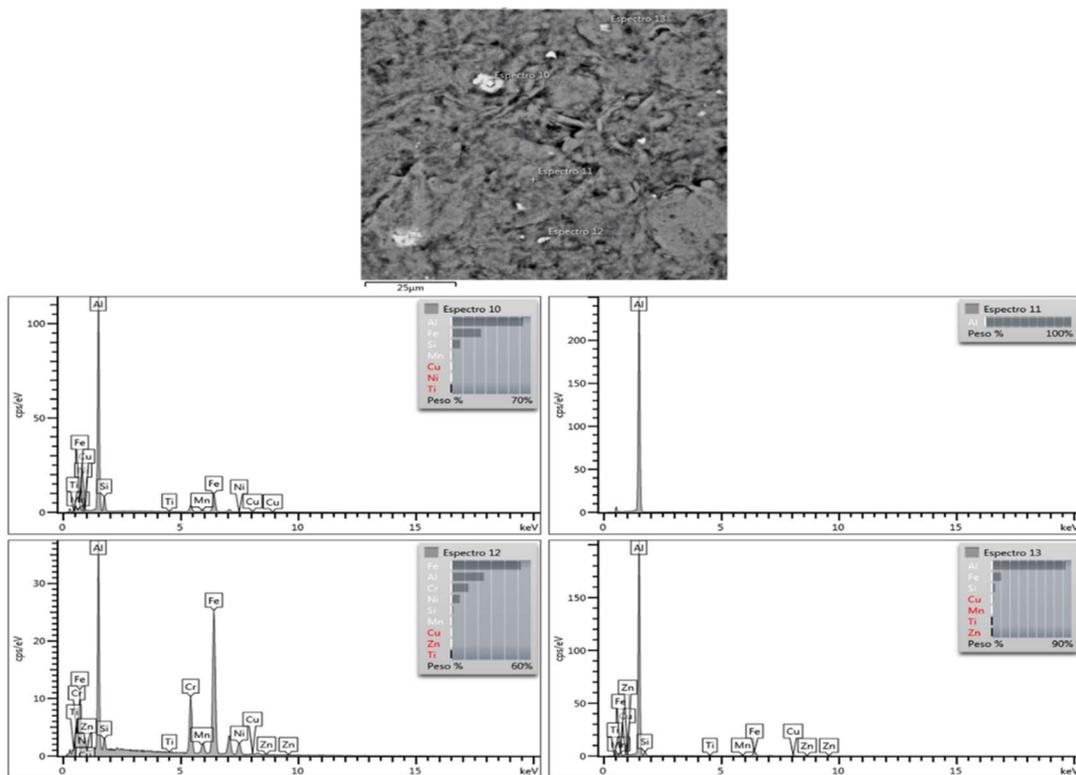


Figura 8. Espectros de EDS pontuais para amostra da liga AA3107 sinterizada, seção transversal. (Os autores, 2023).

3.3 Ensaios de dureza Vickers

Para avaliar a repetibilidade do processo de fabricação das ligas fabricadas pela técnica da metalurgia do pó, foram confeccionados três corpos de prova sinterizados, todas as 3 amostras foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers, foi utilizada uma carga de 0,2 kgf (HV0,2) As tabelas 1 mostram os resultados das 5 endentações realizadas em cada uma das 3 amostras e a dureza média calculada.

Martins e Padilha (2006) caracterizaram a liga comercial de alumínio 3107 produzida por lingotamento contínuo de chapas (lingotamento duplo), e obtiveram os seguintes valores de dureza: fundição bruta 54 HV e 39,4 HV para a amostra homogeneizada.

A Tabela 2 mostra os valores de dureza obtidos em cada uma das 5 endentações feitas em cada uma das seções (transversal e longitudinal) e os cálculos de suas respectivas médias e desvios padrão.

Quando comparados as amostras sinterizadas com o material fabricado por Martins e Padilha (2006), os corpos de prova sinterizados obtiveram basicamente o mesmo valor de dureza, porém com um elevado desvio padrão, esse elevado desvio padrão para as amostras sinterizadas é justificado devido a porosidade do material.

Tabela 2. Resultados dureza Vickers para liga AA3107. (Os autores, 2023)

Amostras	Sinterizados					
	AA3107-1		AA3107-2		AA3107-3	
	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal
1ª Endentação	59,10	58,70	40,10	70,60	41,20	81,10
2ª Endentação	77,60	58,00	51,50	70,70	38,90	65,00
3ª Endentação	87,80	61,40	37,20	53,90	50,90	78,10
4ª Endentação	81,00	47,80	37,00	72,40	46,50	89,00
5ª Endentação	74,00	56,50	41,20	71,90	47,10	70,70
	Seção Transversal			Seção Longitudinal		
Média	54,07			67,05		
Desvio padrão geral	6,39			6,66		

4. CONCLUSÃO

De maneira geral, a rota de fabricação se mostrou eficaz para fabricação de um sólido denso a partir dos pós. Entretanto, as amostras os corpos de prova sinterizados apresentaram alta porosidade e microestrutura irregular.

Para a liga em estudo os espectros de EDS indicaram apenas a presença dos elementos constituintes que a forma, e a presença de um precipitado composto por Al e Mn, com percentuais que correspondem a fase ortorrômbica Al₆(Mn,Fe), evidenciando que não houve contaminação durante o processo de fabricação.

Os resultados obtidos do ensaio de dureza evidenciam os corpos de prova sinterizados obtiveram um valor de dureza aceitável para a liga em estudo, porém com um elevado desvio padrão, que se justifica devido a elevada porosidade do material.

De maneira geral a técnica de fabricação por metalurgia do pó se mostrou mais eficaz na fabricação da liga AA3107, produzindo um material com boas características, e com dureza aceitável, para a liga estudada.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de PE(FACEPE) pela concessão da Bolsa de Pesquisa que possibilitou a realização desse estudo. Agradeço, também, à Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e ao Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM) pelos recursos infraestruturais, indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- ABAL, Associação Brasileira do Alumínio. Características Químicas e Físicas. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>>. Acesso em: 10 de janeiro 2023.
- ARAUJO, E. R. *Fabricação e caracterização de compósitos de matriz metálica da liga de alumínio AA6061 com reforço particulado de carboneto de silício e alumina através de técnicas de metalurgia do pó*. 2011. 145 f. Dissertação

- (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- ARAUJO FILHO, O. O. *Estudo comparativo de aços rápidos AISI M3:2 produzidos por diferentes processos de fabricação*. Tese de Doutorado (Tecnologia Nuclear) - Universidade de São Paulo, 2006.
- ASM Handbook. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, ASM International (American Society for Metals), Materials Park, Ohio, USA, 1992. v. 2. 3470 p.
- BARBOSA, C. *Metais não ferrosos e suas ligas: Microestrutura, propriedades e aplicações*. E- papers, Rio de Janeiro, BRA, 2014.
- CHIAVERINI, V. *Metalurgia do pó: Técnica e produtos*. Editora ABM, São Paulo, BRA, 3. ed, 1992.
- MARTINS, J. P.; PADILHA, A. F. *Caracterização da liga comercial de alumínio 3003 produzida por fundição contínua de chapas (twin roll caster) - microestrutura*. *Metalurgia & Materiais*, Ouro Preto, v. 59, n. 4, p.427-431, dez. 2006.
- NASCIMENTO, D. M. *Fabricação de Compósitos de Matriz Metálica de Liga de Alumínio AA7075 Reforçado com Carvão de Nióbio (NbC) Obtido Via Metalurgia do Pó*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
- NEVES, E. B. *Sinterização de misturas de pós elementares de uma liga Fe-22,5Cr-5,5Ni*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande, 2015.
- SANTOS, E. N. *Fabricação e caracterização da liga de alumínio-silício a partir dos pós elementares de alumínio e silício via metalurgia do pó*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
- SOUZA, M. M. *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*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, 2012.
- SILVA JUNIOR, M. E. *Fabricação das ligas de alumínio AA3003 e AA3107 a partir dos pós elementares de alumínio e de manganês através de técnicas de metalurgia do pó*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.