

# A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala**  
(Organizadora)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2019

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)

# A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

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)

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-244-9

DOI 10.22533/at.ed.449190404

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.0072

**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](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

O conhecimento científico é extremamente importante na vida do ser humano e da sociedade, pois possibilita entender como as coisas funcionam ao invés de apenas aceita-las passivamente. Mediante o conhecimento científico é possível provar muitas coisas, já que busca a veracidade através da comprovação.

Sendo produzido pela investigação científica através de seus procedimentos, surge da necessidade de encontrar soluções para problemas de ordem prática da vida diária e para fornecer explicações sistemáticas que possam ser testadas e criticadas através de provas. Por meio dessa investigação, obtêm-se enunciados, leis, teorias que explicam a ocorrência de fatos e fenômenos associados a um determinado problema, sendo possível assim encontrar soluções ou, até mesmo, construir novas leis e teorias.

Possibilitar o acesso ao conhecimento científico é de suma importância para a evolução da sociedade e do ser humano em si, pois através dele adquirem-se novos pontos de vista, conceitos, técnicas, procedimentos e ferramentas, proporcionando o avanço na construção do saber em uma área do conhecimento.

Na engenharia evidencia-se a relevância do conhecimento científico, pois o seu desenvolvimento está diretamente relacionado com o progresso e disseminação deste conhecimento.

Neste sentido, este E-book, composto por dois volumes, possibilita o acesso as mais recentes pesquisas desenvolvidas na área de Engenharia, demonstrando a importância do conhecimento científico para a transformação social e tecnológica da sociedade.

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DESENVOLVIMENTO DE ARCABOUÇOS DE PLGA E PLDLA COM POROS INTERCONECTADOS DIRECIONADOS PARA ENSAIOS DE CULTURA DE CÉLULAS ÓSSEAS	
Joelen Osmari Silva Anna Maria Gouvea Melero Juliana Almeida Domingues Adriana Motta de Menezes Moema de Alencar Hausen Daniel Komatsu Vagner Roberto Botaro Eliana Aparecida de Rezende Duek	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
ENSAIOS IN VITRO E IN VIVO DE <i>SCAFFOLDS</i> DE PLGA INCORPORADOS COM ÓLEO-RESINA DO GÊNERO COPAIFERA SSP. PARA REPARAÇÃO DE TECIDOS	
Ana Luiza Garcia Massaguer Millás João Vinícios Wirbitzki da Silveira Rodrigo Barbosa de Souza Maria Beatriz Puzzi Edison Bittencourt Ivan Hong Jun Koh	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
MEMBRANAS MICROFIBROSAS DE POLI (L-ÁCIDO LÁCTICO) (PLLA) PARA REPARO ÓSSEO	
Bárbara Etruri Ciocca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>32</b>
ESTUDO DO POTENCIAL MICROBIOLÓGICO DE NANOCRISTAIS HÍBRIDOS DE ZnO DOPADOS COM AgO	
Ellen Quirino de Sousa Lucas do Nascimento Tavares Caio César Dias Resende Lorraine Braga Ferreira Carlos José Soares Anielle Christine Almeida Silva Luís Ricardo Goulart Filho Letícia de Souza Castro Filice	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>42</b>
PROCESSAMENTO DE LIGAS Mg-Zn-Ca PARA USO EM IMPLANTES CIRÚRGICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE METALURGIA DO PÓ	
Jorge Alberto de Medeiros Carvalho José Adilson Castro Alexandre Antunes Ribeiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4491904045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 54**

“VIABILIDADE DO USO DE CASCAS DE OVOS NA SÍNTESE DA HIDROXIAPATITA UTILIZANDO O MÉTODO SOL-GEL

Marilza Sampaio Aguilar  
José Brant de Campos  
Marcelo Vitor Ferreira Machado  
Francisco José Moura  
Suzana Bottega Peripolli  
Vitor Santos Ramos  
Adilson Claudio Quizunda  
Marla Karolyne dos Santos Horta

**DOI 10.22533/at.ed.4491904046**

**CAPÍTULO 7 ..... 63**

ESTUDO DA VELOCIDADE DE ADIÇÃO DOS REAGENTES NA SÍNTESE DE HIDROXIAPATITA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCAS DE OVOS DE GALINHA COMO PRECURSORES

Marilza Sampaio Aguilar  
José Brant de Campos  
Marcelo Vitor Ferreira Machado  
Francisco José Moura  
Suzana Bottega Peripolli  
Vitor Santos Ramos  
Adilson Claudio Quizunda  
Marla Karolyne dos Santos Horta

**DOI 10.22533/at.ed.4491904047**

**CAPÍTULO 8 ..... 70**

MEDIDAS DE MICRODUREZA VICKERS EM HIDROXIAPATITA SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO A CASCA DO OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marilza Sampaio Aguilar  
José Brant de Campos  
Marcelo Vitor Ferreira Machado  
Francisco José Moura  
Suzana Bottega Peripolli  
Vitor Santos Ramos  
Adilson Claudio Quizunda  
Marla Karolyne dos Santos Horta

**DOI 10.22533/at.ed.4491904048**

**CAPÍTULO 9 ..... 86**

ESTUDO TEÓRICO E EXPERIMENTAL DE CORROSÃO DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS ÀS AÇÕES DE CLORETOS E DE CARBONATAÇÃO

Wanessa Souza de Lima  
Marcelo Lima Silva  
Fuad Carlos Zarzar Júnior  
Romilde Almeida de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.4491904049**

**CAPÍTULO 10 ..... 105**

ANÁLISE DA CORROSÃO DE BARRAS NO CONCRETO ARMADO E PREVISÃO DE VIDA ÚTIL POR MEIO DE MODELO COMPUTACIONAL

Wanessa Souza de Lima  
Romilde Almeida de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.44919040410**



<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>124</b>
ARGAMASSAS DE REJUNTE EXPOSTAS AOS CICLOS DE MOLHAGEM E SECAGEM	
Valéria Costa de Oliveira	
Emílio Gabriel Freire dos Santos	
Rafael Alves de Oliveira	
Júlia Silva Maia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>136</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO (CAD) QUANDO SUBMETIDO A TEMPERATURAS ELEVADAS	
Klayne Kattiley dos Santos Silva	
Amâncio da Cruz Filgueira Filho	
Emerson Fernandes da Silva Alves	
Fernando Artur Nogueira Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040413</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>151</b>
COMPORTAMENTO DO CONCRETO EM RELAÇÃO AO ATAQUE QUÍMICO POR SULFATOS	
Amanda Gabriela Dias Maranhão	
Fuad Carlos Zarzar Júnior	
Romilde Almeida de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040414</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>162</b>
DURABILIDADE DE ESTRUTURAS CIMENTÍCIAS SUBMETIDAS A ATAQUES DE ÍONS SULFATOS	
Artur Buarque Luna Silva	
Fuad Carlos Zarzar Júnior	
Romilde Almeida de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040415</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>170</b>
SUGARCANE BAGASSE ASH INTO SILICON PRODUCTS	
Angel Fidel Vilche Pena	
Agda Eunice de Souza	
Silvio Rainho Teixeira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040416</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>177</b>
ENSAIO NÃO DESTRUTIVO BASEADO NA INTERAÇÃO DE LINHAS DE CAMPO MAGNÉTICO PARA O ACOMPANHAMENTO DA PERDA DE MASSA EM MATERIAIS METÁLICOS	
David Domingos Soares da Silva	
Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior	
Alysson Domingos Silvestre	
<b>DOI 10.22533/at.ed.44919040417</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>183</b>
ANÁLISE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL OFF-GRID NA ZONA URBANA DE FORTALEZA-CE	
Francisco Jeandson Rodrigues da Silva	
Cauli Guray Melo Freitas	
Fellipe Souto Soares	
Douglas Aurélio Carvalho Costa	

Obed Leite Vieira

DOI 10.22533/at.ed.44919040418

**CAPÍTULO 18 ..... 197**

RECREIAÇÃO DO EXPERIMENTO DE HERTZ

Camila Alice Silva Santos

Cláudia Timóteo de Oliveira Rufino

Denikson Figueiredo de Vasconcelos

Ericveiber Lima Dias Clemente

Gustavo Henrique Mathias de Lima

DOI 10.22533/at.ed.44919040419

**CAPÍTULO 19 ..... 205**

UTILIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE SOLDAGEM PARA CONTROLE DO NÍVEL DE PLANICIDADE DE UM ITEM SOLDADO UTILIZADO EM UM EQUIPAMENTO AGRÍCOLA

Alex Sandro Fausto dos Santos

Eduardo Carlos Mota

DOI 10.22533/at.ed.44919040420

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 219**



## PROCESSAMENTO DE LIGAS Mg-Zn-Ca PARA USO EM IMPLANTES CIRÚRGICOS UTILIZANDO A TÉCNICA DE METALURGIA DO PÓ

### **Jorge Alberto de Medeiros Carvalho**

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso  
Suckow da Fonseca

Dep. Eng. Mecânica, Angra dos Reis-RJ

### **José Adilson Castro**

Universidade Federal Fluminense - EEIMVR

Programa de Pós-Graduação em Eng.  
Metalúrgica, Volta Redonda-RJ

### **Alexandre Antunes Ribeiro**

Instituto Nacional de Tecnologia; Divisão de  
Processamento e Caracterização de Materiais,  
Rio de Janeiro-RJ

**RESUMO:** Nos anos recentes, estudos têm sido feito com ligas metálicas a base de magnésio na busca da melhor composição para a fabricação de implantes cirúrgicos ortopédicos biocompatíveis e bioabsorvíveis. Tais características podem levar à eliminação da etapa de remoção do material implantado no paciente após a completa consolidação óssea da região fraturada, evitando um segundo procedimento cirúrgico, o que diminuiria os riscos de contaminação e os custos envolvidos. Uma forma ainda pouco explorada para se chegar à composição adequada das ligas metálicas pretendidas é o uso da técnica de metalurgia do pó. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo estudar o processamento de ligas Mg-Zn-Ca com três diferentes composições pela

técnica de metalurgia do pó, sendo compactadas em dois diferentes níveis de pressões (138MPa e 276Mpa) e posteriormente sinterizadas a 580°C/1h em atmosfera de argônio. Técnicas de análise como microscopia eletrônica de varredura e ultra microdureza vickers foram utilizadas para caracterizar cada uma das amostras. Os resultados levantados apontaram que é possível o uso da técnica de metalurgia do pó para processar ligas a base de Mg-Zn-Ca e que as pressões de compactação utilizadas influenciaram nos resultados de dureza apresentados para diferentes composições de liga. Neste trabalho, a liga sinterizada Mg-54Zn-4Ca apresentou a maior dureza superficial com 124HV e módulo elástico de 16GPa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais bioabsorvíveis, Metalurgia do pó, Ligas de magnésio, cálcio e zinco.

**ABSTRACT:** In recent years, studies have been done on magnesium based alloys in order to achieve the best composition to manufacture of biocompatible and bioabsorbable orthopedic surgical implants. Such characteristics may eliminate the need of additional surgical procedure for removing the implanted material inside the patient after having the complete bone healing of the fractured region reducing the risks of contamination and surgical costs. Powder metallurgy is still a poorly explored technique

for reaching the suitable composition of the desired metal alloys. In this sense, the present work aimed to study, the processing of Mg-Zn-Ca alloys with three different compositions by powder metallurgy, being compacted at two different pressure levels and then sintered at 580°C/1h under argon atmosphere. Techniques such as scanning electron microstructure and ultra-micro hardness vickers were used to characterize each of the samples. The results showed that is possible to use the powder metallurgy technique to process Mg-Zn-Ca based alloys and that the used compaction pressures influenced on the hardness results presented for different alloys compositions. In this study, the sintered alloy Mg-54Zn-4Ca exhibited the highest surface hardness with 124HV and elastic modulus of 16GPa.

**KEYWORDS:** Bioabsorbable materials, Powder metallurgy, Magnesium, calcium and zinc alloys

## 1 | INTRODUÇÃO

O uso de ligas de magnésio com propósitos medicinais não é recente, data do final do século 19 até meados do século 20 quando seu uso em aplicações vasculares e ortopédicas foi diminuído devido à verificação da grande propensão destas ligas para corrosão, elevada produção de hidrogênio no meio hospedeiro e excessiva perda prematura da força mecânica dos dispositivos desenvolvidos à época. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de processamento de materiais, as ligas de magnésio voltaram a ser avaliadas por cientistas que buscam o desenvolvimento de implantes cirúrgicos ortopédicos que possam ser biocompatíveis e bioabsorvíveis pelo corpo humano [Witte].

O magnésio oferece propriedades únicas que o qualificam como material biocompatível e bioabsorvível para utilização na confecção de implantes cirúrgicos ortopédicos, tais como: baixa densidade, elevada resistência mecânica, excelente estabilidade dimensional, alta capacidade de amortecimento e elevada reciclabilidade. Em contrapartida, o magnésio possui grande propensão à corrosão e liberação de hidrogênio, principalmente, quando em presença de meios aquosos salinos, como os encontrados nos meios fisiológicos humanos. No entanto, a liberação dos íons provenientes de seu processo corrosivo não impacta negativamente os seres humanos e, dependendo dos elementos de liga utilizados, podem auxiliar no processo de cicatrização e consolidação óssea do membro fraturado [Jemimah et al]. O uso de elementos de liga tais como o cálcio e o zinco podem ser úteis. O cálcio em baixas proporções nas ligas de magnésio (< 5%) pode aumentar a resistência mecânica tanto por solução como por precipitação, diminuindo o tamanho dos grãos e/ou contribuindo para o reforço dos contornos de grão [Witte et al]. O magnésio e o cálcio são elementos majoritários e essenciais ao corpo humano. Assim como o magnésio, o cálcio possui densidade próxima aos ossos (1.55g/cm<sup>3</sup>) e seus íons ao serem liberados em meio fisiológico humano contribuem para a cicatrização do membro fraturado [Witte et al,

Li et al]. O zinco por sua vez, pode melhorar tanto a resistência à corrosão quanto as propriedades mecânicas do magnésio e é reconhecido como um dos elementos essenciais e mais abundantes no corpo humano e, portanto, seguro para aplicações biomédicas [Li et al, Resende]. Além disso, estudos mostram que a presença de Zn em ligas de Mg reduz a liberação de hidrogênio em meio fisiológico [Xuenan et al, Dhyah Annur et al]. Segundo a bibliografia corrente [Li et al, Cha et al & Bakhsheshi-Rad], não existe um consenso pleno sobre a melhor composição de liga a ser adotada para a confecção de implantes metálicos a base de magnésio que atendam as exigências de bioabsorvidade requerida. Portanto, estudar novas composições de ligas e suas propriedades é de fundamental importância para a confecção deste tipo de material, especialmente quanto a sua resistência mecânica. Neste ínterim, alternativamente a outros processos conhecidos, por exemplo, a fusão e extrusão seguida de resfriamento controlado [Cha et al], o uso da técnica da metalurgia do pó, para a confecção de diferentes composições de liga Mg-Zn-Ca, passa a ser uma alternativa interessante para o processamento de ligas com propriedades adequadas [Dhyah Annur et al]. A sinterização é uma técnica usada para produzir materiais metálicos ou cerâmicos com densidade controlada através de misturas de pós e aplicação de energia térmica. Esta técnica tem sido crucial para o desenvolvimento de novos materiais, tendo crescido em importância na comunidade científica [Suk-Joong]. Wen investigou o magnésio poroso processado através da tecnologia de metalurgia do pó, com porosidade de 35% a 55% e tamanho do poro variando entre 70 e 400  $\mu\text{m}$ . Os resultados indicaram que o módulo de elasticidade e a tensão de escoamento aumentaram com a redução do percentual da porosidade e do tamanho de poros. Além disto, nestas mesmas condições, as propriedades mecânicas do magnésio poroso assemelham-se às do osso esponjoso natural. O compósito de matriz metálica de magnésio obtido por metalurgia do pó permite a incorporação de reforços como a hidroxiapatita (HA) e o polifosfato de cálcio, favorecendo a melhoria das propriedades mecânicas, da resistência à corrosão e biocompatibilidade. O presente trabalho teve como objetivo estudar o processamento de ligas de Mg-Zn-Ca com três diferentes composições pela metalurgia do pó, utilizando dois diferentes níveis de pressões de compactação. A influência dos parâmetros de processamento nas características microestruturais e de resistência mecânica das ligas, foi avaliada através de análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de ultra microdureza vickers.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção dos compactos verdes, utilizou-se de prensagem uniaxial a frio em prensa da marca Skay, de distintas misturas de pós de Magnésio, Zinco e Cálcio, todos com elevado grau de pureza ( $> 97,0\%$ ) e tamanho de partícula médio de 0.1mm para o Magnésio, 0.06mm para o Zinco e 0.355mm para o Cálcio. A garantia

dos tamanhos de grãos médios apresentados se deu através do uso de etapas de peneiramento em peneiras de mesh padrão. Para o preparo das misturas e da composição em peso das ligas estudadas, utilizou-se de balança de precisão com resolução de 0.001g da marca Marte modelo: AY220 com as composições em peso segundo tabela 1.

Misturas	Percentual em peso (%)		
	Mg	Zn	Ca
<b>A</b>	41,93	53,87	4,20
<b>B</b>	68,99	29,06	1,95
<b>C</b>	94,25	4,76	0,99

Tabela 1: Composição em peso das ligas formadas.

Antes da efetiva compactação em matriz específica e nas pressões de compactação de 138MPa e 276MPa, as misturas foram homogeneizadas manualmente por quinze minutos. O resultado da compactação gerou seis cilindros de diâmetros médios de 10mm e comprimento de 25mm aproximadamente. A tabela 2 apresenta a identificação dos compactos verdes obtidos com suas respectivas pressões de compactação.

Amostras	Ligas	Pressão
<b>1</b>	Mg-53Zn-4Ca	276MPa
<b>2</b>	Mg-29Zn-2Ca	276MPa
<b>3</b>	Mg-5Zn-1Ca	276MPa
<b>4</b>	Mg-53Zn-4Ca	138MPa
<b>5</b>	Mg-29Zn-2Ca	138MPa
<b>6</b>	Mg-5Zn-1Ca	138MPa

Tabela 2: Amostras compactadas nas pressões de 276MPa (1,2 e 3) e 138MPa (4,5 e 6).

Posteriormente à compactação, os compactos verdes obtidos foram sinterizados em atmosfera de argônio, a uma taxa de 10°C por minuto até a temperatura de 580°C, sendo mantidos na temperatura final por uma hora e resfriados no interior da cabine do dilatômetro Netzsch-Dil 402C até a temperatura ambiente. As amostras geradas foram cortadas e embutidas em resina acrílica e preparadas para análise em microscópio eletrônico de varredura e ultra microdurômetro vickers Shimadzu-DUH.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Sinterização

A figura 1 mostra a comparação das curvas de sinterização das Amostras-1 e 4.

Observa-se que, para uma mesma composição de mistura, as amostras apresentaram diferenças de dilatação com a variação da pressão de compactação. A Amostra-4 exibiu taxa de dilatação intensa ao atingir temperaturas da ordem de 410°C e posterior contração quando se aproximou de 500°C. Tal fenômeno se deve à formação de fase líquida e a presença de maior quantidade de Zn na mistura cuja temperatura de fusão é da ordem de 420°C. Porém, este comportamento não foi verificado na Amostra-1, na qual o processo de dilatação transcorreu de forma gradual, sem interrupção ou contração visível. Tal fenômeno pode estar relacionado à menor presença de espaços intersticiais na mistura, devido à maior pressão de compactação que permitiu uma rápida acomodação da fase líquida por ventura gerada na sinterização.

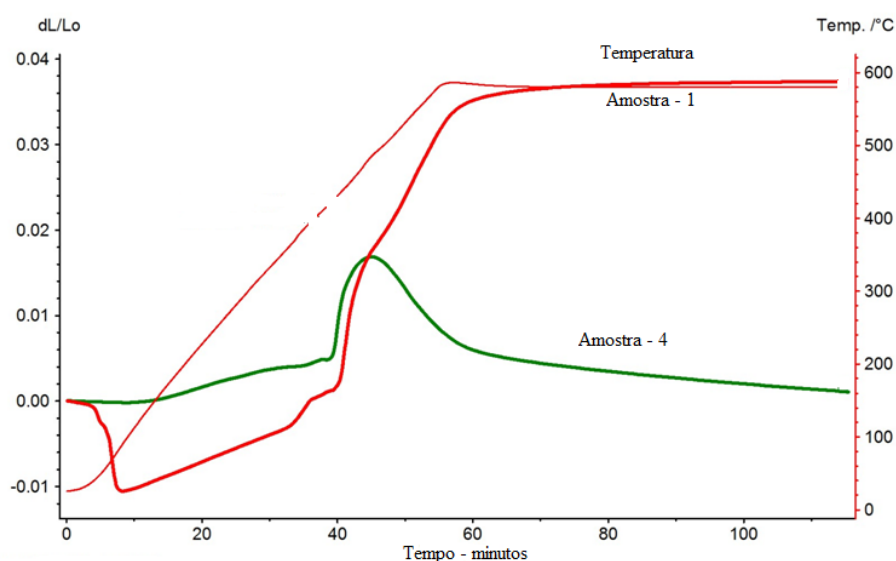


Figura 1: Mg-54Zn-4Ca compactado a 138MPa (curva verde) e 276MPa (curva vermelha)

As curvas de sinterização das Amostras-2 e 5 são comparadas na figura 2. No caso dessas amostras, a mistura de pós possui menor quantidade de Zn e Ca. Nota-se que, ambas as curvas tiveram comportamento semelhante em matéria de dilatação ao longo do tempo, apresentando inclusive, uma taxa de dilatação muito semelhante quando atingiram temperaturas próximas a 490°C. Porém, a Amostra 5 aparentemente exibiu maior taxa de contração, quando comparada com a Amostra-2.

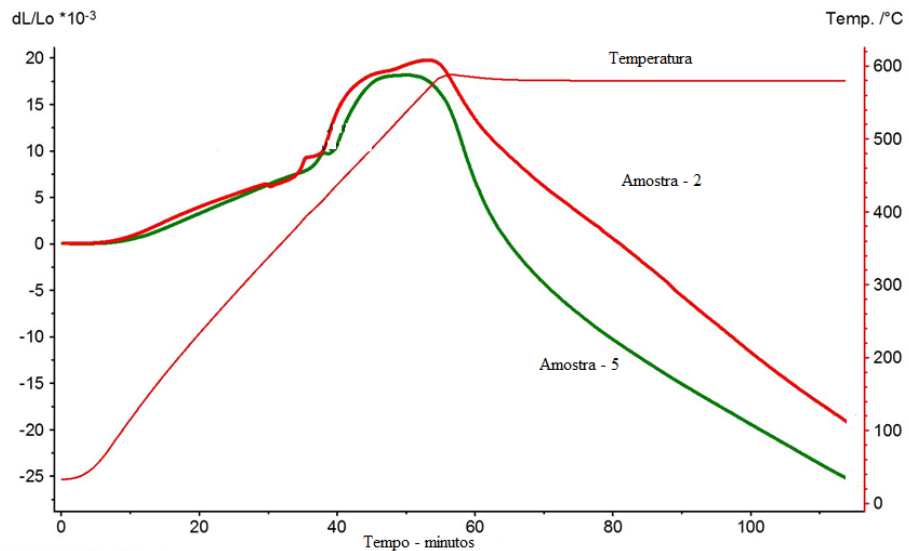


Figura 2: Mg-29Zn-2Ca compactado a 138MPa (curva verde) e a 276MPa (curva vermelha)

Na figura 3, nota-se uma boa semelhança entre as taxas de dilatação das Amostras-3 e 6.-Esta semelhança, provavelmente, deve ser devido ao alto teor de magnésio na mistura (94% em peso) e à menor interferência dos demais elementos (Zn e Ca) no processo de sinterização dos corpos de prova. Entretanto, na curva correspondente à Amostra-6 existe uma região com suave retração, próxima a temperatura de 580°C. Na curva da Amostra-3, verifica-se também, uma nítida acomodação inicial da mistura, o que gerou uma contração bastante acentuada ao redor de 160°C.

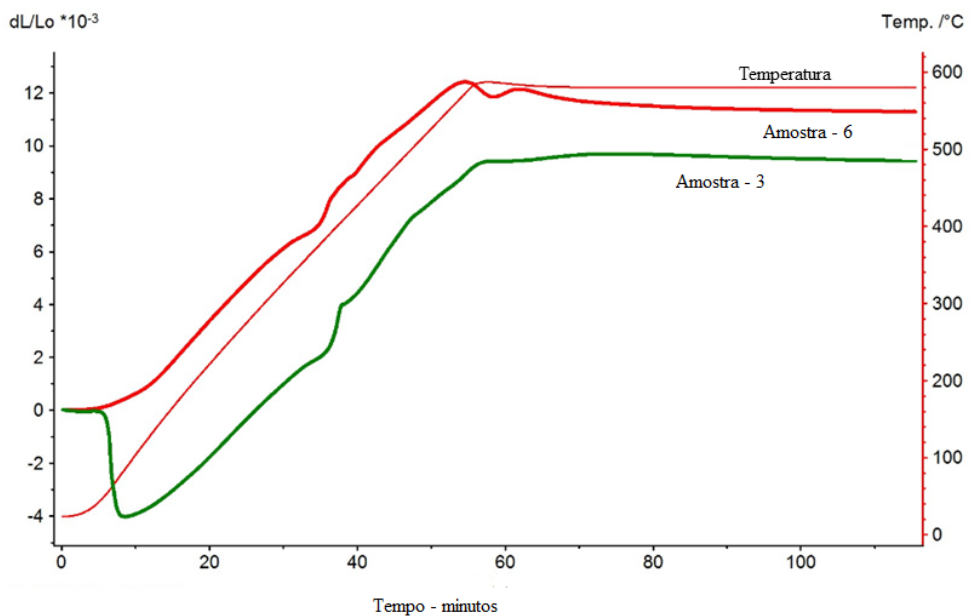


Figura 3: Mg-5Zn-1Ca compactado a 138MPa (curva verde) e a 276MPa (curva vermelha)

### 3.2 Análise Microestrutural

As microestruturas avaliadas sugerem que as sinterizações realizadas em todas



as condições de misturas e de compactação foram bem sucedidas, demonstrando que a técnica de metalurgia do pó pode ser utilizada para a confecção de diferentes ligas de magnésio para uso como implantes cirúrgicos. Dentre os elementos envolvidos nas ligas avaliadas, o Cálcio possui maior ponto de fusão ( $842^{\circ}\text{C}$ ) e embora sua presença em % seja menor, sua influência, principalmente na formação de segundas fases, não deve ser descartada. O Magnésio com seu ponto de fusão de  $650^{\circ}\text{C}$  e o Zinco com  $419^{\circ}\text{C}$  são os elementos de maior impacto na formação das ligas envolvidas no presente estudo e, considerando a temperatura de sinterização adotada ( $580^{\circ}\text{C}$ ) o fenômeno de difusão e transporte durante o processo térmico pode ter sido acelerado nas composições de liga com maior presença do Zinco. Nota-se ainda, a existência de diferenças na distribuição, morfologia e dimensão dos poros formados em cada condição de liga sinterizada. Dhyah et al em estudo recente apresentou resultados que comprovaram que o processo de sinterização na metalurgia do pó é facilitado a partir do aumento do contato entre as partículas, tendo em vista a formação de ligação entre os átomos e às diferenças de tamanho e ponto de fusão dos elementos de liga envolvidos. As figuras 4 a 6 demonstram que o processo de sinterização das ligas envolvidas neste trabalho produziram poros de diferentes tamanhos e morfologias. Para melhor visualização destes feitos, análises microestruturais foram levantadas em todas as condições estudadas. A figura 4 mostra a microestrutura das Amostras-1 e 4. Nota-se que existem diferenças microestruturais sensíveis. A Amostra-1 (figura 4a) apresentou uma microestrutura mais porosa do que a Amostra-4 (figura 4b). Além disso, uma maior presença de  $\alpha\text{Mg}$  foi observada na Amostra-4 (figura 4b).

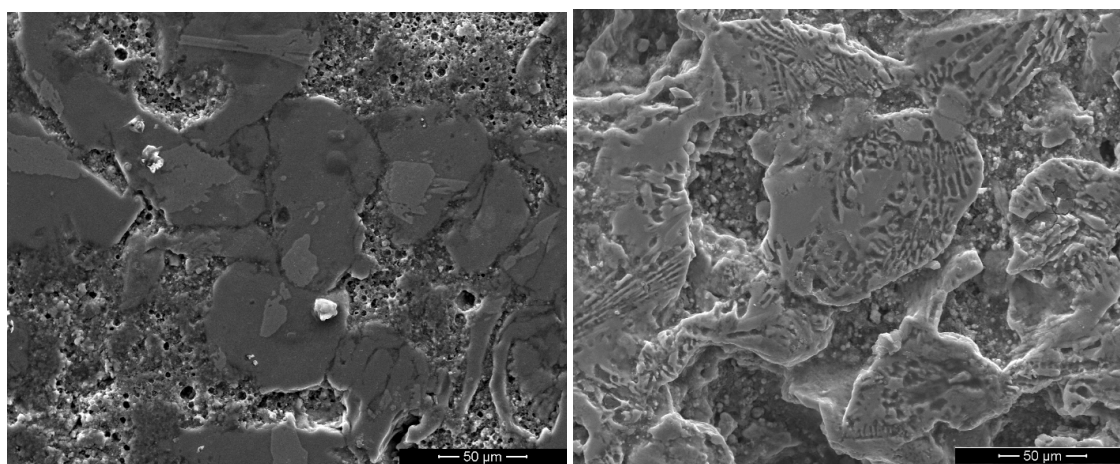


Figura 4: Imagens de MEV com ampliação de 800X: (a) Amostra-1 e (b) Amostra-4.

A figura 5 apresenta as características microestruturais da liga Mg-29Zn-2Ca (Mistura 2) nas duas pressões de compactação adotadas 276MPa (Amostra-2) e 138MPa (Amostra-5). De forma mais evidente, as dimensões dos poros formados e sua distribuição é mais bem notada sendo que a figura 5a, representativa da Amostra-2, apresenta maior quantidade de poros formados que a Amostra-5 (figura 5b) e sua distribuição mais evidenciada.



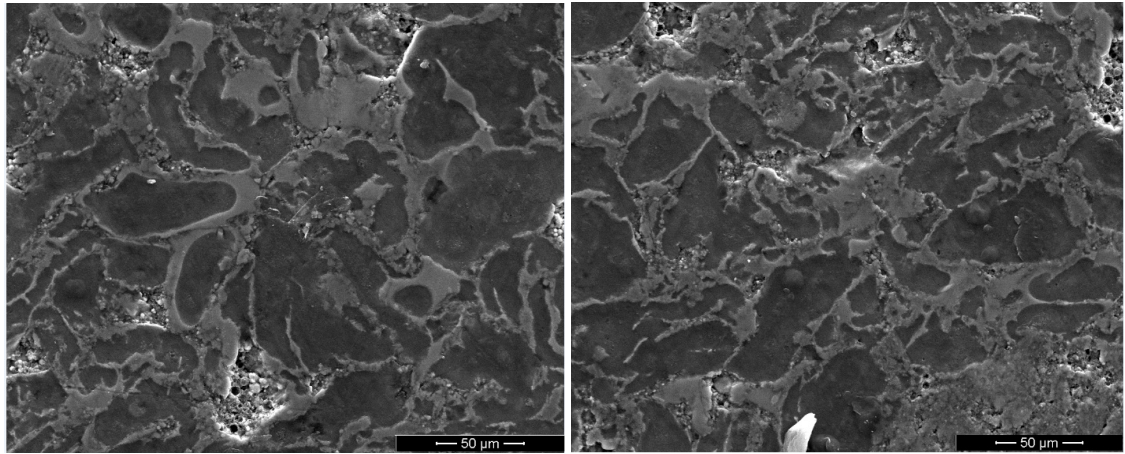


Figura 5: Imagens de MEV com ampliação de 800X: (a) Amostra-2 e (b) Amostra-5.

A figura 6 mostra a microestrutura formada da composição de liga Mg-5Zn-1Ca (Mistura 3) onde demonstra-se ser mais homogênea em matéria de distribuição e tamanho dos grãos formados, tanto para a Amostra-3 (figura 6a) como a Amostra-6 (Figura 6b). Diferente das outras ligas formadas, a menor compactação (Figura 6b) gerou maior quantidade de poros de maiores dimensões e distribuição.

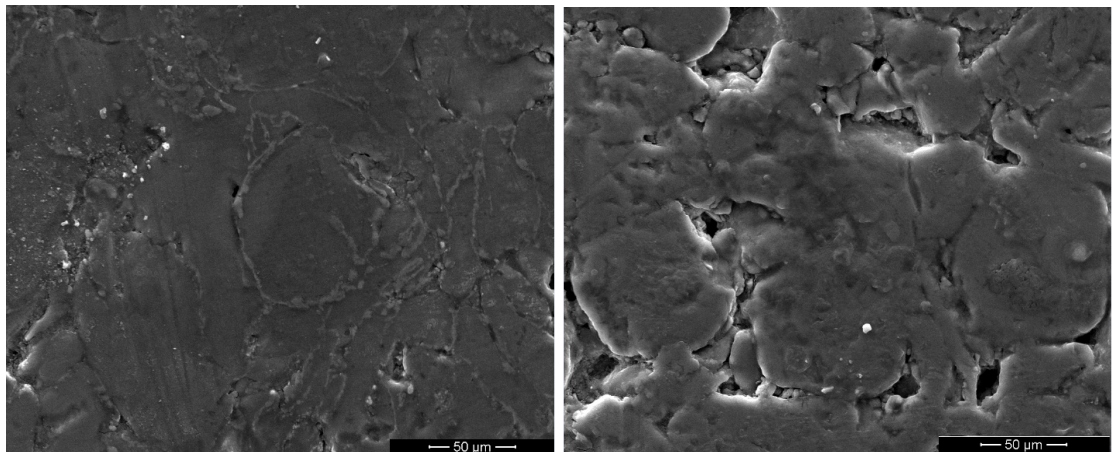


Figura 6: Imagens de MEV com ampliação de 800X: (a) Amostra-3 e (b) Amostra-6.

### 3.3 Tamanho dos grãos formados

Os grãos formados, seus contornos e morfologia também foram avaliados. Para esta avaliação, ampliações de 1600X foram adotadas. A figura 7 apresenta a morfologia dos grãos e contornos para as três composições de ligas geradas. Nota-se diferenças na morfologia dos contornos de grãos e seus respectivos tamanhos de acordo com a composição da liga avaliada. O esperado refinamento dos grãos e presença de segundas fases formadas nos contornos de grão com o aumento dos percentuais em peso dos elementos Zn e Ca na formulação das ligas de magnésio, pode ser verificado na Amostra- 7b frente a Amostra-7c. Conforme se ampliou os percentuais em peso do Zn e do Ca, na Amostra- (Figura 7a), os grãos formados não apresentaram características de refinamento e seus contornos tiveram mais influência

da porosidade que das segundas fases presentes.

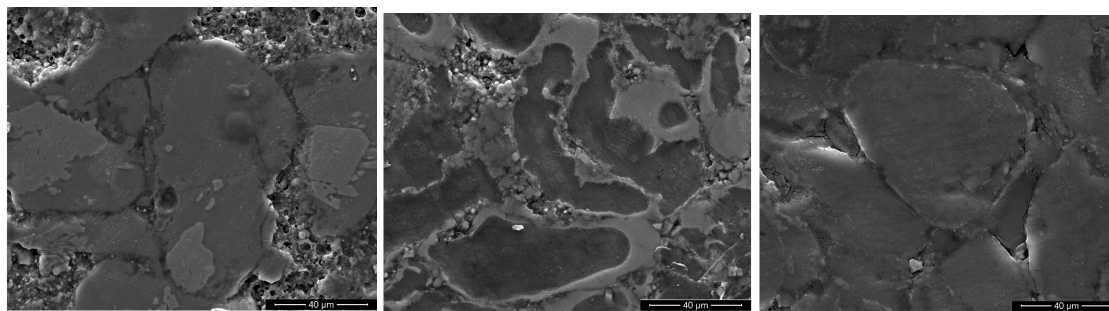


Figura 7: Imagens de MEV com ampliação de 1600X: (a) Amostra-1, (b) Amostra-2 e (c) Amostra-3.

Este efeito pode estar relacionado com o percentual máximo de solubilidade do Zn em ligas de Mg que não deve ultrapassar a 6.2% em peso, dependendo das condições de temperatura e pressão adotadas [Rahman S. W & Medraj M]. Resende já havia observado que ligas de magnésio com percentuais de Zn acima de 3% em peso, pareciam não sofrer efeito em seu tamanho de grão, deixando de sofrer o refinamento do grão esperado e por isso, não mais recebendo o ganho na resistência requerido. Cha et al verificou que em ligas de magnésio com maiores teores em peso de Zn ocorre uma distribuição não uniforme dos átomos, indicando que o Zn é dissolvido para o exterior e para o interior dos limites de solubilidade nas fases de Mg primária e  $Mg_2Ca$ , respectivamente. Nas ligas ternárias de Mg-Zn-Ca, o acréscimo do Zn provoca o surgimento da fase intermetálica  $Mg_6Ca_2Zn_3$  ligada à fase  $Mg_2Ca$ . Este composto intermetálico aumenta na medida em que o percentual de Zn também aumenta. Os autores conseguiram comprovar por microscopia eletrônica que, ao invés do composto intermetálico  $Mg_6Ca_2Zn_3$  impedir a corrosão, a fase  $Mg_2Ca$  com o Zn dissolvido não se mostrou corrosiva e o incremento da resistência da liga provocada pelo refinamento dos grãos, induzida pela presença das partículas precipitadas mediante mecanismo de fixação (pinning), não se verifica.

### 3.4 Análise de ultra micro dureza vickers

As análises de ultra micro dureza vickers realizadas neste trabalho, se justificam por ser uma das possíveis formas de verificação da resistência superficial que as ligas de magnésio formadas poderão apresentar, tendo em vista sua morfologia e camada passiva formada. Os resultados médios de dureza vickers e módulo elástico obtidos das amostras compactadas a 276MPa (Amostras-1, 2 e 3) são apresentados na tabela 3.

Amostras	Ligas	HV	Módulo Elástico
1	Mg-54Zn-4Ca	40,5	12GPa
2	Mg-29Zn-2Ca	41,3	17GPa
3	Mg-5Zn-1Ca	31,2	15GPa

Tabela 3: Ultra micro dureza vickers e módulo elástico obtido para as ligas com pressão de compactação de 276MPa.

Nota-se que os resultados de ultra micro dureza vickers levantados apontam para uma maior resistência superficial da liga Mg-29Zn-2Ca (Amostra-2) que as demais ligas formadas a uma mesma pressão de compactação (276MPa). Nota-se ainda, que a liga de menor resistência superficial formada é a liga Mg-5Zn-1Ca, possivelmente, pela pouca ou nenhuma influência dos elementos de liga Ca e Zn na sua formação durante o processo de sinterização. A liga Mg-54Zn-4Ca, que recebeu maiores quantidades percentuais em peso de Zn e Ca em sua formulação teve aparente queda em suas propriedades de resistência superficial, corroborando o já comentado sobre a deteriorização das propriedades mecânicas e anti-corrosivas das ligas de Mg com elevados teores de Zn [Resende]. Os resultados da ultra micro dureza vickers e módulo elástico obtidos das amostras compactadas a 138MPa (Amostras-4, 5 e 6) são apresentados na tabela 4.

Amostras	Ligas	HV	Módulo Elástico
4	Mg-54Zn-4Ca	124,0	16GPa
5	Mg-29Zn-2Ca	41,2	23GPa
6	Mg-5Zn-1Ca	29,0	14GPa

Tabela 4: Dureza vickers e módulo elástico obtido para as ligas com pressão de compactação de 138MPa. (Shimadzu – DUH-211.S).

Para esta situação, a liga que apresentou melhor condição de ultra micro dureza vickers foi a Mg-54Zn-4Ca com 124HV. Porém, seu módulo elástico (16GPa) não acompanhou o incremento obtido na dureza superficial, mostrando certa descontinuidade. As outras ligas avaliadas apresentaram resultados de ultra micro dureza superficial e módulo elásticos com a mesma tendência que as ligas obtidas em maiores pressões de compactação, ou seja, houve um incremento na dureza superficial e módulo elástico da liga Mg-29Zn-2Ca, em relação à liga Mg-5Zn-1Ca. Adicionalmente, nota-se que o módulo elástico da liga Mg-29Zn-2Ca sofreu acréscimo significativo em comparação com a mesma liga com maior pressão de compactação (23GPa x 17GPa). Considera-se que estes resultados podem endossar a presença da fase líquida comentada quando na análise das curvas de sinterização obtidas (Figura 2) e que este processo pode ser o responsável pelo aumento da resistência superficial da amostra analisada. Segundo as análises obtidas para este estudo, a condição de mistura Mg-5Zn-1Ca pouco apresentou diferenças entre uma condição

de compactação ou outra e seus resultados de dureza e módulo elástico, seguiram valores similares aos obtidos para o magnésio puro.

## 4 | CONCLUSÃO

Neste estudo, o uso da técnica da metalurgia do pó para o processamento de diferentes composições de ligas ternárias de Mg-Ca-Zn pode ser comprovado, bem como, a influência da pressão de compactação das misturas de pós nas características da sinterização e nas microestruturas das ligas formadas. Pode-se concluir também que a influência das diferentes composições de liga na qualidade dos grãos formados após sinterização e o esperado refinamento de seus grãos estão limitados a determinados percentuais de Zn e Ca e que este fenômeno pode ser melhor verificado na liga Mg-29Zn-2Ca. Por fim, conclui-se que a liga Mg-54Zn-4Ca compactada a 276MPa apresentou ultra micro dureza vickers muito superior as outras avaliadas (124HV) e que esta condição deverá ser melhor avaliada em estudos posteriores.

## AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca campus Angra dos Reis pelo incentivo e permissão para o desenvolvimento deste trabalho. À Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda e ao Instituto Nacional de Tecnologia pelo suporte técnico.

## REFERÊNCIAS

- Bakhsheshi-Rad, H.R., E. Hamzaha, A.F. Ismailb, M. Daroonparvara, M. Mezbahul-Islam, M. Kasiri-Asgaranic, M. Medraj, **Microstructure and bio-corrosion behavior of Mg-Zn and Mg-Zn-Ca alloys for biomedical applications**, 2014, Material and Corrosion (65) (12), p: 1178-1187; DOI: 10.1002/maco.201307588
- Cha, P.R., Han, H.S., Yang, G.F., Kim, Y.C., Hong, K.H., Lee, S.C., Jung, J.Y., Ahn, J.P., Kim, Y.Y., Cho, S.Y., Byun, J.Y., Lee, K.S., Yang, S.J. & Seok, H.K.) **Biodegradability engineering of biodegradable Mg alloys**, 2013, Tailoring the electrochemical properties and microstructure of constituent phases. Scientific reports 3, p. 23-67.
- Dhyah Annur, Franciska P. L., Aprilia Erryani, M. Ikhlasul Amal, Lyandra S. Sitorus, and Ika Kartika **The Synthesis and characterization of Mg-Zn-Ca alloy by powder metallurgy process**, 2016, AIP Conference Proceedings 1725, 020032 (2016); doi: 10.1063/1.4945486.
- Jemimah Walker, Shaylin Shadanbaz, Timothy B. F. Woodfield, Mark P. Staiger, George J. Dias **Magnesium biomaterials for orthopedic application: A review from a biological perspective**, 2014 – Journal of Medical Material Research – PartB – Volume 102 – p.1316-1331.
- Li, Z.J, X.N. Gu, S.Q. Lou, and Y.F. Zheng, **The development of binary Mg-Ca alloys for use as biodegradable materials within bone**, 2008 Biomaterial, 29(10): p. 1329-1344.
- Resende, C.X., **Estudo de ligas bioabsorvíveis baseadas em Mg** – Tese de Doutorado, 2014 -

Instituto Militar de Engenharia-Rio de Janeiro.

Rahman S. W & Medraj M, **Critical assessment and thermodynamic modeling of binary Mg-Zn, Ca-Zn and ternary Mg-Ca-Zn systems**, 2009, Journal Intermetallics, p. 003-014.

Suk-Joong L. Kan, **Sintering – Densification, grain growth & microstructure**, 2005, Ed. Elsevier. ISBN: 978-0-7506-6385-4.

Wen C.E., Yamata, Y. Shimojima K., Chino Y., Hosakawa H., Mabuchi M.), **Compressibility of porous magnesium foam: Dependency on porosity and pore size**, 2004, Materials Letters.58. p.357 - 360.

Witte, F. **The history of biodegradable magnesium implants: a review**, 2010, *Acta Biomaterial.* 6, p.1680-1692.

Witte, F, V. Kaese, H. Haferkamp, E. Switzer, A. Meyer-Lindenberg, C.J. Wirth, and H. Windhagen, **In vivo corrosion of four magnesium alloys and the associated bone response**, 2005, *Biomaterials.* 26(17): p. 3557-3563.

Xuenan Gu, Yufeng Zheng, Shengping Zong, Ting Fei Xi, Junqing Wang, Weihua Wang, **Corrosion of, and cellular responses to Mg–Zn–Ca bulk metallic glasses**, 2009, *Biomaterial.* 31 – p. 1093-1103.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-244-9

