



## **ESTUDO DA LIGA AL5%CU OBTIDA POR METALURGIA DO PÓ, UTILIZANDO MISTURADOR DE BAIXA ENERGIA EM DIFERENTES TEMPOS DE MISTURAS**

**Felipe Ramos Barbosa, felippe.ramos.b@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Sérgio Mateus Brandão, sergio.brandao@ifg.edu.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal de Goiás, rua 75, 46 Setor Central, Goiânia, Go, Brasil

<sup>2</sup>Centro Universitário UniEVANGÉLICA, Av. Universitária km 3.5, Cidade Universitária, Anápolis, GO, Brasil

**Resumo.** O processo de metalurgia do pó consiste na obtenção de pó metálico e na sua transformação através de etapas importantes como a sua mistura, compactação e sinterização, resultando em produtos de precisão e propriedades desejadas. A etapa de mistura pode ser realizada em diferentes tipos de misturadores de acordo com a liga a ser produzida. O objetivo deste é avaliar o comportamento da liga Al5%Cu obtida por metalurgia do pó, utilizando misturador de baixa energia em diferentes tempos de mistura. Para realização do experimento foi construído um protótipo de um misturador de baixa energia do tipo cilíndrico, no qual foram preparados corpos de provas em diferentes tempos. Posteriormente as amostras foram compactadas uniaxialmente a uma mesma pressão, e sinterizadas em conjunto em um forno tipo mufla modelo Q312M21 da Quimis, na temperatura de 450°C, com patamar de 1 h, seguida de resfriamento posterior no forno até 25°C, durante 7 horas. Entre os resultados das análises realizadas, destaca-se a microdureza Vickers (HV) e a avaliação da sua microestrutura, as quais demonstraram uma forte influência do tempo de mistura na dureza e na homogeneização da liga respectivamente.

**Palavras chave:** Metalurgia do pó. Misturador de Baixa Energia. Tempo de Mistura.

### **1. INTRODUÇÃO**

A Metalurgia do Pó (MP) é uma técnica de produção de peças metálicas através da sinterização de pós metálicos compactados, que permite formar ligas através da mistura de diferentes metais na forma pulverulenta, segundo Ghadiri M, 1991. Esses pós são definidos por partículas de metais com tamanho inferior a 1 mm, que podem ser obtidos por três métodos: o mecânico, que envolve usinagem e moagem; o químico, que abrange deposição eletrolítica, decomposição térmica, precipitação de líquido, entre outros; e o físico, que compreende as atomizações à água, à gás e ar comprimido. Os metais obtidos por metalurgia do pó se dividem em dois grupos, o grupo dos metais que só podem ser obtidos por metalurgia do pó e o grupo que pode ser obtido por processos metalúrgicos convencionais, mas se mostram técnica e economicamente mais viáveis ao serem obtidos por MP (Metalurgia do pó), disse Stadtler, 1989.

O processamento de ligas de metal dúcteis se dá pelas rotas convencionais da metalurgia do pó, onde os pós elementares são obtidos, misturado, compactados e sinterizados. A sinterização é normalmente realizada a vácuo ou à baixa pressão de gás inerte ou reductor (em torno de 0,1MPa). Através da aplicação de pressão em alta temperatura, estes dois processos citados assistem na eliminação parcial do lubrificante e total de poros na microestrutura, Suryanarayana, 2001.

De um modo geral as ligas Al-Cu apresentam elevada resistência mecânica, entretanto, apesar dessa vantagem, apresentam algumas desvantagens quando comparadas com outros tipos de ligas de alumínio, que vão desde a resistência à corrosão relativamente baixa e a conformabilidade limitada (são pouco adequadas a processos com elevada deformação, como a extrusão, por exemplo) até a soldabilidade igualmente restrita. Os valores mais elevados de dureza são obtidos para teores de cobre da ordem de 4 a 6 %, dependendo da influência de outros elementos de liga presentes.

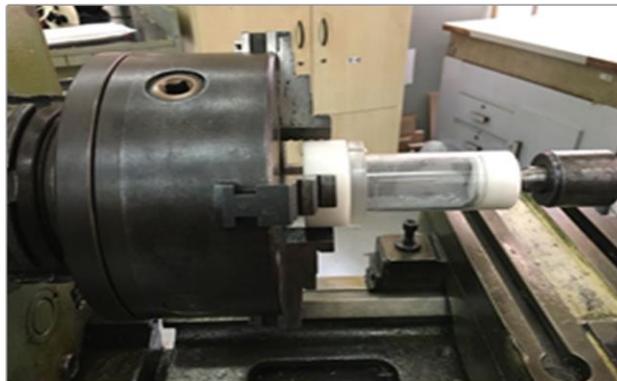
O objetivo deste é avaliar o comportamento da liga Al5%Cu obtida por metalurgia do pó, utilizando misturador de baixa energia em diferentes tempos de mistura, verificando a influência do tempo de mistura na microestrutura e a dureza/microdureza Vickers (HV).

### **2. MATERIAIS E METODOS**

Para a fabricação dos corpos de prova foram pesados a quantidade de pó de alumínio e de cobre utilizando uma mistura de 5% de Cobre dentro do total de Alumínio e adicionado 1% de Estereato de Zinco, como lubrificante. O aglomerado foi usado para a confecção de 4 corpos de prova. O tamanho de partícula dos pós foi analisado no microscópio eletrônico

de varredura, MEV, modelo JSM 7100 F, da Universidade de Brasília, UnB. Para a padronização dos corpos de prova foi utilizado o mesmo misturador, sendo este um protótipo de um misturador cilíndrico de baixa energia, acoplado em um torno mecânico convencional, com velocidade controlada de 50 rpm representado pela fig 1.

Figura 1: Protótipo de misturador cilíndrico acoplado no torno mecânico



O processo com o misturador cilíndrico garante uma homogeneidade ao processo de mistura dos pós e fora realizado em quatro etapas. Na primeira amostra o tempo de mistura foi de 1,5 horas, para segunda amostra um tempo de duas horas, terceira amostra 2,5 horas e uma quarta amostra com tempo de mistura de três horas. Cada etapa da mistura com pausas sequenciais de 15 minutos a cada 30 minutos de mistura, ambas as amostras foram utilizadas o mesmo lubrificante, o estearato de zinco 1%. Os pós seguiram o mesmo método de compactação. Foi utilizado uma prensa uniaxial com aplicação de 2,5 toneladas de carga, e com a massa do pó preparado para a compactação de 3,3414g. Na etapa de sinterização as amostras começaram a aquecer a partir de uma temperatura inicial de 25°C e tiveram um aumento gradativo até uma temperatura de 450°C, onde perdurou por 30 minutos realizando a queima do lubrificante. Depois as peças foram aquecidas até 600°C com o patamar de 1 hora para a sinterização completa e por fim, houve um resfriamento até 25°C no forno durante 7 horas. O forno utilizado não possuía atmosfera controlada.

Com os corpos de provas prontos foram realizados o lixamento para fazer as análises metalográficas. Para tanto foram realizados o embutimento a quente com Baquelite em uma prensa de embutimento. Para o processo tomou-se os seguintes cuidados:

- a. Escolha adequada do material de lixamento em relação à amostra, ou seja, a granulação adequada;
- b. A superfície deve estar rigorosamente limpa, isenta de líquidos e graxas que possam provocar reações químicas na superfície;
- c. Riscos profundos que surgirem durante o lixamento deve ser eliminado por novo lixamento;
- d. Fazer um ponto de referência na amostra;
- e. Começar o lixamento de desbaste;
- f. Lixar até que só restem os riscos da última lixa utilizada;
- g. Gire 90° e dê sequência para a próxima lixa;
- h. Repetir passos 5 e 6 até chegar à lixa de granulometria 1200.

Foi utilizado o equipamento APL-4d AROTEC com lixas de 180, 400, 600, 1200 respectivamente. Posteriormente as peças são polidas no equipamento Politriz Metalográfica, utilizando pano de polimento em perfeito estado, foi utilizado Alumina e leve quantidade de água para eliminação de impurezas.

Durante o polimento é preciso evitar fricção excessiva e pressão excessiva sobre a amostra, aconselha-se aplicar um pouco mais que o próprio peso da amostra. Após o polimento as peças foram levadas para o laboratório de metalografia para captura de imagens, depois foi efetuado o ataque químico por gotejamento de Lixívia, a solução foi gotejada sobre a superfície da peça para análise metalográfica. Esta preparação respeitou a norma ABNT NBR 13284:1995.

O teste de dureza foi efetuado logo após a análise microscópica das amostras. Utilizou-se o Microdurômetro HM 102 Mitutoyo Série 810 com penetrador de diamante.

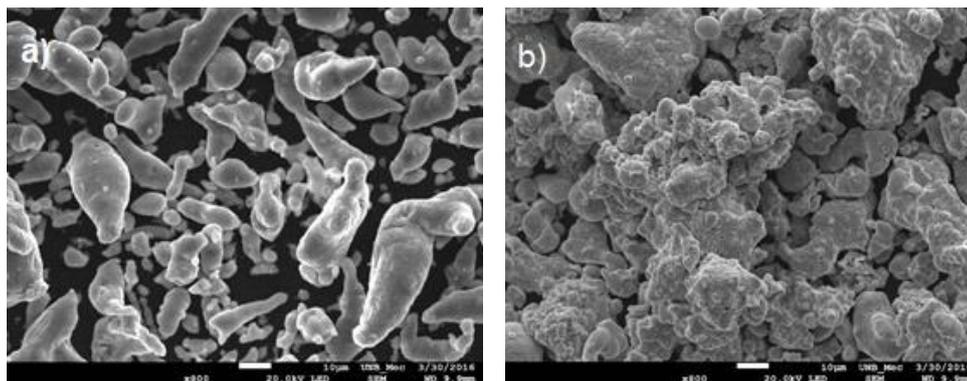
A carga plena é aplicada sobre a amostra. As duas diagonais d1 e d2 das endentações deixadas na superfície do material depois da remoção da carga são medidas usando-se uma régua acoplada ao microdurômetro, que informa as medias de d1 e d2 e o valor da microdureza em HV. Tomou-se o cuidado de seguir as etapas do manual do fabricante do microdurômetro.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização do pó

A figura 2 mostra o aspecto microestrutural dos pós que foram utilizados para a fabricação dos corpos de prova, exibindo a forma típica, a distribuição do tamanho da partícula e o estado de aglomeração do material. Observa-se, através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), que o pó de cobre há tamanhos de grãos maiores que a do alumínio, e que ambos apresentam formas irregulares.

Figura 2. MEV das amostras dos pós antes da mistura, aumentadas 800x: a) Pó de alumínio, b) Pó de cobre



#### 3.2 Caracterização do Pó compactado

Na Tabela 1, estão apresentadas as medições após a moagem e compactação conforme o tempo de mistura.

Tabela 1. Densidade aparente das amostras

Material	Tempo de mistura (horas)	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Al5%Cu	1,5	1,248
	3	1,187

Na Tabela 2, estão apresentadas as medições de densidade pelo processo de Arquimedes, após a moagem e compactação conforme o tempo de mistura.

Tabela 2. Parâmetros medidos após a compactação

Tempo de mistura (h)	1,5		2		2,5		3	
Diâmetro (mm)	13,45	13,45	13,25	13,24	13,25	13,24	13,45	13,45
Comprimento (mm)	9,43	9,44	9,553	9,252	9,45	9,63	9,42	9,44

Peso (g)	3,252	3,234	3,28	3,219	3,261	3,271	3,244	3,263
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,45	2,44	2,51	2,54	2,53	2,49	2,44	2,46

\*utilizou-se, para o cálculo da densidade, o princípio de Arquimedes; o deslocamento de volume para ambas fora de 1ml.

Na Tabela 3, estão apresentadas as medições de microdureza (HV).

Tabela 3. Parâmetros medidos no ensaio de dureza.

Tempo de mistura (h)	1,5	2	2,5	3
Dureza (HV)	36,4	39,8	45,7	48,38

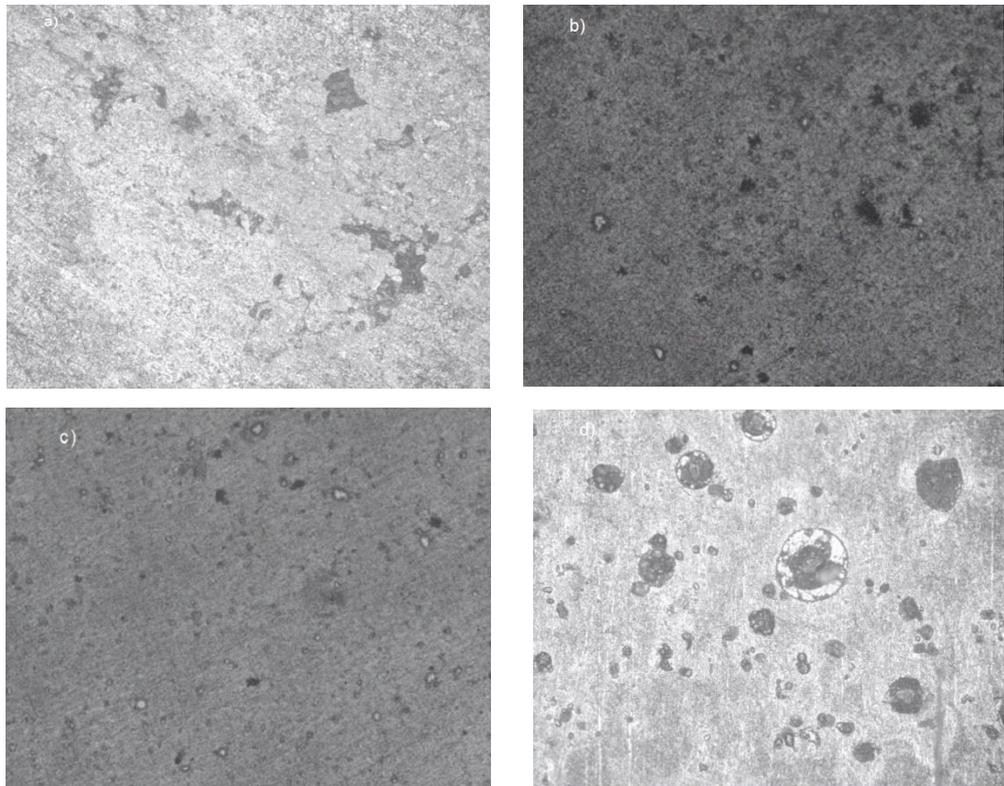
\*Para os valores acima foi efetuada média de três medidas de dureza para cada corpo de prova.

Se observa que há um aumento relativo da dureza de acordo com o aumento do tempo de mistura. O tempo de mistura de três horas apresenta maior dureza que o tempo de duas horas e meia.

### 3.3. Caracterização do Pó Sinterizado

A Figura 3 apresenta a metalografia das amostras com aumento de 500x e sem ataque químico.

Figura 3. Amostras sem ataque químico: a) Tempo de mistura de 1,5 horas, b) Tempo de mistura de 2 horas, c) Tempo de mistura de 2,5 horas, d) Tempo de mistura de 3 horas



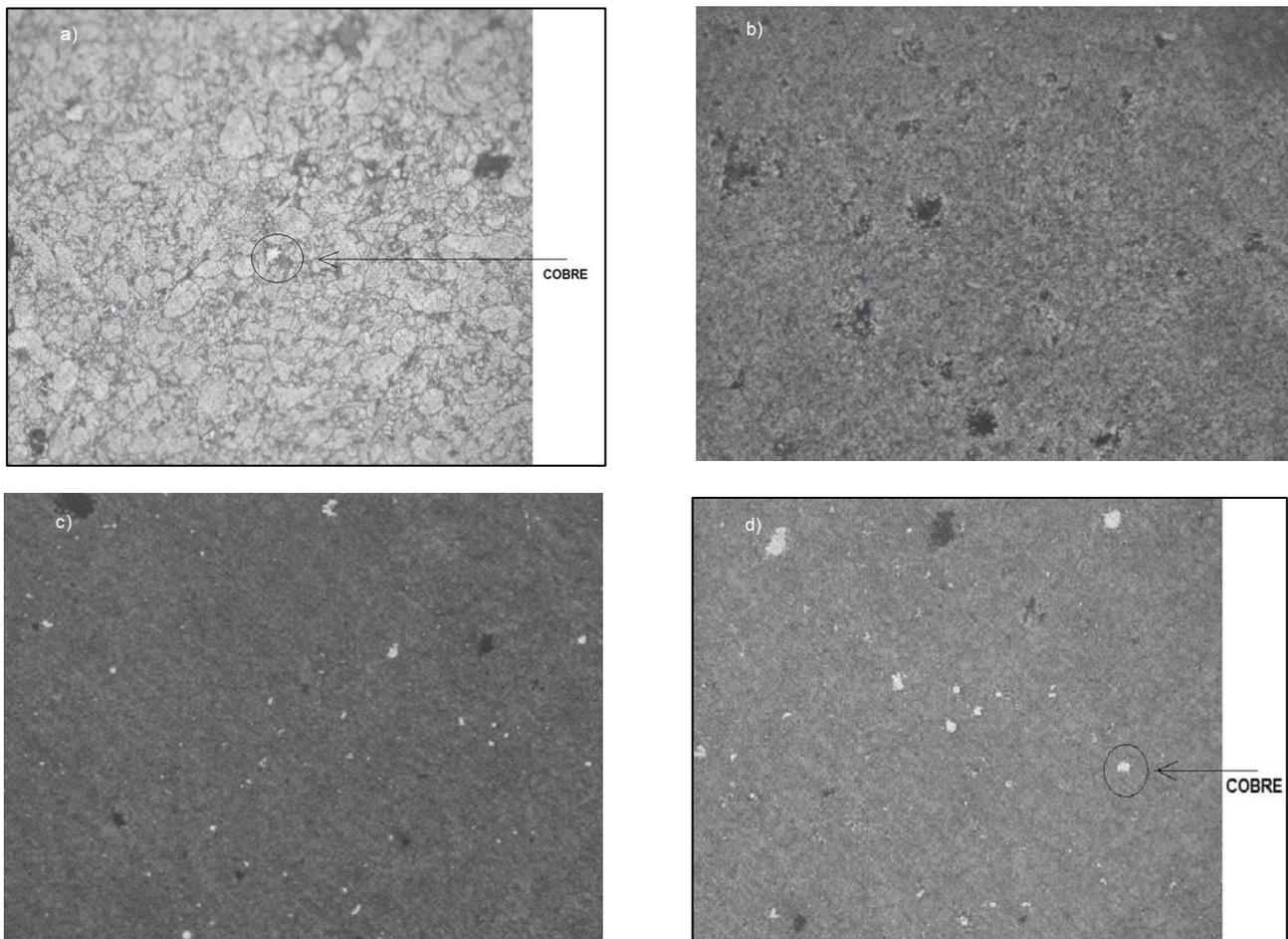
A partir da análise metalográfica, notou-se que houve interação entre o alumínio e o cobre, mas não houve total interdifusão entre os elementos constituintes

É importante ressaltar que na homogeneização, procura-se assegurar um pó uniforme, mais adequado para a compactação, ou seja, com tamanho e formas bem distribuídas, evitando a segregação.

A homogeneização pode igualmente servir para alterar a densidade aparente ou velocidade de escoamento do pó e, eventualmente, algumas outras propriedades, porque durante a operação pode ocorrer uma certa redução de tamanho da partícula, assim como um certo arredondamento da sua forma e ainda, eventualmente, um certo amaciamento de suas superfícies, recentemente Salgado, 2002.’

A figura 4 mostra a micrografia após o ataque químico com hipoclorito de sódio.

Figura 4. Metalografia das 4 amostras com tempos de misturas distintos e efetuado o ataque químico: a) Amostra de 1,5 horas, b) Amostra de 2 horas, c) Amostra de 2,5 horas, d) Amostra de 3 horas



Em relação ao tempo de mistura e a micrografia, notou-se segundo a comparação da fig. 3, que quanto maior o tempo maior a homogeneidade da mistura, portanto, a segregação é menor. E homogeneidade na microestrutura da peça de três horas é melhor que as demais peças.

Na Figura 4, destacada nos “pontos luminosos” a presença do cobre, os grãos e seus contornos.

Na metalografia ficou expressivo a maneira com que a segregação se comportava relacionada com a homogeneidade. E assim pode-se perceber que o tempo de mistura foi o fator que gerou esse resultado.

A densificação das amostras sinterizadas em relação às amostras a verde não teve uma variação significativa, que apresenta devido à dificuldade quando se trabalha com o Alumínio utilizando o processo de metalurgia do pó, o problema se dá ao fato da presença de uma camada de óxido, que envolve completamente a superfície das partículas de pó acarretando grande prejuízo tanto na compressibilidade quanto na sinterabilidade das amostras, CHIAVERINI, 2001.

#### **4. CONCLUSÃO**

Avaliando o comportamento do composto de Alumínio (Al) com 5% de Cobre (Cu) percebe-se que não houve interdifusão total entre o Cobre e o Alumínio. Por meio do ensaio de dureza pode-se afirmar que quanto maior o tempo de mistura do pó, melhor o resultado em relação à propriedade mecânica apresentada na composição de Al 5% Cu. A dureza da amostra de 2 horas em relação a amostra de 1 hora é aproximadamente 10% maior, chegando a 32% maior para a última amostra de 3 horas em relação a amostra de 1 hora. Um novo estudo assumindo tempos de misturas mais elevados que três horas é viável para uma melhor comparação e relação dureza e homogeneização.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos vão ao professor Sérgio Brandão que sempre esteve disposto a colaborar e orientar em tudo o que foi preciso para elaboração desse artigo.

#### **6. REFERÊNCIAS**

- Ghadiri M., Farhadpour, F.A., Clift R., Seville, J.P.K.” *Particle characterization size and morfology, The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy*” - An Overview. London,p.56- 75, 1991.
- Stadtler W.A. Production of Metallurgy Parts. ASTM, Powder Metallurgy, Ohio, p.449-463, 1989.
- Suryanarayana, C.; Ivanov, E.; Boldyrev, V. “*The science and technology of mechanical alloying*”. Materials Science and Engineering, Elsevier Science B, v. 2001. PMCid:PMC114021.
- Salgado, L. Processamento da liga Ferro-Níquel Cobre- Molibdênio por moagem de alta energia. Tese (Doutorado) na area de ciências dos materiais.
- CHIAVERINI, V. 2001. Metalurgia do pó. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 326 p.

#### **7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

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