



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

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 3

**Atena**  
Editora

Ano 2019

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

**Impactos das Tecnologias na  
Engenharia Mecânica**  
**3**

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 mecânica 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v.3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-248-7

DOI 10.22533/at.ed.487190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. III. Série.

CDD 670.427

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.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica está em constante mudança, sendo uma das mais versáteis, se olhar desde seu surgimento durante a Revolução Industrial até os dias de hoje é visível a modernização e modificação dos métodos e das tecnologias empregadas.

Nesta evolução um dos pontos de destaque é a área de materiais e dos modos de obtenção dos mesmos, sendo responsável por grande parte desta modernização da área. Neste livro são tratados alguns assuntos ligados diretamente a área de matérias, bem como os processos de transformação dos mesmos em produtos finais.

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 fabricação do mesmo.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a seleção, desenvolvimento e processos de obtenção e fabricação são apresentados nesse livro.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DAS LIGAS Al-3%Si E Al-9%Si ATRAVÉS DO PROCESSO “SQUEEZE-CASTING”, E A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA DUREZA, MACRO E MICROESTRUTURA	
<i>Diógenes Linard Aquino Freitas</i> <i>Cláudio Alves de Siqueira Filho</i> <i>José Joelson de Melo Santiago</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CEMENTANTES ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE MICRODUREZA VICKERS	
<i>Bernardo Rota</i> <i>Alisson Geovane Silva de Souza</i> <i>Annemarie Henker</i> <i>Daniel Amoretti Gonçalves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO USANDO O MÉTODO DO FIO QUENTE	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i> <i>Jefferson Gomes do Nascimento</i> <i>Luís Henrique da Silva Ignácio</i> <i>Vinicius Soares Medeiros</i> <i>Fernando Costa Malheiros</i> <i>Henrique Coelho Fernandes</i> <i>Gilmar Guimarães</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>27</b>
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFUIDOS TiO <sub>2</sub>	
<i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>David Fernando Marcucci Pico</i> <i>Alessandro Augusto Olimpio Ferreira Vittorino</i> <i>Enio Pedone Bandarra Filho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>35</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM INDENTADOR INSTRUMENTADO PARA MEDIÇÕES DE PROPRIEDADES ELÁSTICAS E PLÁSTICAS	
<i>Lucas dos Reis Heni Madeira</i> <i>Vinicius Carvalho Teles</i> <i>Washington Martins da Silva Junior</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 43**

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

*Marcelo Vitor Ferreira Machado*  
*José Brant de Campos*  
*Marilza Sampaio Aguilar*  
*Vitor Santos Ramos*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905046**

**CAPÍTULO 7 ..... 53**

PARAMETRIZAÇÃO DE TEXTURIZAÇÃO VIA MECT EM METAL PATENTE

*Túlio Alves Rodrigues*  
*Erika Michele Damas*  
*Gabriela Caixeta Alcarria*  
*Náthaly Nascimento Sousa*  
*Washington Martins da Silva Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905047**

**CAPÍTULO 8 ..... 59**

CORRELAÇÃO ENTRE DIFERENTES FORMAS DE AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE FERROS FUNDIDOS E SEU COEFICIENTE DE ATRITO

*Luiz Eduardo Rodrigues Vieira*  
*Guilherme de Oliveira Castanheira*  
*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*  
*Wisley Falco Sales*  
*Álisson Rocha Machado*  
*Wilson Luiz Guessser*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905048**

**CAPÍTULO 9 ..... 69**

MANUFATURA DE LIGA DE AL5%CU PELO PROCESSO DE METALURGIA DO PÓ

*André Pereira da Silva*  
*Juliano de Lemos Navarro*  
*Leonardo Almeida Lopes*  
*Felipe Antônio Viana de Araújo*  
*Gabriel Aires Honorato*  
*Sérgio Mateus Brandão*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905049**

**CAPÍTULO 10 ..... 85**

ANÁLISE DO FENÔMENO DAS BOLHAS EM SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA COM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

*Camilla Mara Mendonça*  
*Alexandre Queiroz Bracarense*  
*Douglas de Oliveira Santana*  
*Marcelo Teodoro Assunção*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050410**



<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>99</b>
O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Heitor Abdias da Silva Pereira</i>	
<i>Marcelo Cavalcanti Rodrigues</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>114</b>
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA USINAGEM COM AÇO INOXIDÁVEL	
<i>Gabriella Arruda Martins</i>	
<i>Lays Edinir da Cunha</i>	
<i>Luís Gustavo Moreira</i>	
<i>Mikael Henrique Morais</i>	
<i>Thomas Ernst de Goes Ferreira Kohler</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>123</b>
AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE $R_v$ DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Rosenda Valdés Arencibia</i>	
<i>Luciano José Arantes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>131</b>
INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE MICROFRESAS DE METAL DURO NA MICROUSINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205	
<i>Aline Gonçalves dos Santos</i>	
<i>Daniel Fernandes da Cunha</i>	
<i>Mayara Fernanda Pereira</i>	
<i>Bruno Souza Abrão</i>	
<i>Mark James Jackson</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>139</b>
GERAÇÃO E PARTIÇÃO DE CALOR EM USINAGEM POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO: UMA REVISÃO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>153</b>
GERAÇÃO DE CALOR NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Guilherme Henrique Alves Andrade</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	

**DOI 10.22533/at.ed.48719050416**

**CAPÍTULO 17 ..... 168**

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE USINAGEM EM AÇOS DE CORTE FÁCIL POR MEIO DO MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA- PEÇA

*Ivanilson Sousa da Costa*

*Márcio Bacci da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050417**

**CAPÍTULO 18 ..... 177**

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA NO PROCESSO DE FRESAMENTO UTILIZANDO SENSORES POR EFEITO HALL

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Kenji Fabiano Ávila Okada*

*Gabriel Marçal de Carvalho*

*Eder Silva Costa*

*Álisson Rocha Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050418**

**CAPÍTULO 19 ..... 187**

INFLUÊNCIA DE VÁRIOS PARÂMETROS OPERACIONAIS EM RETIFICAÇÃO NO ACABAMENTO E NA TEXTURA DA SUPERFÍCIE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

*Bruno Souza Abrão*

*Mayara Fernanda Pereira*

*Mariana Landim Silveira Lima*

*Eduardo Carlos Bianchi*

*Rosemar Batista da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050419**

**CAPÍTULO 20 ..... 193**

INFLUÊNCIA DA PENETRAÇÃO DE TRABALHO E VELOCIDADE DA PEÇA NO ACABAMENTO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE SIC

*Lurian Souza Vieira da Silva*

*Rosemar Batista da Silva*

*Mariana Landim Silveira Lima*

*Deborah de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050420**

**CAPÍTULO 21 ..... 202**

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM DO BRUNIMENTO FLEXÍVEL NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

*Leandro Carvalho Pereira*

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Rosenda Valdés Arencibia*

*Luciano José Arantes*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050421**



**CAPÍTULO 22 ..... 210**

**USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO**

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Leandro Carvalho Pereira*

*Henara Lilian Costa*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050422**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 219**

## MANUFATURA DE LIGA DE AL5%CU PELO PROCESSO DE METALURGIA DO PÓ

### **André Pereira da Silva**

Centro Universitário UniEvangélica –  
UniEvangélica  
Anápolis – GO

### **Juliano de Lemos Navarro**

Centro Universitário UniEvangélica –  
UniEvangélica  
Anápolis - GO

### **Leonardo Almeida Lopes**

Centro Universitário UniEvangélica –  
UniEvangélica  
Anápolis - GO

### **Felipe Antônio Viana de Araújo**

Centro Universitário UniEvangélica –  
UniEvangélica  
Anápolis - GO

### **Gabriel Aires Honorato**

Centro Universitário UniEvangélica –  
UniEvangélica  
Anápolis – GO

### **Sérgio Mateus Brandão**

Centro Universitário UniEvangélica –  
UniEvangélica  
Anápolis - GO

dos processos metalúrgicos convencionais na fabricação de peças sem a necessidade de atingir o ponto de fusão do material. As etapas do processo se resumem a fabricação da matriz, mistura do pó, compactação por compressão e sinterização. É um método aplicado em vários setores do ramo industrial, principalmente o automobilístico para a fabricação de peças pequenas com alto acabamento superficial e com propriedades mecânicas satisfatórias para tal setor. O objetivo do trabalho é realizar o estudo de corpos de provas de Al5%Cu obtidos pelo processo de metalurgia do pó, buscando compreender como suas etapas funcionam e como fatores de compressão e tempo de mistura influenciam no produto final, verificando sempre a microestrutura da liga, dureza e densidade do material. O processo experimental partiu da separação do pó para cada linha de pesquisa e feita a mistura de tal em tempos de trinta minutos, uma hora e duas horas. Nesse sentido, foi feita a compactação em 2 e 3tf (toneladas forças), para então realizar a sinterização a 600°C por uma hora. A caracterização das amostras foi realizada por testes de durezas, estudos metalográficos e cálculos de densidades. Os resultados comprovam que a mistura de uma hora apresentou uma melhor relação de custo, tempo e propriedades mecânicas satisfatórias, cujo apresenta uma melhor homogeneidade no composto em relação a mistura de trinta

**RESUMO:** A Metalurgia do Pó é o processo metalúrgico de fabricação de peças metálicas, não metálicas e cerâmicas, na qual se diferencia

minutos e uma densidade mais próxima do metal base, alumínio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processo Metalúrgico. Compactação. Sinterização.

**ABSTRACT:** Powder Metallurgy is the metallurgical process of manufacturing metallic, nonmetallic and ceramic pieces, in which it differs from conventional metallurgical processes in the manufacture of parts without having to reach the melting point of the material. As phases of the production process, the powder mixture, compression compaction and sintering. It is a method that operates in several sectors of the industrial branch, mainly the automobile industry for the manufacture of small parts with high surface finish and with mechanical characteristics satisfactory for the sector. The objective of this work is to perform the study of its loops in function of the performance and how the factors of pressure and class time influenced the final result, always verifying the microstructure of the alloy, hardness and the density of the material. The experiment started with the separation of the powder for each line of research and a mixture of thirty minutes, one hour and two hours was made. In this sense, a compression was done in 2 and 3tf (tons forces), then sintered at 600°C for one hour. The characterization of the samples was performed by hardness tests, results studies and density calculations. The results showed that the one hour mixture presented a better cost, time and satisfactory mechanical characteristics, which presents a better homogeneity in relation to a mixture of time and a new base near metal, aluminum.

**KEYWORDS:** Powder metallurgy. Compression. Sintering

## 1 | INTRODUÇÃO

A Metalurgia do Pó é o processo de conformação em que se utiliza a mistura heterogênea de pó metálico com o intuito de se obter peças com propriedades mecânicas ideais e um acabamento superficial excelente. Apesar da metalurgia do pó ser considerada um processo recente, há indícios de que tal técnica foi empregada há cerca de 6000 anos a.C em peças de ferro ou de metais preciosos como em espadas e lanças, na qual são obtidas pela união de partículas metálicas incandescentes por martelamento. Contudo, somente no século XIX surgem as primeiras notícias a respeito de Metalurgia do Pó utilizado na fabricação de peças com metais de alto ponto de fusão, cujo na época não se possuía meios suficientes para a fusão desses metais (CHIAVERINI, 1992).

A partir desse momento houve contribuições em várias áreas do setor industrial a respeito de tal técnica, como por exemplo, em 1829 Wollaston deu ao público um processo para produzir platina compactada a partir do pó desse metal. Na primeira metade do século XIX Townsend obtinha amálgamas – metálicos, utilizando uma mistura de pós de ouro, prata e estanho como mercúrio. Entretanto, somente no início deste século, Coolidge forneceu para o setor industrial a mais importante contribuição em relação a metalurgia do pó, cujo em 1910 desenvolveu um processo de fabricação

de fios de tungstênio dúcteis, para o emprego em lâmpadas incandescentes, a partir de seu pó, uma vez que o seu ponto de fusão é de 3410°C impossibilitando, na época, a sua obtenção por métodos de metalurgia convencionais (CHIAVERINI, 1992).

Na década de 1930 e principalmente após a Segunda Guerra Mundial, há a expansão da utilização do pó de ferro na fabricação de componentes mecânicos. Na qual, as indústrias automobilísticas e mecânicas foram as principais responsáveis pela utilização de tal método, sempre sob o ponto de vista de custo, velocidade de fabricação e qualidade (CHIAVERINI, 1992).

### **1.1 Características e Limitações**

Em algumas situações a metalurgia do pó têm-se a possibilidade de obter características especiais, como controle de propriedades (filtros metálicos), associação de diferentes metais com a preservação das características de cada componente (contatos elétricos de tungstênio-prata), associação de metais com materiais não-metálicos (discos e materiais de fricção), eliminação de qualquer excesso de material na forma de rebarbas, além de exercer rigoroso controle sobre o produto acabado, em vista da capacidade de partir-se de metais extremamente puros (CHIAVERINI, 1992).

O processo de metalurgia do pó é um método que é apenas justificado para a fabricação de grandes lotes, uma vez que apresenta elevado custo ferramental em relação as matrizes e componentes de compactação, principalmente quando as peças apresentam uma geometria complexa. Outra importante limitação em relação a tal técnica é em comparação a dimensão das peças, contudo é uma característica que está sendo superada por meios de compactação mais avançados como isostáticas ou a quente (PIECZONKA *et. al*, 2005). Além disso, tal fator estar relacionado diretamente com os equipamentos, já que para fabricar peças grandes é necessário prensas mais complexa, logo isso aumenta o custo de fabricação (CHIAVERINI, 1992).

### **1.2 Etapas do Processo**

A Metalurgia do Pó tem como objetivo de transformar sem fusão efetiva, pós metálicos ou não metálicos utilizando pressão para compactação e calor, por meio de um tratamento térmico de sinterização, na qual se realiza a uma temperatura inferior à do ponto de fusão do material base (SANDEROW, 1998).

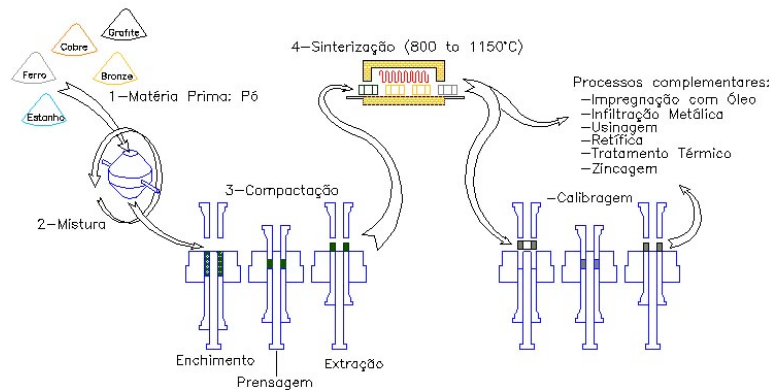


Figura 1. Processo de Metalurgia do Pó.

O processo de fabricação de peças mecânicas por metalurgia do pó é dividido em três etapas fundamentais como a mistura e homogeneização, moldagem ou compactação e o aquecimento ou sinterização, como mostra a Fig. 1. São etapas que apresentam como parâmetro de controle, principalmente, a temperatura, a carga de compressão e tempo de mistura (GOMES DE BRITO *et. al*, 2007).

A mistura e homogeneização é uma operação que aumenta o contato entre as partículas. O resultado depende do tamanho e da forma das partículas. Na qual, quanto maior a uniformidade do tamanho da partícula do material a ser misturado ou homogeneizado, maior a possibilidade de obterem-se resultados uniformes e consistentes. Contudo, partículas maiores apresentam forte tendência de segregar. Logo, se possível, a eliminação dessas partículas maiores dever ser realizada (CHIAVERINI, 1992).

O processo de mistura conta com a adição de um agente lubrificante ao composto, que possui como função diminuir o atrito das partículas de pó entre si e o atrito destas com o ferramental de compactação, cujo facilita a remoção das peças (SALGADO, 2002). Os lubrificantes mais comuns são ácido esteárico, estearato de zinco, estearato de lítio e ceras sintéticas, em que a temperatura de “queima” de tais elementos é feita em torno de 370, 425 e 480°C, respectivamente (CHIAVERINI, 1992).

Existem dois principais aparelhos para ser feito essa mistura. O aparelho duplo cone que trabalha com carga em 50% do seu volume e rotação contínua no eixo horizontal, misturando o pó com pequena ou nenhuma modificação do tamanho e da forma das partículas individuais. Já o misturador em V, que mantém a carga em 60% do seu volume, da qual provoca uma leve modificação na forma e na densidade das partículas (CHIAVERINI, 1992).

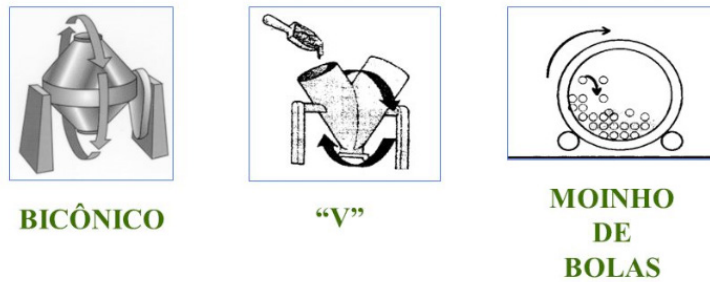


Figura 2. Misturador bicônico, em V e cilíndrico.

O processo de compactação é dado pela aplicação de pressão uniaxial ou biaxial nos pó, à temperatura ambiente, no interior da matriz, na qual a cavidade corresponde normalmente à forma e dimensão da peça final (SALGADO, 2002). Os objetivos principais desta etapa são: conforma o pó na forma projetada; conferir as dimensões finais, levando em conta as possíveis alterações dimensionais que possam ocorrer durante a sinterização; conferir a adequada densidade ao compactado; conferir a resistência mecânica necessária para o manuseio posterior; proporcionar o necessário contato entre as partículas de pó, para que a operação de sinterização seja efetuada de modo mais eficiente (CHIAVERINI, 1992).

Entre os diversos tipos de compressão os mais importantes para a metalurgia do pó são: compressão em matrizes rígidas, compressão isostática, compressão por laminação de pós (conformação de chapas e tiras) e extrusão de pós metálicos (CHIAVERINI, 1992).

A sinterização é a etapa em que consiste no aquecimento dos compactos verdes, obtidos na operação de compactação, à temperatura elevadas, porém abaixo do ponto de fusão do metal ou do principal constituinte da liga metálica considerada, sob condições controladas de tempo, temperatura e meio ambiente (PIECZONKA *et. al*, 2005). Como resultado, as partículas que constituem o compacto ligam-se entre si e o material adquire as características desejadas de densidade, dureza e resistência mecânica (CHIAVERINI, 1992).

Nesse sentido, a temperatura ideal para a sinterização é da ordem  $2/3$  a  $3/4$  da temperatura de fusão da liga considerada. O ferro, por exemplo, a sua temperatura de sinterização varia de  $1000$  a  $1200^{\circ}\text{C}$ . Outro fator importante é que tal operação depende do ambiente, de modo que o rigoroso controle de tal impede que aconteçam fenômenos indesejáveis durante o processo. De tal modo, é necessário empregar uma atmosférica protetora que tem como objetivo: evitar ou minimizar qualquer reação química entre o compacto verde com o meio, evitando a oxidação; remover impurezas presentes, principalmente películas de óxidos existentes não só na superfície como igualmente no interior da peça, devido sua porosidade intrínseca; fornecer, eventualmente, um ou mais elementos químicos para se ligarem com o metal do compacto (CHIAVERINI,

1992).

O tempo e temperatura de sinterização para alguns materiais são observados na tabela da Fig. 3. Vale lembrar, que as atmosféricas protetoras podem ainda manter uma condição de equilíbrio, de modo a evitar que se perca algum elemento de liga presente no compactado. Portanto, ambas as operações da consolidação dos pós podem ser realizadas simultaneamente, mediante a aplicação da técnica relativamente recente de “compactação a quente” (CHIAVERINI, 1992).

Tabela 6.2 Temperaturas e tempos de sinterização típicos		
Material	Temperatura (°C)	Tempo em minutos
Alumínio	600 – 630	10-30
Bronze	780 – 840	10-20
Cobre	850 – 900	10-40
Latão	850 – 900	10-40
Níquel	1.000 – 1.150	30-50
Aço Inox	1.050 – 1.250	30-60
Ferro, ferro + grafita	1.000 – 1.150	10-40

Figura 3. Tabela de tempo e temperatura de sinterização.

Portanto, o objetivo do trabalho é realizar o estudo de corpos de provas de Al5%Cu obtidos pelo processo metalurgia do pó, buscando compreender como suas etapas funciona e como fatores de compressão e tempo de mistura influenciam no produto final, verificando sempre a microestrutura da liga, dureza e a densidade do material.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Materiais Utilizados

- Pó de alumínio;
- Pó de cobre;
- Matriz cilíndrica 30 X 39,95 mm;
- Prensa Hidráulica (60 tf);
- Estearato de zinco;
- Misturador cilíndrico; Água destilada;
- Cadinho de cerâmica; Balança de precisão;
- Forno Mufla; Proveta;
- Microscópio Metalógrafo; Lixivia de Solda;
- Lixa de número 240, 320, 400, 600, 1200 e 2500;
- Alumina 1, 0,3 e 0,05 ;



## 2.2 Procedimento Experimental

Foi definido com base nas dimensões da matriz 30 X 39,95mm e um diâmetro interno de 13,20mm, o peso total de cada amostra em 3,1387g. Para atender a produção da liga proposta de Al5%Cu, foram pesados em balança analítica de precisão doze amostras, cujo foram divididos em três tempos de mistura, duas cargas de compactação para cada tempo e, por fim, em uma temperatura de sinterização. O objetivo da conformação de uma grande quantidade de corpos de provas é analisar, posteriormente, a dureza Rockwell de cada linha de experimento buscando verificar o maior número possível de dados para determinar uma média ideal.

Vale lembrar que o cálculo para determinar o peso de cada amostra partiu do conceito de densidade aparente, de modo que a base dos dados partiu do metal principal, o alumínio. Com o peso de cada peça, foi feita a separação dos pós para cada linha de experimento. Na qual, com o intuito de diminuir o atrito entre os componentes do ferramental de compactação, utilizou-se um adicional de 2% de estearato de zinco da massa total da mistura.

O procedimento de mistura foi realizado em um misturador cilíndrico, em que os tempos de misturas se dividiram em trinta minutos, uma hora e duas horas. Logo, em cada mistura foi verificado por meio de cálculos, a densidade aparente dos seus respectivos corpos de provas.

Portanto, com cada mistura realizada, foi feito a separação do pó para cada amostra de cada linha de ensaio e feito a compactação a frio com duas cargas diferentes 2 e 3tf, para cada tempo de mistura, utilizando uma prensa hidráulica de 60tf e uma matriz cilíndrica 30 X 39,95 mm. Com as peças compactadas foi realizado o estudo da densidade verde de cada peça ( $Dv$ ), que é representada pela Eq. 2, cujo volume do compactado ( $Vc$ ) foi apurado medindo cada amostra e a massa do compactado ( $mc$ ) foi analisada através da balança de precisão.

Nesse sentido, na terceira e última etapa do processo de Metalurgia do Pó foi feita o procedimento de sinterização. Durante essa fase as amostras foram posicionadas em um forno mufla de resistência (Quimis). O aquecimento da amostra iniciou-se em 54°C aumentando gradativamente em uma taxa de 22°C/min, até atingir a temperatura de “queima” do lubrificante de 450°C, permanecendo nessa temperatura por trinta minutos. Logo em seguida o aquecimento aumentou-se em uma taxa de 13,64°C/min até atingir a temperatura de sinterização de 600°C permanecendo por uma hora em tal temperatura. Por fim, as amostras permaneceram dentro do forno (desligado) buscando um resfriamento mais homogêneo e lento, de modo que os corpos de provas resfriaram em uma taxa de 1,91°C/min até alcançar a temperatura ambiente (25°C).

Para determinar a densidade de sinterização ( $Ds$ ) representada pela Eq. 3, foi usado o Princípio de Arquimedes, na qual os corpos de provas foram pesados e mergulhados em uma proveta com água destilada verificando assim o volume que cada amostra apresenta ( $Vs$ ). Por fim, tal densidade é calculada em função do volume

obtido e a massa da peça sinterizada ( $ms$ ).

Para a realização dos estudos metalográficos por meio de microscopia óptica, as amostras foram submetidas em uma sequência de lixas com granulometria de números 240, 320, 400, 600, 1200 e 2500. Para o polimento das peças foi utilizado alumina de 1, 0,3 e 0,05 , seguido por uma limpeza de água corrente e álcool. Já no ataque químico foi utilizado lixívia de solda, cujo permaneceu sobre o corpo de prova por 5 a 10 segundos.

Além do estudo da microestrutura das amostras, foi feito uma análise do MEV dos pós de alumínio e cobre, na qual foram avaliados no MEV/EDS, modelo JSM 7100 F, da Universidade de Brasília (UnB).

Portanto, ao final do experimento, foi feito o estudo de como o tempo de mistura e a carga de compressão para compactação podem afetar as propriedades mecânicas do produto final em um processo de metalurgia do pó. Verificou-se a dureza Rockwell de cada corpo de prova e determinando graficamente a relação destas durezas com a carga de compressão.

### 2.3 Equações Governantes

As equações usadas em todo o experimento foram divididas entre densidade aparente ( $Da$ ), densidade verde ( $Dv$ ), densidade de sinterização ( $Ds$ ) e pressão ( $P$ ).

$$Da = m / V \quad (1)$$

$$Dv = mc / Vv \quad (2)$$

$$Ds = ms / Vs \quad (3)$$

$$P = F / A \quad (4)$$

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 pode-se observar a separação e identificação de cada pó utilizado durante todo o experimento, na qual foram armazenados em recipientes plásticos para facilitar o manuseio.

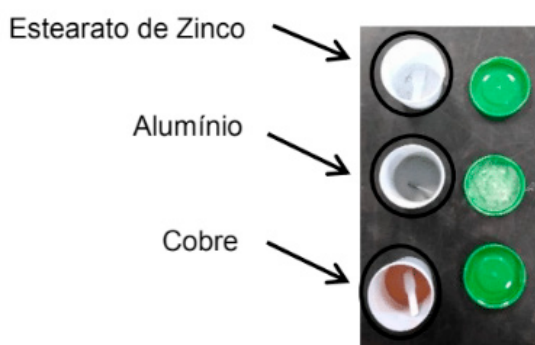


Figura 4. Pó de alumínio, cobre e estearato de zinco.

Para separa o pó de cada elemento foi feito um cálculo básico com o intuito de separa os 95% de alumínio, 5% de cobre e um adicional de 2% de estearato de zinco para cada mistura. Nesse sentido cada mistura deveria possuir 11,6933g de alumínio 0,61544g de cobre e um adicional de 0,2461 g de estearato de zinco. A Tab. 1 mostra o peso experimental de cada mistura (m) que será usado na Eq. 1.

Material	Tempo 30min	Tempo 1h	Tempo 2h
Alumínio (95%)	11,6966	11,6952	11,6964
Cobre (5%)	0,6185	0,6204	0,61826
Estearato de Zinco (5%)	0,2475	0,2476	0,2482

Tabela 1. Peso de cada material (g)

Fonte: Autores.

Após a mistura de cada linha de pesquisa foi verificado a densidade aparente, através da Eq. 1, de cada amostra e feito uma média como mostra a tabela Tab. 2. O volume ( $V$ ) para o cálculo parte das dimensões da cavidade da matriz representada na Fig. 5, na qual possui um valor de  $3,2980\text{cm}^3$ .

Tempo de Mistura	Densidade Aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Tempo de 30 min	0,9406
Tempo de 1 hora	0,9508
Tempo de 2 horas	0,9514

Tabela 2. Densidade aparente média de cada mistura

Fonte: Autores.

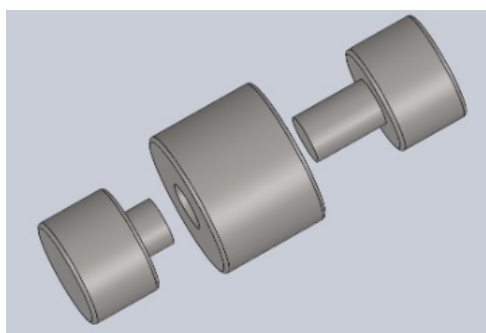


Figura 5. Matriz cilíndrica.

Na Figura 6 é possível observar como ficou as amostras após a compactação em cargas de 2 e 3 tf. Tais cargas foram determinadas de acordo com a Eq. 4, na qual a pressão ( $P$ ) foi determinada de acordo com Vicente Chiaverini (1992), valendo  $0,7\text{ tf}/\text{cm}^2$ . Já a área ( $A$ ) foi apurada pela seção da cavidade da matriz.



Figura 6. Amostras compactadas.

Após a compactação determinou-se a densidade verde dos corpos de provas medindo cada amostra e verificando seus pesos, como mostra a Tab. 3, Tab. 4 e Tab. 5.

Pressão de compressão	3 tf		2 tf	
Massa (g)	2,7356	2,8359	2,6343	2,9129
Diâmetro (mm)	13,3	13,3	13,4	13,3
Altura (mm)	8,4	8,6	8,3	9,1
Volume (cm <sup>3</sup> )	1,167	1,1948	1,1705	1,2642
Densidade verde (g/cm <sup>3</sup> )	2,3441	2,3735	2,2505	2,304

Tabela 3. Densidade Verde da mistura de 30 minutos

Fonte: Autores.

Pressão de compressão	3 tf		2 tf	
Massa (g)	3,0045	3,0157	2,9919	2,9607
Diâmetro (mm)	13,4	13,3	13,4	13,4
Altura (mm)	8,6	9,1	9,2	9,1
Volume (cm <sup>3</sup> )	1,2128	1,2642	1,2974	1,2833
Densidade verde (g/cm <sup>3</sup> )	2,4773	2,3853	2,306	2,307

Tabela 4. Densidade Verde da mistura de 1 hora

Fonte: Autores.

Pressão de compressão	3 tf		2 tf	
Massa (g)	3,3599	3,3236	3,1516	2,9743
Diâmetro (mm)	13,3	13,3	13,4	13,3
Altura (mm)	9,9	9,8	9,7	9,1
Volume (cm <sup>3</sup> )	1,3754	1,3615	1,3679	1,2642
Densidade verde (g/cm <sup>3</sup> )	2,4429	2,4411	2,3038	2,3536

Tabela 5. Densidade Verde da mistura de 2 horas

Fonte: Autores.

Com a densidade verde de cada amostra determinou-se sua relação com a

carga de compressão, como apresenta a Fig. 7.

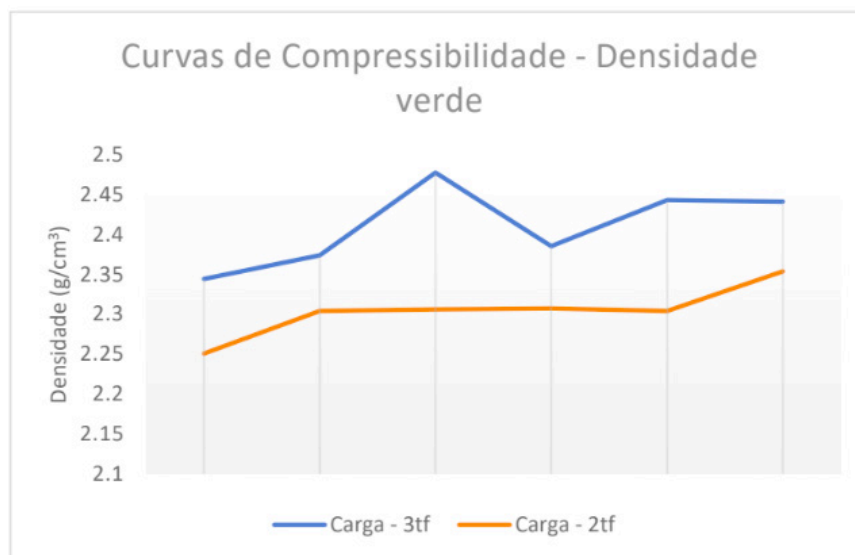


Figura 7. Gráfico das curvas de compressibilidade da densidade verde.

Ao avaliar a Fig. 7 verificou-se que a medida que se aumenta a carga de compressão para a compactação ocorre um aumento significativo em várias amostras da densidade do compactado. Após a compactação os corpos de provas foram levados para sinterização passando por um processo esquematizado na Fig. 8.



Figura 8. Gráfico esquemático do processo de sinterização.

Com as amostras sinterizadas foi possível pesar, determinar o volume e a densidade de sinterização ( $D_s$ ) de cada peça, como é exibido na Tab. 6, Tab. 7 e Tab. 8.

Pressão de compressão	3 tf		2 tf	
Massa (g)	2,7452	2,8407	2,6375	2,9076
Volume (cm <sup>3</sup> )	1	1	1	1,1
$D_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,7452	2,8407	2,6375	2,6433

Tabela 6. Densidade de sinterização da mistura de 30 min

Fonte: Autores.

Pressão de compressão	3 tf		2 tf	
Massa (g)	2,9945	3,0182	2,9897	2,9682
Volume (cm <sup>3</sup> )	1,1	1,2	1,2	1,1
Ds (g/cm <sup>3</sup> )	2,7223	2,5152	2,4914	2,6984

Tabela 7. Densidade de sinterização da mistura de 1 h

Fonte: Autores.

Pressão de compressão	3 tf		2 tf	
Massa (g)	3,3589	3,3302	3,1597	2,9432
Volume (cm <sup>3</sup> )	1,3	1,3	1,2	1
Ds (g/cm <sup>3</sup> )	2,5838	2,5617	2,6331	2,9432

Tabela 8. Densidade de sinterização da mistura de 2 h

Fonte: Autores.

A Figura 9 expõe a relação da densidade verde das amostras com a densidade de sinterização do composto de Al 5%Cu.

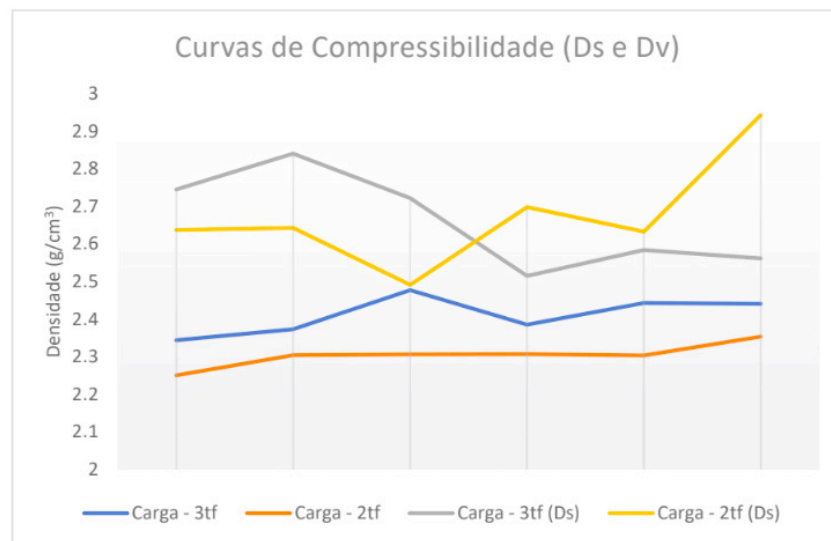


Figura 9. Gráfico das curvas de compressibilidade da densidade verde e de sinterização.

Ao examinar a Fig. 9, verificou-se que cada corpo de prova apresentou um aumento de densidade em relação a verde para a de sinterização. É possível estudar a comparação da densidade de cada amostra com a densidade do material base (alumínio), que chega a 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Nesse sentido, as amostras compactadas com 3tf apresentaram maior aproximação com tal densidade. Na Tab. 9 são proporcionados os valores médios de dureza Rockwell para cada amostra.

Pressão de compressão	3 tf		2 tf	
Tempo de 30 min	56,3	51,8	58,2	57,9
Tempo de 1 hora	61,3	59,6	42,6	41,8

Tabela 9. Dureza Rockwell (HRB)

Fonte: Autores.

A Figura 10 apresenta a relação da dureza Rockwell com cada carga de compactação.

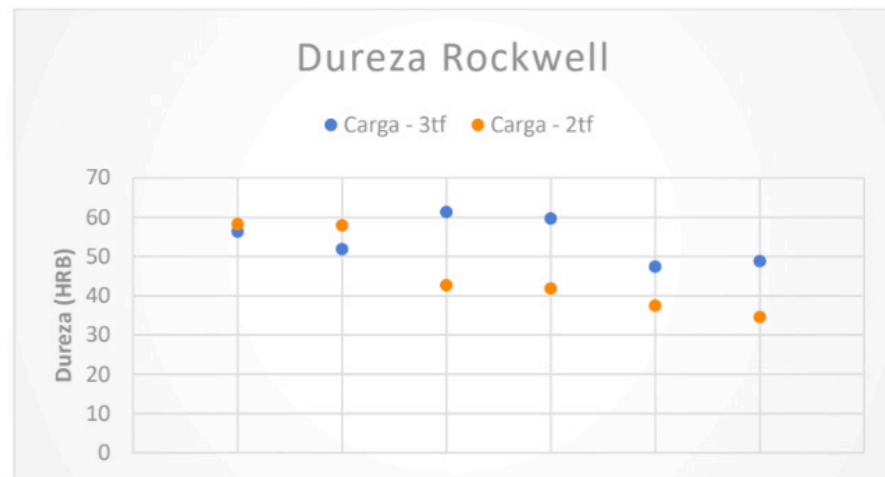


Figura 10. Gráfico da Dureza Rockwell.

Ao realizar o estudo da Fig. 10, examinou-se que a maioria das amostras que apresentaram maior dureza foram as compactadas em 3tf, na qual possui um aumento significativo em relação as amostras compactadas em 2tf. A exceção está correlacionada com a presença de alguns defeitos na amostra, como o aparecimento de uma maior quantidade de poros na estrutura das amostras.

Na Figura 11 observa-se o MEV dos pós de alumínio e cobre, na qual foram analisados no MEV/EDS, modelo JSM 7100 F, da Universidade de Brasília (UnB).



Figura 11. Análise do MEV do pó de alumínio (a) e cobre (b).

A Figura 12 representa a microestrutura da amostra de trinta minutos de mistura. Ao observar todas as amostras concluiu-se que houve uma maior concentração de cobre em todo o centro da peça, cujo apresentam uma partícula maior em relação às outras misturas. Também se analisou que as peças de tal mistura exibiram um maior número de poros, principalmente as que foram compactadas com 2tf.



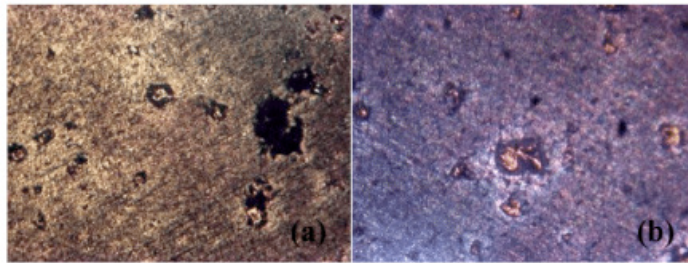


Figura 12. Micrografia das amostras de trinta minutos de mistura (Escala – 13,11 ) em 3 tf (a) e em 2 tf (b).

Nesse sentido, a Fig. 13 mostra como ficou a microestrutura da amostra de uma hora de mistura. Ao todo, o cobre apresentou uma distribuição pelo o alumínio satisfatório, além do tamanho de suas partículas não variarem em todo o composto.

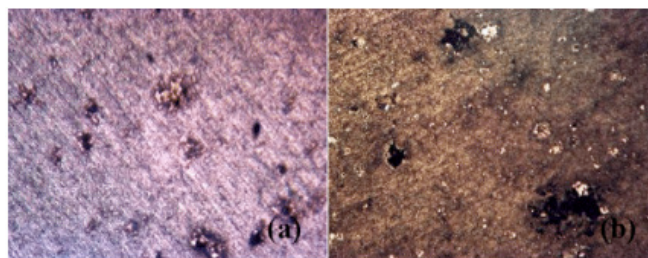


Figura 13. Micrografia das amostras de uma hora de mistura (Escala – 13,11 ) em 3 tf (a) e em 2 tf (b).

Contudo, as amostras da linha de pesquisa de duas horas de mistura, representadas pela Fig. 14, apresentaram ao todo a mesma homogeneidade da mistura de uma hora, de modo que o cobre também não variou, em grande escala, o tamanho de suas partículas.

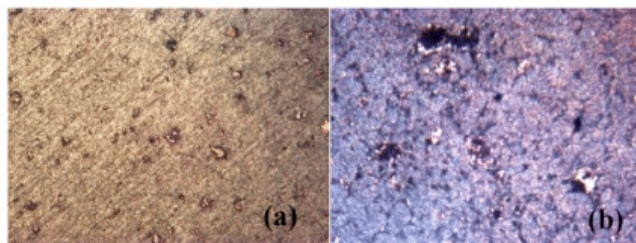


Figura 14. Micrografia das amostras de duas horas de mistura (Escala – 13,11 ) em 3 tf (a) e em 2 tf (b).

A Figura 15 proporciona o nível de porosidade da peça em uma mistura de trinta minutos, na qual apresenta uma grande quantidade de poros em toda estrutura do composto com partículas muito grandes. Tal defeito está correlacionado com a densificação do material, além de segundo Pieczonka *et. al.* (2005) o aparecimento de uma camada de óxido nas partículas de alumínio, na qual atuam como um quesito negativo a sinterização e conseqüentemente a densificação do compactado.

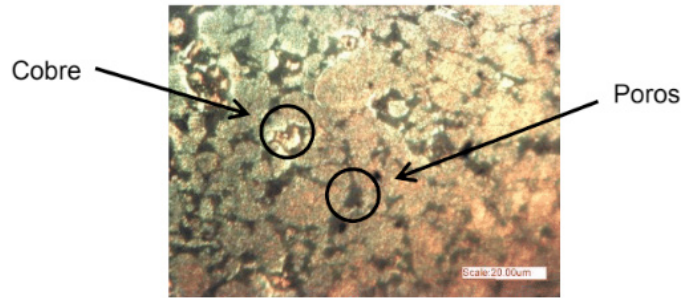


Figura 15. Micrografia da amostra de trinta minutos de mistura (Escala – 13,11 ).

#### 4 | CONCLUSÃO

O trabalho avaliou o comportamento da liga de alumínio com 5% de cobre, apresentando a influência do tempo de mistura e carga de compressão sobre o produto final em um processo de Metalurgia do Pó. Foi constatado que em relação ao tempo de mistura, as amostras de uma hora e duas horas proporcionaram uma maior homogeneidade do cobre sobre o alumínio, além de partículas de cobre menores em todo o composto. Contudo, observou-se que a diferença de propriedades e homogeneidade, entre as peças das linhas de pesquisa de uma hora e duas horas, foi mínima, na qual chegaram ao ponto de apresentarem aproximadamente a mesma distribuição de cobre. Logo, com o intuito de economizar tempo e gastos em um processo de Metalurgia do Pó em tal composto, foi determinado que a mistura de uma hora mostrasse suficiente para se obter peças com características satisfatórias.

Em relação à dureza do material avaliou-se, que as amostras no tempo de trinta minutos apresentaram uma maior dureza no centro da peça, característica atribuída pela maior concentração de cobre no centro das amostras, além de possuírem partículas maiores de tal elemento. Diferentemente das peças de uma hora e duas horas que proporcionaram uma variação de dureza mínima, do centro para as bordas.

A densidade na maioria das amostras aumentou 11,6% da densidade verde para a densidade de sinterização, na qual em algumas peças o nível de porosidade em sua composição acabou que influenciando em tal fator. Ao analisar a microestrutura do composto de cada amostra observou-se que os corpos de provas compactados com 2tf obtiveram maior números de poros em sua estrutura, além de tal problema possuírem partículas muito grandes, como mostrou a Fig. 15.

Portanto, foi concluído que o tempo de uma hora foi o que mais aproximou uma relação decente entre custo de fabricação, tempo e propriedade mecânicas satisfatórias.

#### REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, Vicente. **Metalurgia do pó**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2001.

GOMES DE BRITO, F.; MEDEIROS, Katarine F.; MAGNER LOURENÇO, Jorge. **Um estudo teórico sobre a sinterização na metalurgia do pó**. Holos, v. 3, 2007.

SALGADO, Lúcio et al. **Processamento da liga Ferro-Níquel-Cobre-Molibdênio por moagem de alta energia**. Seminário para tese de Doutorado, Instituto de Pesquisa Energéticas Nucleares, São Paulo-SP, 2002.

SANDEROW, H. Management & Engineering Technologies. **Powder Metallurgy Methods and Design. ASM Metals Handbook v7-Powder Metal Technologies and Applications. ASM International**,, p. 23-24, 1998.

PIECZONKA, T. et al. **Sintering behaviour of aluminium in different atmospheres**. In: **Proceedings of the Conference 'Sintering'0**. 2005. p. 331-334.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor 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 do 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 978-85-7247-248-7

