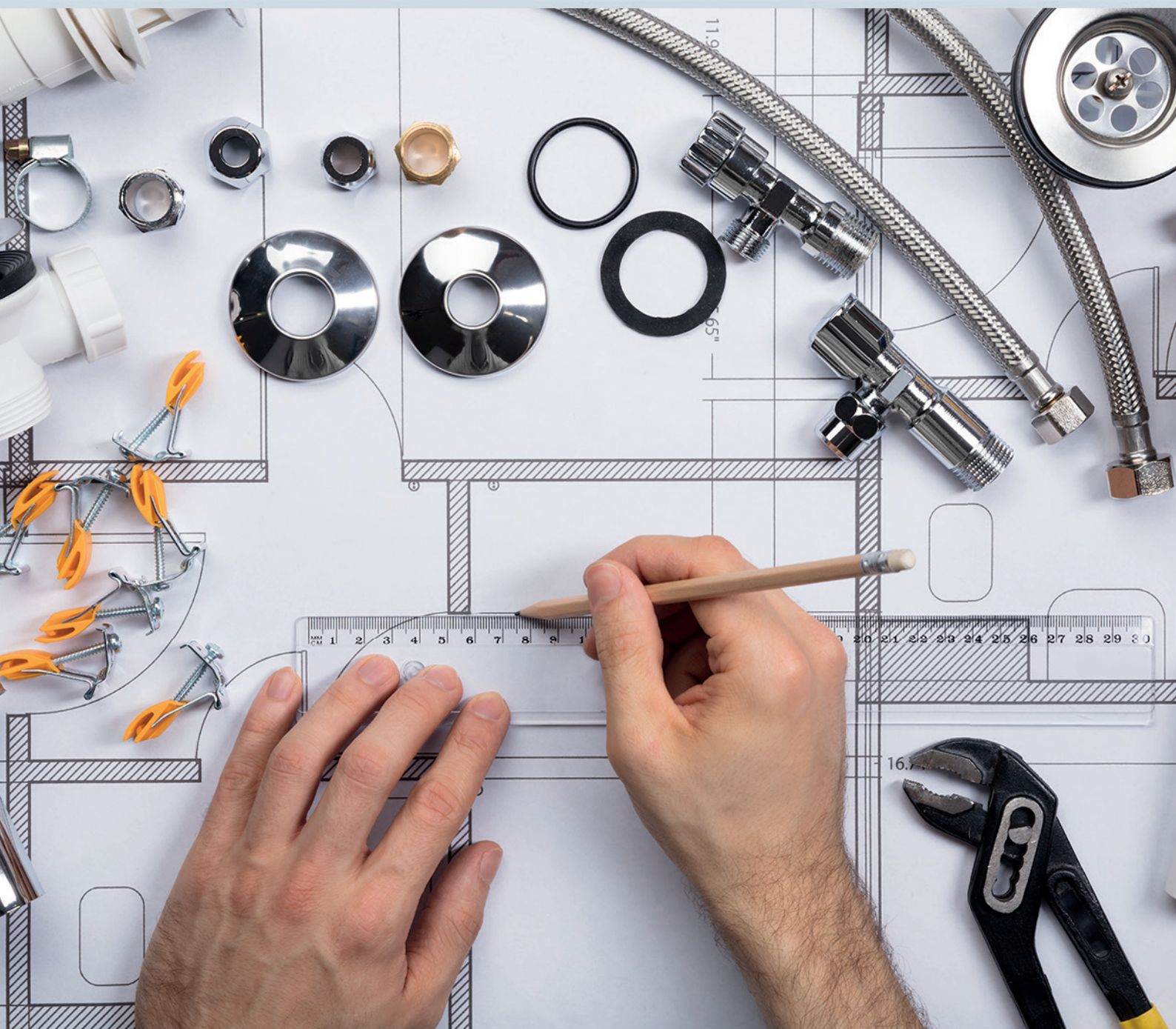


Ciência e Engenharia de Materiais

2

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2018

MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA

(Organizadora)

Ciência e Engenharia de Materiais

2

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

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)

C569 Ciência e engenharia de materiais 2 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-63-5

DOI 10.22533/at.ed.635183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

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.

2018

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

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CARBETO DE VANÁDIO NA MOAGEM E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO AISI 52100, PRODUZIDO POR METALURGIA DO PÓ	
<i>Leandra Fernandes de Oliveira</i>	
<i>Bruna Horta Bastos Kuffner</i>	
<i>Daniela Sachs</i>	
<i>Gilbert Silva</i>	
<i>Geovani Rodrigues</i>	
CAPÍTULO 2	12
INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM INNERSHIELD NAS CARACTERÍSTICAS DA SOLDA DE UM AÇO ESTRUTURAL ASTM – A36	
<i>Waldemir dos Passos Martins</i>	
<i>Paulo Victor Cunha Caetano</i>	
<i>Valdemar Silva Leal</i>	
<i>Valter Alves de Meneses</i>	
CAPÍTULO 3	25
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO AÇO INOXIDÁVEL 17-4 PH NITRETADO UTILIZADO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS	
<i>Ane Caroline Celestino Silva</i>	
<i>Lucas da Silva Vicente</i>	
<i>Christian Egídio da Silva</i>	
<i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i>	
<i>Cirlene Fourquet Bandeira</i>	
<i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
CAPÍTULO 4	32
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO BAIXO CARBONO APÓS PROCESSO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	
<i>Vanessa Moura de Souza</i>	
<i>Vinicius Martins</i>	
CAPÍTULO 5	43
COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS MATRIZES METÁLICAS DO SISTEMA FE-CU-NB OBTIDAS POR Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Marcello Filgueira</i>	
CAPÍTULO 6	58
ESTUDO DO EFEITO DA VIBRAÇÃO NA SOLIDIFICAÇÃO DA LIGA 356.0	
<i>Laura Ferrazza Kirch</i>	
<i>Amanda Yuki Shimosaka</i>	
<i>Dalmarino Setti</i>	
CAPÍTULO 7	65
ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO DAS MATRIZES METÁLICAS DE FE-CU-25%NB E FE-CU-25%CO DURANTE A Prensagem a quente	
<i>Hellen Cristine Prata de Oliveira</i>	
<i>Adriano Corrêa Batista</i>	
<i>Luis Guerra Rosa</i>	
<i>Paulo Santos Assis</i>	

CAPÍTULO 8	84
TRANSIÇÃO OBSERVADA ENTRE OS MODOS DE DESGASTE MICRO-ABRASIVO POR “RISCAMENTO” E POR “ROLAMENTO” EM WC-CO P20 E AÇO-FERRAMENTA M2	
<i>Ronaldo Câmara Cozza</i>	
CAPÍTULO 9	92
ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA DO AÇO ABNT 1045 APÓS TÊMPERA E REVENIMENTO	
<i>João Paulo Montalván Shica</i>	
<i>Matheus Henryque Almeida e Silva</i>	
CAPÍTULO 10	105
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA PERDA DE RIGIDEZ SOBRE AS FREQUÊNCIAS NATURAIS DE PLACAS DE ALUMÍNIO	
<i>Pietro Olegário da Silva</i>	
<i>Adriana Amaro Diacenco</i>	
CAPÍTULO 11	118
ANÁLISE DA MICRODUREZA E CORROSÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW NA CHAPA DE AÇO DOBRADA TIPO U	
<i>Josemairon Prado Pereira</i>	
<i>Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves</i>	
CAPÍTULO 12	129
ANÁLISE DO CICLO TÉRMICO DE UM AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA BAIXA LIGA UTILIZANDO MÉTODO DIRETO E EQUAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Thyálita Coêlho Moreira Mousinho</i>	
<i>Thaís Spíndola Garcêz</i>	
<i>José Francisco dos Reis Sobrinho</i>	
<i>Nelson Guedes de Alcântara</i>	
CAPÍTULO 13	138
MICROFURAÇÃO COM LASER PULSADO ND:YAG EM CHAPAS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L	
<i>Dair Ferreira Salgado Junior</i>	
<i>Vicente Afonso Ventrella</i>	
<i>Juno Gallego</i>	
CAPÍTULO 14	153
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE LÂMINAS DE SERRA NO CORTE DA MADEIRA COM APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	
<i>Daniel Villas Bôas</i>	
<i>Elder Jesus Lima Machado</i>	
<i>Vanessa Ferreira Neves</i>	
CAPÍTULO 15	160
O EFEITO DE DIFERENTES TIPOS DE HOMOGENEIZAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO EM DEFORMAÇÃO A FRIO DAS LIGAS TI-35NB E TI-35NB-0,15SI	
<i>Késia Filadélfia Dionizio Silva Ramos</i>	
<i>Helton José Rodrigues Cabral</i>	
<i>Reinan Tiago Fernandes dos Santos</i>	
<i>Wilton Walter Batista</i>	
CAPÍTULO 16	173
LIGA DE MAGNÉSIO AZ91D: AVALIAÇÃO DA BIODEGRABILIDADE E DO COMPORTAMENTO MECÂNICO	
<i>Ronaldo Veronês Nascimento</i>	
<i>Ângela Beatriz Coelho Arnt</i>	
<i>Marcio Roberto da Rocha</i>	
<i>Steferson Luiz Stares</i>	

CAPÍTULO 17	184
INFLUÊNCIA DO PH E DO TEMPO DE IMERSÃO NA SILANIZAÇÃO JUNTO DE TANINOS PARA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DE AÇOS GALVANIZADOS	
<i>Bruno Pienis Garcia</i> <i>Álvaro Meneguzzi</i>	
CAPÍTULO 18	194
A NEW PROCEDURE TO DETERMINE THE PERMITTIVITY OF RADAR ABSORBING MATERIALS	
<i>Tamara Indrusiak Silva</i> <i>Iaci Miranda Pereira</i> <i>Jorge A. Mitrione Souza</i> <i>Marbey Manhães Mosso</i> <i>Ângelo M. Leite Denadai</i> <i>Jéferson Gomes da Silva</i> <i>Alan Reis de Oliveira</i> <i>Bluma Guenther Soares</i>	
CAPÍTULO 19	204
DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO A BASE DE NIÓBIO PARA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DE AÇO-CARBONO (SAE 1020)	
<i>Paloma Detlinger</i> <i>Brian Utri</i> <i>Guilherme Arielo Rodrigues Maia</i> <i>Rodrigo Helleis</i> <i>Cynthia Beatriz Fürstenberger</i> <i>Everson do Prado Banczek</i>	
CAPÍTULO 20	213
CORROSÃO E BIOCORROSÃO EM AÇO CARBONO	
<i>Diana Magalhães Frazão</i> <i>Ivanilda Ramos de Melo</i> <i>Severino Leopoldino Urtiga Filho</i>	
SOBRE A ORGANIZADORA	218

LIGA DE MAGNÉSIO AZ91D: AVALIAÇÃO DA BIODEGRABILIDADE E DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

Ronaldo Veronês Nascimento

Universidade do Extremo Sul Catarinense –
UNESC

Criciúma – Santa Catarina

Ângela Beatriz Coelho Arnt

Universidade do Extremo Sul Catarinense –
UNESC

Criciúma – Santa Catarina

Marcio Roberto da Rocha

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Blumenau – Santa Catarina

Steferson Luiz Stares

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – Santa Catarina

RESUMO: Neste trabalho foi estudada a biodegradabilidade e a resposta frente a esforços mecânicos de placas e parafusos fabricados a partir de uma liga comercial a base de magnésio. Materiais metálicos e suas ligas são frequentemente utilizados na fabricação de dispositivos ortopédicos e implantes para reconstrução óssea, pois podem associar propriedades mecânicas e de biodegradabilidade. O magnésio e suas ligas têm ganhado destaque nesse cenário, associado há necessidade do elemento magnésio no metabolismo humano. As ligas de magnésio apresentam resistência mecânica melhorada e permitem o controle das taxas de corrosão. A liga AZ91D utilizada

nesse trabalho é constituída de 8,5-9,5% de alumínio e 0,45-0,9% de zinco, em peso, com balanceamento do percentual de magnésio. Para avaliar a biodegradabilidade dessa liga, foi confeccionada uma placa com espessura de 1,3 mm que foi exposta a testes de corrosão conforme a norma ASTM F1635, em solução de Simulation Body Fluid (SBF) em área equivalente a 1,00 cm². A resposta mecânica foi avaliada por ensaio de cisalhamento, com a utilização de parafuso com rosca métrica M2x0,6 com 9 mm de comprimento conforme norma ASTM F2502. A taxa de corrosão obtida para o tempo de ensaio permitiu uma análise qualitativa da liga na solução que simula os fluidos corporais. O valor obtido no ensaio de cisalhamento foi de 94,4 MPa, patamar que pode ser considerado satisfatório para dispositivos utilizados na fixação de fraturas.

PALAVRAS-CHAVE:

Magnésio, biodegradabilidade, degradação, implantes.

ABSTRACT: This work is presented the study on the biodegradation and the mechanical stresses of plates and screws made from a commercial alloy magnesium base. Metallic materials and alloys are often used in the manufacture of orthopedic devices and implants for bone reconstruction, as they may involve mechanical properties and biodegradability. Magnesium and its alloys have gained prominence in this

scenario, there is associated need of magnesium element in human metabolism. Magnesium alloys have improved strength and allow control of corrosion rates. The AZ91D alloy used in this work consists of 8.5-9.5% aluminum and 0.45 to 0.9% zinc, by weight percent magnesium balancing. To assess the biodegradability of this alloy, was made a plaque with a thickness of 1.3 mm exposed to corrosion testing according to ASTM F1635, Body Fluid Simulation solution (SBF) equivalent to 1.00 cm² area. mechanical response was evaluated by shear test, using screw with metric thread triangular M2x0,6 9 mm long according to ASTM F2502 (2005). The corrosion rate for the time assay allowed a quantitative analysis of the alloy in the solution which simulates body fluids. The value obtained in the shear test was 94.36 MPa, a level that can be considered suitable for devices used in fracture fixation.

KEYWORDS: Magnesium alloy, biodegradability, strength.

1 | INTRODUÇÃO

Ligas a base de magnésio são comumente utilizadas na indústria de transporte e aeroespacial. Podem ser utilizadas em substituição aos biomateriais devido a sua abundância, e principalmente à similaridade de propriedades ao osso humano. O desenvolvimento e utilização de implantes biodegradáveis é uma área muito estudada, pois permite que os materiais utilizados sejam dissolvidos ou adsorvidos depois de implantados. Materiais da classe dos polímeros são comumente utilizados para esse fim, mas apresentam baixa resistência mecânica. ^[1]

Estudos *in vivo* demonstraram que o magnésio, que é um elemento essencial no metabolismo humano, é adequado como biomaterial para utilização em implantes médicos. O magnésio como material para implantes degradáveis fornece tanto biocompatibilidade como propriedades mecânicas, apresentando densidade específica (1,74-2 g/cm³) e módulo de Young (41-45 GPa) similares as do osso humano (1,8-2,1 g/cm³, 3-20 GPa). ^[1,2,3]

As ligas de magnésio apresentam resistência mecânica melhorada e permitem o controle das taxas de corrosão de acordo com os elementos adicionados. A liga AZ91D utilizada neste projeto é composta de 8,5-9,5% de alumínio e 0,45-0,9% de zinco, em peso, com balanceamento do percentual de magnésio, é uma das ligas de magnésio mais utilizadas comercialmente devido a sua excelente relação de peso e resistência mecânica e por apresentar baixa liberação de hidrogênio. No entanto, como todas as ligas a base de magnésio, esta liga possui grande suscetibilidade a corrosão ^[1,2,4] o que limita muitas aplicações de engenharia, especialmente em ambientes electrolíticos, aquosos. Porém, torna-se uma propriedade interessante para aplicações de biomateriais, em que a corrosão *in vivo* do implante à base de magnésio, com o devido controle, possibilita o desenvolvimento de um dispositivo bio-absorvível. ^[2,5]

A avaliação do comportamento mecânico através de ensaios de cisalhamento e das taxas de corrosão da Liga AZ91D em uma solução que simula os fluidos corporais

denominada de *Simulated Body Fluid* (SBF), fornecem informações que permitem qualificar a sua aplicabilidade como material para implantes biodegradáveis. [5,6,7]

Assim, neste trabalho foi avaliado o comportamento de *biodegradabilidade e a resposta mecânica em placas e parafusos, respectivamente fabricados a partir de uma liga comercial a base de magnésio*

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foi utilizada a liga de magnésio AZ91D, na forma de lingotes fundidos, sem tratamento posterior. Este material teve sua composição química verificada por microsonda (HITACHI, mod. TM3030/Swift ED3000) e como referência a norma ASTM B94. A análise foi realizada em uma amostra com área de 10 mm² e os resultados expressam a média de cinco medições em diferentes áreas da referida amostra. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Elemento	Mg	Al	Cu	Zn	Mn	Si
%em massa	90,57	8,56	-	0,70	-	-
ASTM B94	Bal.	8,3-9,7	0,03 máx.	0,35-1,00	0,15-0,50	0,10 máx.

Tabela 01 – Composição química das amostras utilizadas.

Primeiramente os lingotes foram seccionados e torneados em um torno CNC (ROMI MOD) na forma de parafusos, conforme indicado na Figura 1 (a e b). As roscas obtidas foram laminadas com a utilização de um cossinete de aço rápido M2x0,5mm. O processo de usinagem ocorreu sem o uso de fluido refrigerante/lubrificante para evitar contaminação das amostras. Foram produzidos parafusos e placas, os quais tiveram suas características mecânicas e químicas, respectivamente avaliadas.

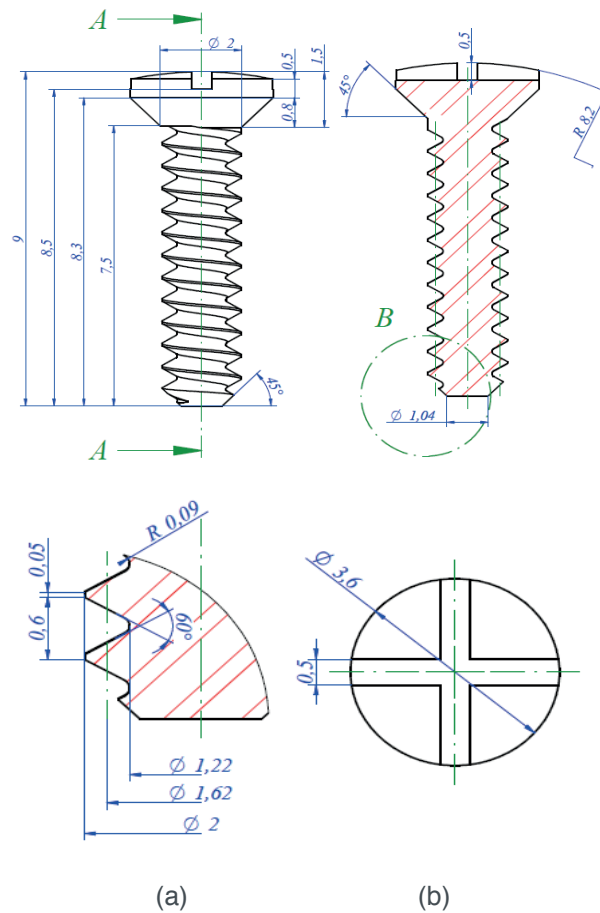


Figura 1: Desenho técnico do parafuso da liga AZ91 (dimensões em mm).

Para verificação do comportamento mecânico, foram realizados ensaios de microdureza Vickers (FUTURE-TECH, modelo FM-700) com carga igual a 200 gf com um tempo de indentação igual a 15 segundos. Os resultados obtidos representam a média de 05 medidas.

Para a determinação do comportamento de cisalhamento dos parafusos fabricados, foi construído o dispositivo mecânico de aço inox ASTM 304, apresentado na Figura 2. As amostras foram inseridas nas peças móveis do dispositivo formando um conjunto único. Após deslocamento, a amostra foi cisalhada em três partes perpendiculares ao longo de seu eixo. Foi utilizada uma máquina universal de ensaios (EMIC – modelo DL30000), com célula de carga de capacidade máxima de 500 N. A velocidade de deslocamento do cabeçote foi de 5 mm/min. Cinco amostras foram submetidas ao teste de resistência ao cisalhamento.

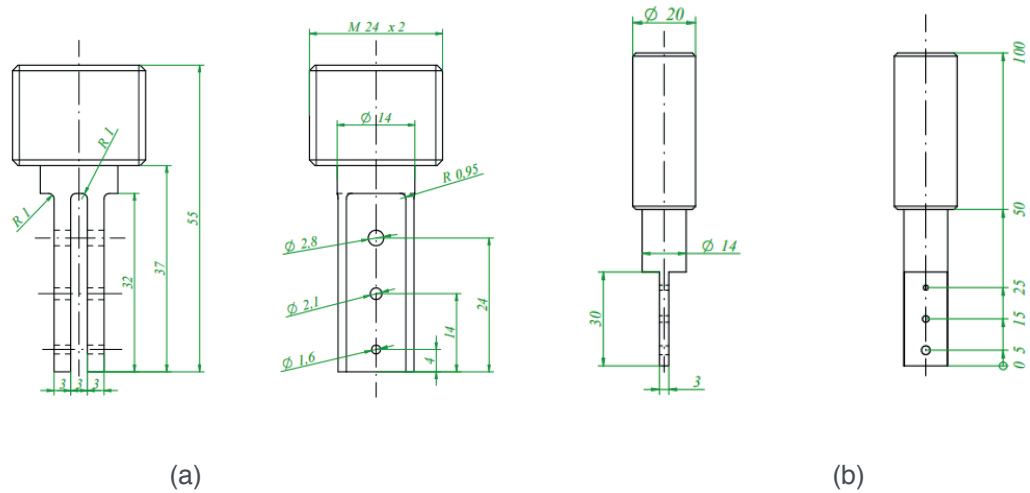


Figura 2: Desenho do dispositivo de ensaio de cisalhamento parte 1 (a) e parte 2 (b)

A resistência ao cisalhamento da amostra foi calculada, como:

$$\tau_{cp} = \frac{2 \cdot F_m}{\pi \cdot d^2}$$

Em que:

T_{cp} = Resistência ao cisalhamento (MPa)

F_m = Força máxima registrada (N)

d = Diâmetro médio do parafuso (mm)

Para avaliação da biodegradabilidade e da taxa de corrosão da liga AZ91, foram confeccionadas placas, conforme Figura 3. Para obter as dimensões de 20 x 20 mm e 1,3 mm de espessura, as placas foram primeiramente usinadas (centro de usinagem ROMI, modelo D600), e após lixadas (# 2000), e submetidas ao teste de corrosão com a utilização de um Potenciostato/galvanostato (Biologic SP-2000) com célula de corrosão de 250 mL com uma rede de platina como contraeletrodo e eletrodo de referência de calomelano saturado (SCE), em contato com a solução de *Simulated Body Fluid* (SBF). O pH da solução foi mantido em torno de 7,45. Os ensaios foram realizados em temperatura média de 37 °C por circulação de água externa em banho termostático. A área da placa de exposição ao ensaio foi de 1 cm². A composição da solução SBF utilizada foi: NaCl 8,03 g/L, NaHCO₃ 0,355 g/L, KCl 0,225 g/L, K₂HPO₄·3H₂O 0,311 g/L, MgCl₂·6H₂O 0,311g/L, 1,0 M HCl 39,0 mL, CaCl₂ 0,292 g/L, Na₂SO₄ 0,072g/L e tris ((OHCH₂)₃CNH₂) 6,118g/L.

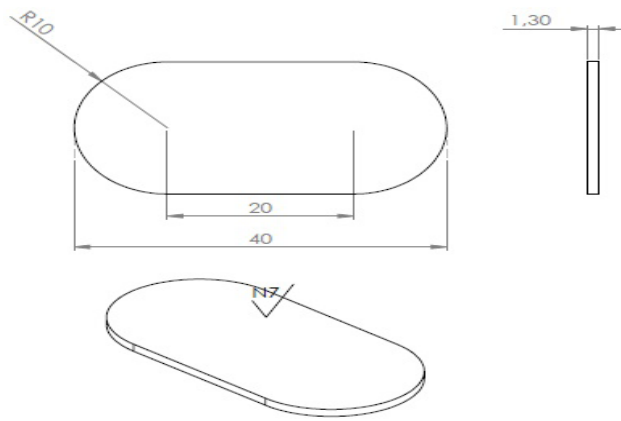


Figura 3: Desenho esquemático das placas (dimensões em mm).

Os testes foram realizados nos tempos de 15, 45, 60 e 120 min. Após um período de estabilização de 30 minutos na solução a espectroscopia de impedância eletroquímica foi obtida no potencial de circuito aberto (OCP) de 3 MHz a 100 mHz, com uma amplitude de tensão perturbativa de 5 mV. A polarização linear foi realizada por meio de uma velocidade de aplicação de potencial de 10 mV/min com uma variação de potencial de -500 mV vs Eoc até 500 mV, para determinação da taxa de corrosão. As medições electroquímicas foram determinados por espectroscopia de impedância. A polarização linear, usado para obter as taxas de corrosão, foi avaliada utilizando o software de CE-Lab. Foram realizados testes de corrosão por imersão, em temperatura média de 37°, com a utilização de três pinos imersos em 200 mL de solução SBF, por 3, 5 e 7 dias, respectivamente.

Para caracterização microestrutural e superficial, as amostras foram avaliadas via microscopia óptica (*Olympus, modelo BX41M-led*) e eletrônica de varredura (*Zeiss modelo MA10*), Para revelação das microestruturas do material na condição inicial, amostras extraídas do lingote foram lixadas e polidas e, posteriormente atacadas com reagente constituído de 5 ml de ácido acético e 95 ml de etanol.

3 | DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Na Figura 4 está apresentada a microestrutura obtida do lingote na sua condição de como recebido. Pode ser observada que a microestrutura é composta de fase alfa, com pequenas partículas precipitadas de fase beta (em menor quantidade) distribuídos nos contornos de grãos recristalizados. Pode também ser observada a ocorrência de pequenos poros na microestrutura do material, resultado do processo de solidificação.

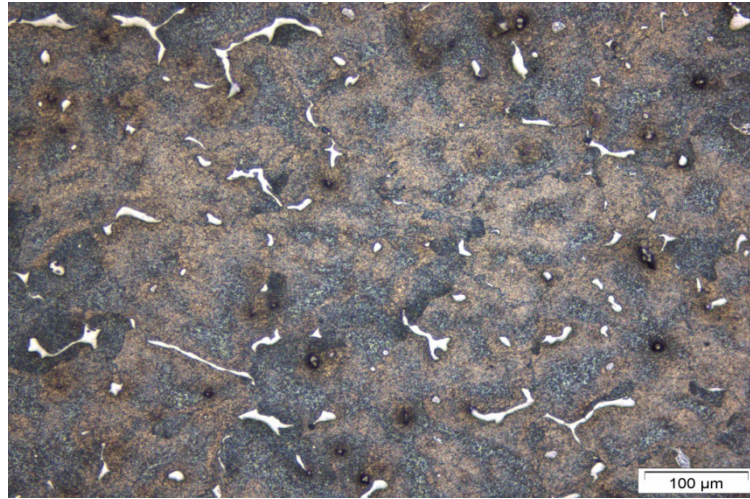


Figura 4 – Microestrutura da amostra de AZ91D fornecido.

Os implantes com dimensões $\varnothing 2,0 \times 10,5$ mm de comprimento fabricados no presente trabalho apresentaram uma resistência ao cisalhamento final de $94,3 \pm 8,1$ MPa, a qual ficou acima da resistência do osso cortical de 68 MPa ao cisalhamento (COWIN et al., 2001), satisfazendo a necessidade dos valores de resistência mecânica do material para superar os valores de resistência do osso cortical para uma fixação segura. Os ensaios de cisalhamento efetuados na presente série mensuraram os efeitos cisalhantes na direção perpendicular ao longo do eixo do implante. Este modo foi selecionado devido a este tipo de carga ser importante na prática onde o escorregamento dos fragmentos ósseos nos planos da fratura cria um cisalhamento similar.

Os implantes de fixação são fabricados para aproximar e estabilizar o osso, melhorando a resposta de cura e a união biológica. Dispositivos bioabsorvíveis devem fornecer resistência mecânica inicial apropriada para suportar os esforços, o que, em última instância, serão suportados pelo osso cicatrizado.

Como a resistência do dispositivo bioabsorvível diminui com sua degradação, a carga resultante é transferida para o osso, transformando-se em um estímulo mecânico para a remodelação óssea. Para o bom desempenho do implante, este deve satisfazer requisitos de resistência mecânica e taxa de degradação para ser aceito como seguro na fixação de fraturas. Dessa forma, esta série de experimentos teve como objetivo obter os valores de resistência mecânica dos parafusos fabricados neste trabalho e compará-los com os valores apresentados em dados disponíveis na literatura. Na Figura 5 está representado o parafuso após o ensaio de resistência ao cisalhamento e na Figura 6 é observada a superfície de fratura do parafuso após ensaio de cisalhamento.

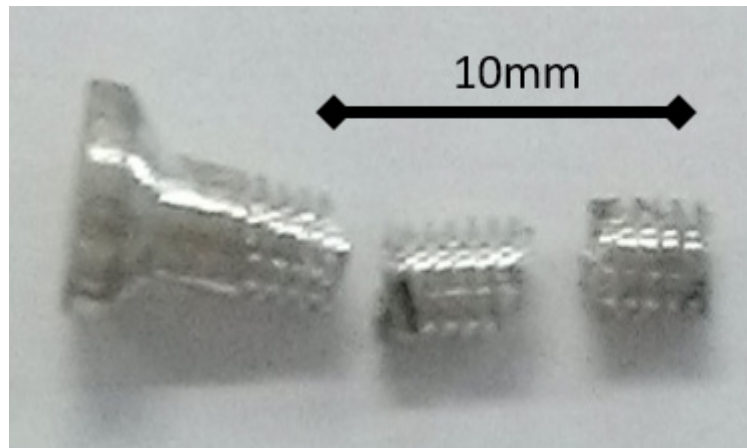


Figura 5: Parafuso de liga AZ91D submetido a cisalhamento duplo.

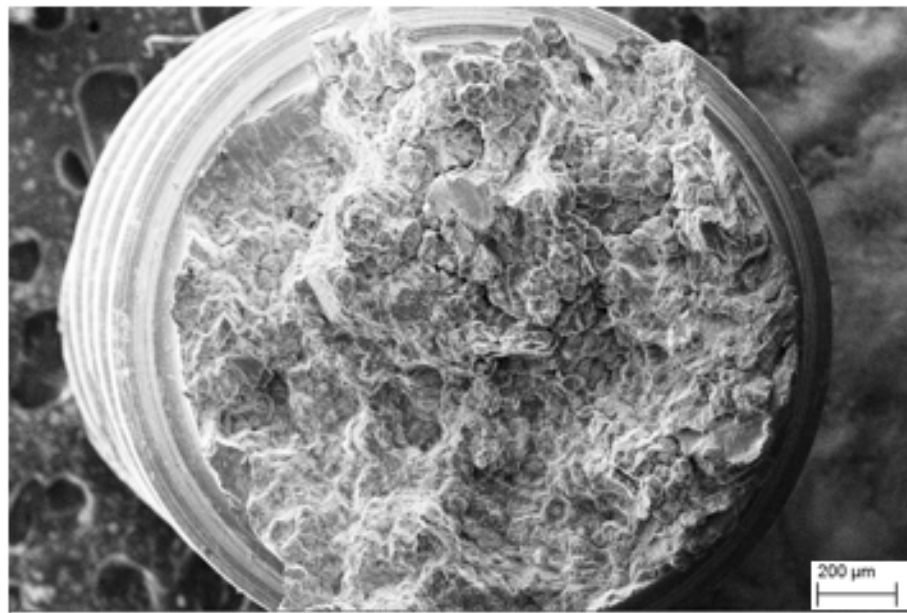


Figura 6 – Microestrutura de fratura do parafuso após ensaio de cisalhamento.

Os parafusos fabricados apresentaram baixa deformação plástica antes do seu rompimento. Isto resultou da presença de concentradores de tensão na liga fundida, da baixa coesão intergranular, e devido ao tipo de empacotamento atômico do magnésio (HC). De acordo com norma técnica, deformações inferiores a 3% em tração são esperadas nestas ligas. A média das medidas de dureza da superfície do parafuso foi de 68 HV.

Na Tabela 2 estão apresentadas as taxas de corrosão obtidas conforme o potencial de corrosão (E_{corr}) e corrente (I_{corr}) aplicados.

Tempo (min)	Ecorr (V)	Icorr (μA)	Taxa de corrosão (mm/a)
15	-1,644	38,759	0,85
45	-1,629	100,351	2,21
60	-1,614	65,400	1,44
120	-1,614	105,774	2,33

Tabela 2: Taxa de corrosão

Durante o ensaio de 60 minutos foi observado o turvamento da solução SBF, o que pode ter contribuído para a obtenção da taxa de corrosão de 1,44 mm/a, abaixo da taxa obtida no tempo de exposição de 45 min.

Na Figura 7 estão representadas as curvas de polarização da liga AZ91, nos respectivos tempos de 15, 45, 60 e 120 minutos.

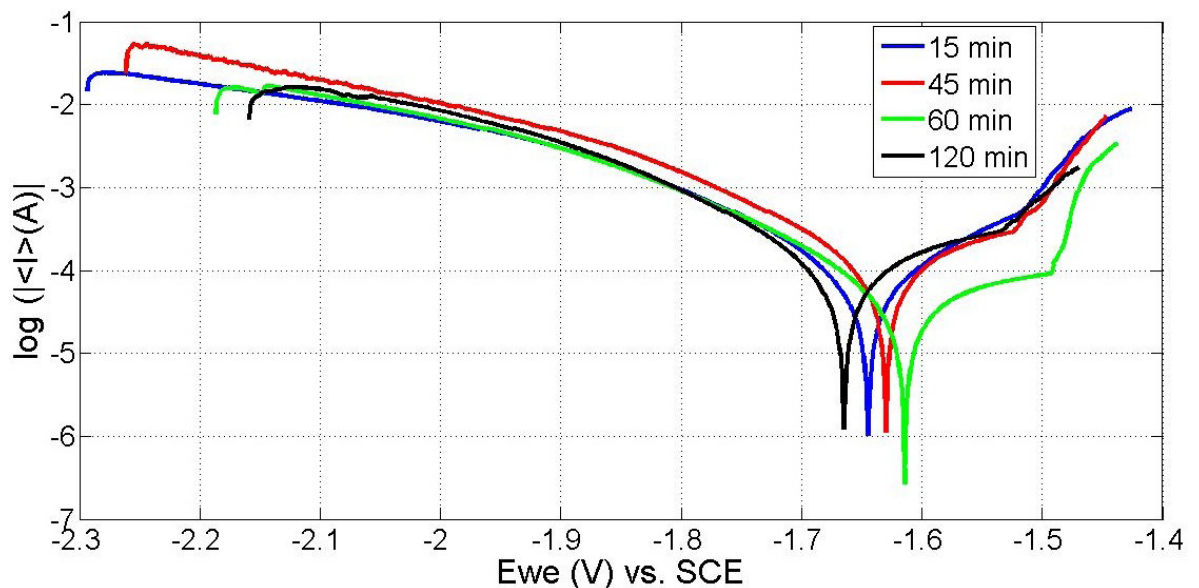


Figura 7: Curva de polarização da liga AZ91 em solução SBF.

O comportamento da liga foi praticamente constante, pequeno desvio foi obtido no tempo de 60 minutos. É importante salientar a sensibilidade da solução SBF, quanto a formação de precipitados de íons e consequente alteração no pH, o que pode ter contribuído para o desvio de comportamento.

Quanto à corrosão galvânica, o magnésio possui o mais elevado potencial de electronegatividade dos metais estruturais e, em consequência, uma grande tendência à polarização anódica em soluções salinas.

Em relação ao teste de corrosão por imersão, foi avaliada a superfície corroída dos parafusos após 3 dias de exposição. Nesse ensaio a perda de massa sofrida pelo parafuso em imersão foi 5 vezes menor que o valor inicial. Nos demais tempos 5 e 7 dias, respectivamente o parafuso foi totalmente corroído/dissolvido na solução SBF, fator esse monitorado pela alteração do pH, que ficou altamente alcalino.

Na Figura 8 é apresentada a superfície do parafuso produzido após 3 dias

de imersão na solução de teste. Nesta figura pode ser observada a ocorrência de corrosão localizada, de natureza não homogênea, e com maior intensidade na região de rosca do parafuso. A corrosão desenvolvida do tipo por pites é caracterizada a partir da propagação e coalescência de sítios e predominou nos parafusos produzidos. Este fato é importante, pois a corrosão por este mecanismo promove uma rápida incapacitação quanto ao suporte de carga destes elementos, o que poderia contribuir com uma falha prematura dos mesmos, caso aplicados em implantes. Outro fato é que possivelmente a deformação imposta no processo de abertura das roscas do parafuso teve impacto importante sobre o processo de corrosão, já que a alta concentração de defeitos cristalinos tende a aumentar o potencial de corrosão nessas regiões.

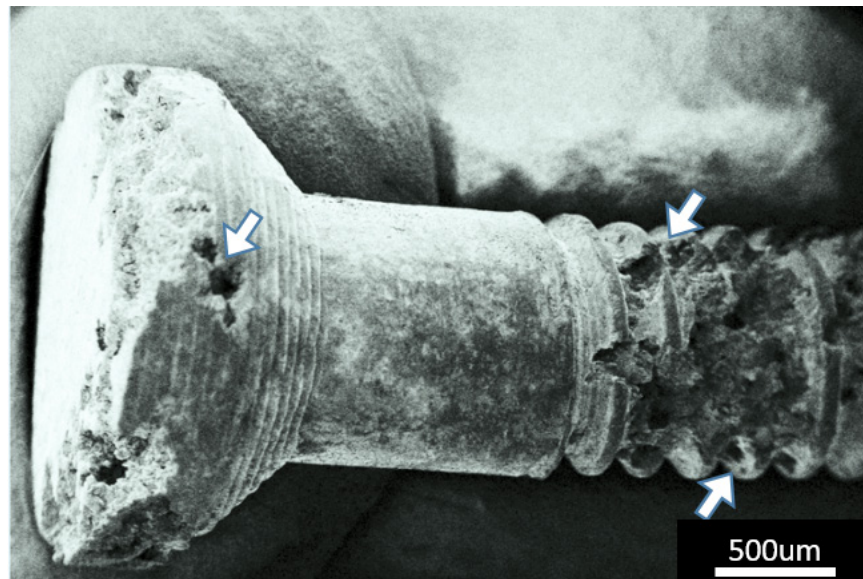


Figura 8: Parafuso após ensaio de corrosão por imersão em solução SBF. As setas indicam a ocorrência de corrosão localizada (pites) ao longo do corpo do parafuso.

4 | CONCLUSÕES

A liga AZ91D apresentou resistência ao cisalhamento superior a 94 MPa a qual está acima do valor de referência para aplicação em condições de implantes. Porém, nos ensaios de corrosão na solução que simula os fluidos corporais (SBF), foi determinada uma taxa de corrosão de 2,33mm/a, o que pode ser considerada alta e levaria rapidamente à degradação do material e de suas propriedades mecânicas. Aliada a isto, também o modo de ocorrência da corrosão, com o desenvolvimento de pites e localizada intensamente nas regiões das roscas, indica que o processo de fabricação tem forte efeito sobre a durabilidade dos artefatos produzidos com a liga AZ91D. A intensa deformação contribui de forma significativa na taxa de corrosão e, portanto, deve ser considerada no projeto dos artefatos produzidos com esta liga.

Por fim, maiores estudos ainda se fazem necessários para definir a relação quantitativa entre a taxa de corrosão e a deformação imposta, bem como os modos de

minimizá-las de forma eficiente.

AGRADECIMENTOS

À J. T. Langbehn, e F. A. Xavier pelo fornecimento do material utilizado no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

KIRKLAND, N.T. et al. ***A survey of bio-corrosion rates of magnesium alloys***. Corrosion Science. Volume 52, Issue 2, February, 2010. p287-291

STAIGER M.P et al. ***Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review***. Biomaterials, v.27, 2006. p1728-1734

WITTE, F. ***The history of biodegradable magnesium implants: A review***. Acta Biomaterialia, v.6, 2010. p1680-1692

XIN, Y; HU, T.; CHU, P.K. ***Invitro studies of biomedical magnesium alloys in a simulated physiological environment: A review***. Acta Biomaterialia, v.7, 2011. p1452-1459

ZHAO, D. *et al.* ***Current status on clinical applications of magnesium-based orthopaedic implants: A review from clinical translational perspective***, Biomaterials, v.112, 2017. p287-302

ZHENG, Y.F.; GU, X.N.; WITTE, F. ***Biodegradable metals***. Materials Science and Engineering: R: Reports, Volume 77, March 2014. p.1-34

ZHOU, Y. eT all. ***Microstructures, mechanical and corrosion properties and biocompatibility of as extruded Mg–Mn–Zn–Nd alloys for biomedical applications***. Materials Science and Engineering: C, Volume 49, 1 April 2015. p.93-100

SOBRE A ORGANIZADORA:

Marcia Regina Werner Schneider Abdala: Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-63-5

