

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 1 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-697-3 DOI 10.22533/at.ed.973190910 1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da. CDD 658.5
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 25 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A IMPORTÂNCIA DA (INTER) MULTIDISCIPLINARIDADE NAS ENGENHARIAS PARA O DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO DAS CIDADES INTELIGENTES	
Roberto Righi Roberta Betania Ferreira Squaiella	
DOI 10.22533/at.ed.9731909101	
CAPÍTULO 2	13
ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ENSINO E AVALIAÇÕES UTILIZADOS NA GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL	
Elaine Cristina Lengowski Carla Cristina Cassiano	
DOI 10.22533/at.ed.9731909102	
CAPÍTULO 3	26
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE POSTO DE TRABALHO EM UM ATELIÊ DE SOUVENIRS COM USO DOS MÉTODOS OWAS E DE SUZANNE RODGERS	
Jordy Felipe de Jesus Rocha Maria Vanessa Souza Oliveira Leila Medeiros Santos Bento Francisco dos Santos Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.9731909103	
CAPÍTULO 4	40
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA: ESTUDO DE CASO DE VIGILANTES	
Gustavo Francesco de Moraes Dias Diego Raniere Nunes Lima Renato Araújo da Costa Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho Fernanda da Silva de Andrade Moreira Hugo Marcel Flexa Farias Jessica Cristina Conte da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.9731909104	
CAPÍTULO 5	53
ESTILO DE LIDERANÇA QUE O ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO DEVE POSSUIR NA ÓTICA DOS ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO DA FACULDADE PARAÍSO DO CEARÁ	
Emmanuela Suzy Medeiros José Valmir Bezerra e Silva Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.9731909105	
CAPÍTULO 6	66
EVOLUÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A INDÚSTRIA NO BRASIL	
Lídia Silveira Arantes Thales de Oliveira Costa Viegas	
DOI 10.22533/at.ed.9731909106	

CAPÍTULO 7 80

**GOVERNANÇA, RESPONSABILIDADE SOCIAL E SUSTENTABILIDADE:
ENTENDENDO OS FENÔMENOS DE GESTÃO ORGANIZACIONAL**

Leonardo Petrilli
Denize Valéria dos Santos Baia
Juliana Fernanda Monteiro de Souza

DOI 10.22533/at.ed.9731909107

CAPÍTULO 8 93

**PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL DE UMA
ESCOLA DA REDE PÚBLICA MUNICIPAL DE PARAUAPEBAS**

Diego Raniere Nunes Lima
Renato Araújo da Costa
Gustavo Francesco de Moraes Dias
Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho

DOI 10.22533/at.ed.9731909108

CAPÍTULO 9 105

**ANÁLISE DO RISCO DE ACIDENTE CAUSADO PELA ALTA TEMPERATURA EM
ALTO-FORNO SIDERÚRGICO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA**

Diego Raniere Nunes Lima
Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho
Gustavo Francesco de Moraes Dias
Renato Araújo da Costa

DOI 10.22533/at.ed.9731909109

CAPÍTULO 10 120

**CONFECÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS
HIDRELÉTRICOS COM PERSPECTIVA À INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0**

Kariston Dias Alves
Gustavo Catusso Balbinot
Artur Vitório Andrade Santos

DOI 10.22533/at.ed.97319091010

CAPÍTULO 11 131

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE
TÉCNICA DE TERMELÉTRICAS A BIOMASSA NO BRASIL**

Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro
Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos
Luciano Gonçalves Noleto
Maria Vitória Duarte Ferrari
Tallita Karolline Nunes

DOI 10.22533/at.ed.97319091011

CAPÍTULO 12 143

**DESENVOLVIMENTO DE UM REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSÃO
MICROCONTROLADO UTILIZADO EM GERADORES SÍNCRONOS ISOLADOS**

Guilherme Henrique Alves
Lúcio Rogério Júnior
Antônio Manoel Batista da Silva
Wellington Mrad Joaquim

CAPÍTULO 13 157

**DESPACHO ÓTIMO DAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA
LUIS EDUARDO MAGALHÃES**

Henderson Gomes e Souza
Brunno Henrique Brito
Vailton Alves de Faria
Jabson da Cunha Silva

DOI 10.22533/at.ed.97319091013

CAPÍTULO 14 170

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ÓPTICA E TÉRMICA DE UM COLETOR
PARABÓLICO COMPOSTO COM E SEM EFEITO ESTUFA**

Joaquim Teixeira Lopes
Ricardo Fortes de Miranda
Keyll Carlos Ribeiro Martins
Camila Correia Soares

DOI 10.22533/at.ed.97319091014

CAPÍTULO 15 177

**EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENDURECIMENTO POR
PRECIPITAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS EM
LIGAS DE AL-SI-MG FUNDIDAS**

Albino Moura Guterres
Daniel Beck
Cláudio André Lopes de Oliveira
Juliano Poleze

DOI 10.22533/at.ed.97319091015

CAPÍTULO 16 186

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE PARA CONSUMIDORES DO GRUPO A**

Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho
Murilo Miceno Frigo
Gustavo Francesco de Moraes Dias
Diego Raniere Nunes Lima
Renato Araújo da Costa
Timóteo Gonçalves Braga

DOI 10.22533/at.ed.97319091016

CAPÍTULO 17 199

**GESTÃO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS
ELETRÔNICOS NA IMAGEM SOM ELETRÔNICA LTDA**

Carla Ruanita Pedroza Maia
Leila Medeiros Santos
Maria Vanessa Souza Oliveira
Bento Francisco dos Santos Júnior

DOI 10.22533/at.ed.97319091017

CAPÍTULO 18 212

INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Jean Carlos da Luz Pereira
Felipe Guimarães Ramos

DOI 10.22533/at.ed.97319091018

CAPÍTULO 19 225

INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DE MODIFICAÇÕES NA CÉLULA FOTOVOLTAICA MONOCRISTALINA DE SILÍCIO

Marcus André Pereira Oliveira
Ana Flávia de Sousa Freitas
Thiago Barros Pimentel
Adão Lincoln Montel

DOI 10.22533/at.ed.97319091019

CAPÍTULO 20 234

UMA APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA EXERGÉTICA DAS TURBINAS A VAPOR NAS INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS

Nancy Lima Costa
Maria de Sousa Leite Filha
Arthur Gilzeph Farias Almeida
Jaciera Dantas Costa
Antônio Daniel Buriti de Macêdo
José Nunes de Oliveira Neto
Jordany Ramalho Silveira Farias
José Jefferson da Silva Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.97319091020

CAPÍTULO 21 242

THE STEAM GENERATION CENTERS AS A VECTOR FOR THE SUGARCANE MILLS EVOLUTION TO THE SUCRO-ENERGETICS PLANTS FORMAT

Roque Machado de Senna
Henrique Senna
Rosimeire Aparecida Jerônimo

DOI 10.22533/at.ed.97319091021

CAPÍTULO 22 252

ANÁLISE DE CERTIFICADOS DIGITAIS EM DOMÍNIOS BRASILEIROS

Matheus Aranha
Diogo Pereira
Artur Ziviani
Fábio Borges

DOI 10.22533/at.ed.97319091022

CAPÍTULO 23 264

ANÁLISE DO IMPACTO DO ROTEAMENTO ALTERNATIVO EM REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS TRANSLÚCIDAS CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS DE DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE TRANSMISSÃO

Arthur Hendricks Mendes de Oliveira
Helder Alves Pereira

DOI 10.22533/at.ed.97319091023

CAPÍTULO 24	271
SENSORIAMENTO ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS	
Lidiane Bastos Dorneles Samuel dos Santos Cardoso Samanta Tolentino Ceconello Jocelito Saccol de Sá	
DOI 10.22533/at.ed.97319091024	
CAPÍTULO 25	283
TUTORIAL SOBRE REPETIDORES DE DADOS MÓVEIS	
Carine Mineto Lyang Leme de Medeiros Helder Alves Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.97319091025	
SOBRE O ORGANIZADOR	295
ÍNDICE REMISSIVO	296

EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENDURECIMENTO POR PRECIPITAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS EM LIGAS DE AL-SI-MG FUNDIDAS

Albino Moura Guterres

Instituto Federal Sul-rio-grandense
Passo Fundo - RS

Daniel Beck

Instituto Federal Sul-rio-grandense
Passo Fundo - RS

Cláudio André Lopes de Oliveira

Instituto Federal Sul-rio-grandense
Passo Fundo - RS

Juliano Poleze

Instituto Federal Sul-rio-grandense
Passo Fundo - RS

RESUMO: O objetivo do presente trabalho foi analisar os efeitos dos tratamentos térmicos na microestrutura, limite de resistência à tração e dureza em uma liga de Al-Si-Mg fundida. A possibilidade de substituição de ligas forjadas de Al-Mg-Si por ligas fundidas, permitindo redução de custos e aumento das propriedades mecânicas, motivou o estudo. A liga Al-3,8%Si-0,25%Mg foi preparada, fundida e solidificada em molde metálico. Amostras das seções transversais foram extraídas ao longo do comprimento dos lingotes para análises da microestrutura e realização dos ensaios de tração e dureza. Parte das amostras foram submetidas a tratamentos térmicos de endurecimento por precipitação. As microestruturas das amostras da liga, sem aplicação de tratamento

térmico, revelaram a presença de uma matriz Al- α , microconstituente eutético Al- α +Si, microconstituente eutético Al- α +Mg₂Si e intermetálicos Al₅FeSi e Al₁₅(Mn,Fe)₃Si₂. Após a realização dos tratamentos térmicos, identificou-se arredondamento nas partículas do microconstituente eutético Al- α +Si e a presença de grandes regiões de morfologia irregular do microconstituente eutético Al- α +Mg₂Si. Durante a análise das propriedades mecânicas, observou-se que, após o tratamento térmico, a dureza e o limite de resistência à tração das amostras aumentaram em torno de 31% e 34%, respectivamente, isso se deu em função da presença de partículas Mg₂Si precipitadas na matriz de Al- α .

PALAVRAS-CHAVE: Ligas Al-Si-Mg; Microestrutura; Tratamentos Térmicos; Propriedades Mecânicas.

EFFECTS OF HEAT TREATMENT OF HARDENING BY PRECIPITATION IN THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN AL-SI-MG CAST ALLOYS

ABSTRACT: The objective of the present work was to analyze the effects of thermal treatments on the microstructure, limit of tensile strength and hardness in a molten Al-Si-Mg alloy. The possibility of substitution of Al-Mg-Si alloys extruded by molten alloys, allowing reduction of

costs and increase of mechanical properties, motivated the study. The alloy Al-3,8% Si-0.25% mg was prepared, melted and solidified in metal mold. Samples of the cross sections were obtained along the length of the ingots for analysis of the microstructure and performance of tensile and hardness tests. Part of the samples were subjected to precipitation hardening thermal treatments. The microstructures of the alloy samples, without heat treatment, revealed the presence of an eutectic Al- α , eutectic Al- α + Si, eutectic Al- α + Mg₂Si matrix and the intermetallic Al₅FeSi and Al₁₅(Mn, Fe)₃Si₂. After heat treatments, the micro-constituents of Al- α + Si were rounded and regions of irregular morphology of the eutectic Al- α + Mg₂Si micro-constituent were present. During the mechanical properties analysis, it was observed that, after the heat treatment, the hardness and the tensile strength of the samples increased 31% and 34%, respectively, due to the presence of particles of Mg₂Si precipitated in the Al- α matrix.

KEYWORDS: Al-Si-Mg alloys; Microstructure; Thermal Treatments; Mechanical properties.

1 | INTRODUÇÃO

O uso de ligas de alumínio nas indústrias automotiva, aeronáutica e de fabricação de metais aumentou acentuadamente nas últimas décadas (Gopikrishna e Binu, 2013). A excelente fluidez, os custos de produção relativamente baixos, e a alta resistência em relação ao peso fazem das ligas de Al-Si-Mg uma opção atraente para produção de peças de alta resistência com baixo peso nas indústrias automotiva e aeroespacial (Serrano-Munoz *et al.*, 2016).

A maioria dessas ligas é utilizada na condição forjada devido a suas melhores respostas mecânicas e físico-químicas. No entanto, o requisito para reduzir o consumo de energia nos processos de fabricação aumentou a atenção no que diz respeito ao uso de componentes e peças na condição de fundição, diminuindo as etapas de fabricação e os custos de produção.

Na condição de fundição, as ligas binárias Al-Si são as mais importantes e utilizadas entre as ligas de alumínio, principalmente devido à sua excelente capacidade de fundição e resistência (Osorio *et al.*, 2008). A presença de Si e Mg permite que essas ligas sejam tratadas termicamente por endurecimento por precipitação (solubilização e envelhecimento), permitindo melhorar suas propriedades mecânicas, como dureza, resistência à tração e resistência à fadiga (Kaell, 2103).

As propriedades mecânicas das ligas fundidas de alumínio são significativamente dependentes de características microestruturais. Parâmetros estruturais como morfologia da macroestrutura, tamanho de grão, matriz dendrítica, porosidade e presença de impurezas são os aspectos mais importantes que afetam as propriedades metalúrgicas finais.

Embora existam numerosos estudos sobre as características das ligas à base de Al, a possibilidade de substituição de ligas forjadas de Al-Mg-Si por ligas fundidas, permitindo redução de custos e aumento das propriedades mecânicas, motivou o

presente estudo. Nessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo investigar a influência dos tratamentos térmicos na microestrutura e propriedades mecânicas em ligas de Al-Si-Mg fundidas.

2 | METODOLOGIA

Foi obtida uma liga do sistema Al-Si-Mg com a seguinte composição: Al-3,8%Si-0,25%Mg (% em massa). O sistema Al-Si-Mg foi escolhido devido à importância das ligas em aplicações na indústria automobilística e aeronáutica. Essa liga foi produzida a partir da fusão de alumínio primário, alumínio-silício (12% de silício) e magnésio metálico.

Foram produzidos 6 lingotes da liga, para análise da microestrutura e propriedades mecânicas. Para isso, a temperatura do metal líquido no forno foi mantida entre 720°C e 730°C. A temperatura de vazamento foi de 700°C. O metal líquido foi vazado em uma lingoteira, de aço inoxidável AISI 304, com diâmetro interno de 44 mm, altura de 180 mm e espessura de parede de 13 mm. A lingoteira foi pré-aquecida a 400°C e a solidificação ocorreu de forma natural.

A partir dos lingotes foram retiradas amostras da seção transversal circular utilizadas para a análise das características microestruturais e determinação das propriedades mecânicas. As amostras foram obtidas realizando cortes transversais ao longo do comprimento dos lingotes. As amostras retiradas ao longo do lingote foram obtidas a uma distância de 40 mm da base da lingoteira, conforme observa-se na Fig. 1(b). A metade amostras produzidos foram submetidas ao tratamento térmico de envelhecimento por precipitação, sendo a etapa de solubilização realizada na temperatura de 540°C ± 10°C, durante 6 h, seguido de resfriamento em água morna na temperatura entre 60°C ± 5°C. O envelhecimento artificial foi realizado na temperatura de 180°C, durante período de 4 horas.

Na análise da porosidade, foram utilizadas todas amostras da seção transversal circular. Essa análise antecedeu os demais procedimentos. As amostras foram analisadas por picnometria utilizando o Método de Arquimedes, conforme recomendação da norma ASTM B 311-93 [13], e usando a Eq. (1):

$$\% \text{ Poros} = [(\rho_T - \rho_A) / \rho_T] * 100 \quad (1)$$

onde ρ_T é a massa específica teórica da amostra (kg / m³); ρ_A é massa específica aparente da amostra (kg/m³); sendo a massa específica teórica (ρ_T) determinada pela massa específica dos elementos químicos e suas porcentagens de massa medidas por espectrometria de emissão ótica (OES).

Para duas amostras, sendo uma amostra bruta de solidificação e outra tratada termicamente, foram analisadas as fases da microestrutura, para isso, tornou-se necessário a realização de análise micrográfica. Na realização da análise da

micrografia, de cada amostra circular foi retirada uma amostra de seção quadrada de aproximadamente 15x15 mm, como observa-se na Fig. 1(c), na seção transversal em destaque realizou-se procedimentos de lixamento e polimento e ataque com solução de 5% HF (95 ml de H₂O + 5 ml de HF) para revelação da micrografia.

Para a análise da microestrutura foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV-FEG), modelo F50, da marca Inspect, com acessório de microanálise por EDS (espectroscopia de energia dispersa). Na análise da microestrutura foi usado o detector BSE (elétrons retroespalhados), onde se conseguiu distinguir os precipitados através das tonalidades. A identificação da composição química dos precipitados presentes foi obtida pela técnica de EDS.

Na sequência, as amostras de seção transversal restantes (brutas de solidificação e tratadas termicamente) foram utilizadas para medição de dureza. Após, foram retirados de cada amostra dois corpos de prova para ensaio de tração, sendo obtido no total, 4 corpos de prova para cada condição. Na Figura 1(d) observa-se as amostras onde foram realizados os ensaios de dureza (seção transversal em destaque) e onde foram retirados os corpos de prova para ensaio de tração. Os corpos de prova, para ensaio de tração foram obtidos com dimensões reduzidas proporcionais ao modelo padrão, conforme especificado pela norma ASTM E8M-03.

Para obtenção das durezas nas amostras aplicou-se as técnicas de ensaio de dureza Brinell. Para isso, utilizou-se um Durômetro Brinell, um penetrador esférico de aço de Ø 5 mm, uma carga de 2500 N (250 kgf) e tempo de penetração de 20 segundos, segundo a norma ABNT NBR NM ISO 6506-1:2010. Foram realizadas três medidas em cada amostra.

Os ensaios de tração, para determinação do limite de resistência à tração foram executados utilizando a máquina de ensaios, com capacidade de 10.000 N, sistema de aquisição de dados do próprio fabricante, com uma velocidade de ensaio em torno de 4 mm/s. Os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM E8M-03.

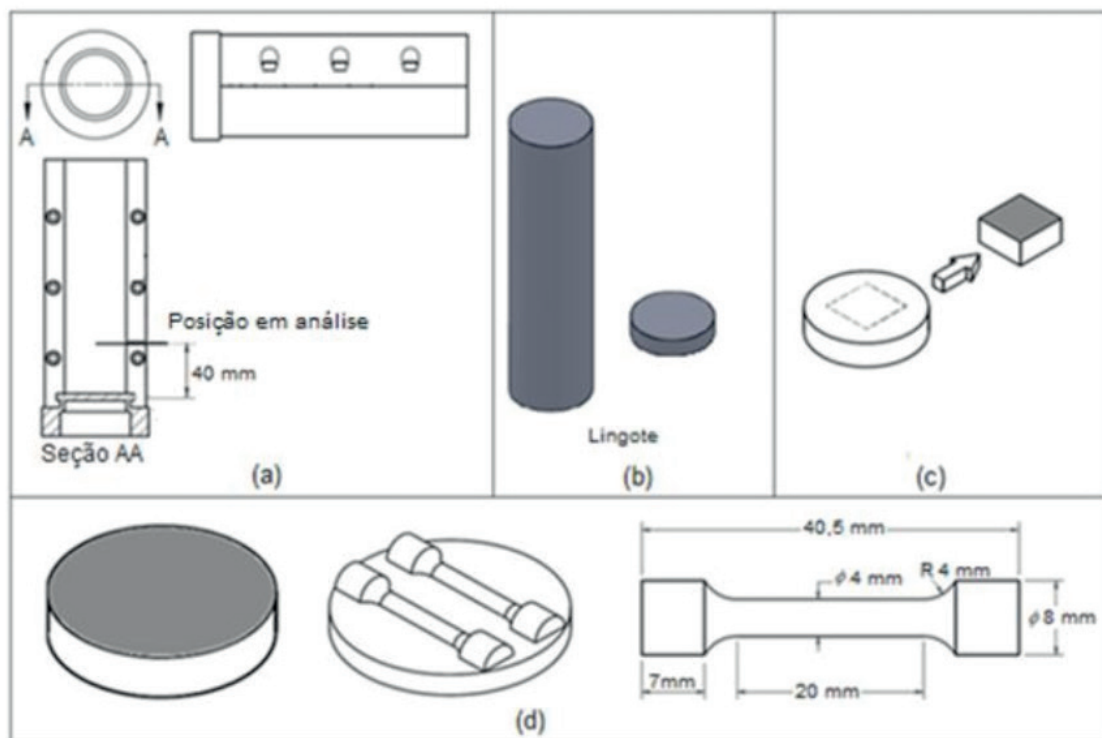


Figura 1. (a) Representação esquemática do molde (b, c, d) representação do lingote e amostras extraídas para metalografia e ensaios mecânicos.

Por fim, analisou-se a influência dos tratamentos térmicos nas fases da microestrutura e nas propriedades mecânicas de dureza e limite de resistência a tração na liga fundida Al-3,8%Si-0,25%Mg.

3 | RESULTADOS

Em todos os processos de fusão e solidificação, as temperaturas de fusão, de vazamento e aquecimento da lingoteira mantiveram-se iguais, com isso, a taxa de resfriamento manteve-se praticamente constante nas diferentes posições ao longo do lingote. Durante a solidificação, segundo Patakham *et al.* (2013), a taxa de resfriamento é a variável térmica de maior influência nas variações do tamanho de grão e dos espaçamentos dendríticos secundários. Segundo Dong *et al.* (2012), os espaçamentos dos braços dendríticos secundários e o tamanho de grão apresentam influência nas propriedades mecânicas das ligas de alumínio. Sendo assim, devido à taxa de resfriamento apresentar-se praticamente constante, os espaçamentos dos braços dendríticos secundários e o tamanho de grão, nas amostras, deverão apresentar pequenas variações, que não irão influenciar na variação das propriedades mecânica das ligas em estudo.

A partir dos dados obtidos sobre a porosidade, pôde-se observar nas amostras um percentual volumétrico médio de porosidade de 1,23% com um desvio padrão de 0,19%. As amostras apresentam pequena variação do percentual volumétrico, desta forma a porosidade não irá influenciar na variação das propriedades mecânicas da

liga.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) foram usadas para identificar as fases e os precipitados nas amostras para ambas as condições. Na Figura 2(a) observamos que amostras nas condições brutas de solidificação apresentaram uma matriz de Al- α (áreas cinzas) e estruturas e compostos intermetálicos diferentes nas zonas interdendríticas. A estrutura em forma de escrita chinesa é composta por Al, Si, Mn e Fe, já a estrutura em forma de agulha, com coloração branca, é composta por Al, Si e Fe. Em relação às estruturas contendo Ferro, segundo Taylor (2012) e Budmeshki *et al.* (2015), os intermetálicos em formato de agulhas possuem estrutura com a composição β -Al₅FeSi, e conforme Taylor (2012), os intermetálicos do tipo escrita chinesa massiva possuem estrutura com a composição Al₁₅(Mn, Fe)₃Si₂. A matriz com coloração mais escura, conforme observado pela composição química, trata-se da matriz Al- α . A fase de coloração cinza claro, apresenta na sua composição Si e Al, o que pode caracterizá-lo como o microconstituente eutético Al- α +Si. Já a estrutura com teores elevados de silício e magnésio de forma circular, segundo Emamy *et al.* (2013), são os microconstituintes eutéticos de Al- α +Mg₂Si.

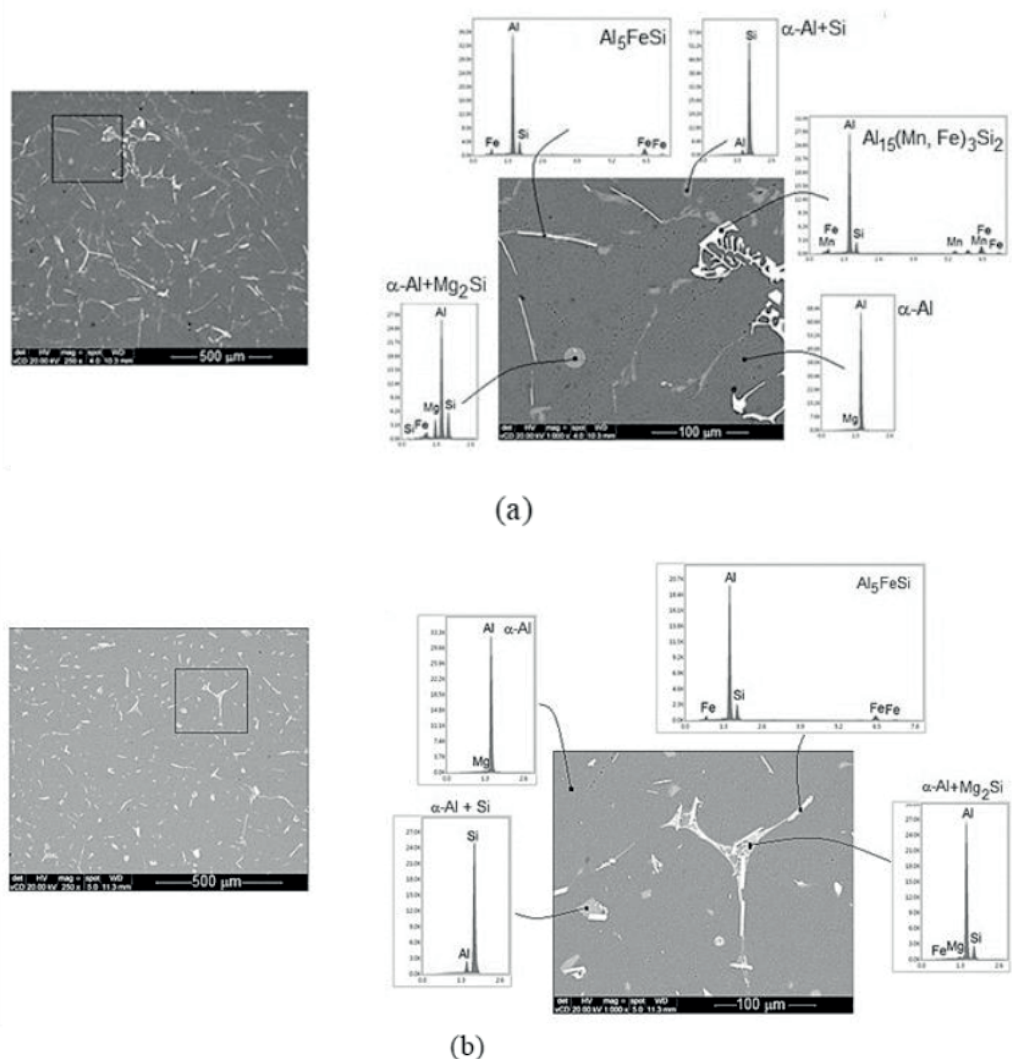


Figura 2. Imagens MEV e análise EDS de (a) Liga na condição bruta de solidificação e (b) Liga na condição tratada termicamente.

Após o tratamento térmico, as amostras foram analisadas para verificar a dissolução das partículas de Mg_2Si . A Figura 2(b) apresenta imagens metalográficas da liga. Ocorreu a dissolução das estruturas eutéticas $\alpha-Al + Mg_2Si$ em grandes colônias com morfologia fibrosa. Os intermetálicos massivos de $Al_{15}(Mn, Fe)_3Si_2$, em forma de escrita chinesa, apresentaram uma dissolução parcial, modificando a morfologia anterior para uma morfologia irregular em blocos. As partículas intermetálicas $\beta-Al_5FeSi$ não apresentaram evidências de modificação significativa, e esse comportamento está de acordo com o apresentado por Yildirim e Ozyurek (2013). A estrutura $\alpha-Al + Si$ eutético também são relativamente afetadas pelo tratamento térmico, se tornando mais arredondadas, como relatado por Gopikrishna e Binu (2013).

Os resultados dos testes de dureza e tração são apresentados na Tab. 1. Nota-se que as amostras tratadas termicamente apresentam maior dureza em comparação com as amostras nos estados brutos de solidificação. Os maiores valores de dureza foram observados devido aos teores de Mg e Si, os principais responsáveis pela formação de Mg_2Si . Após o tratamento térmico, observou-se a precipitação de colônias com morfologia fibrosa do microconstituente eutético de $Al-\alpha+Mg_2Si$ (Fig. 2b) que contribuem para o endurecimento (Kaygisiz e Marasli, 2015).

Condição	Dureza Brinell [HBW/5/250]		Limite de resistência a tração [MPa]	
	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
Brutas de solidificação	51	0,42	120,7	2,76
Tratadas termicamente	67	0,31	162,2	9,40

Tabela 1. Dureza e Limite de resistência à tração das amostras nas condições brutas de solidificação e tratadas termicamente

Conforme a Tabela 1, observa-se que as amostras tratadas termicamente apresentam maiores limites de resistência à tração. Em geral, o aumento nos valores de resistência após o tratamento térmico é causado pela precipitação da segunda fase, principalmente o Mg_2Si . Estes precipitados estão fortemente ligados à distribuição mais homogênea da matriz dendrítica, atuando como obstáculos ao deslocamento durante o processo de escorregamento, melhorando a resistência à tração da liga (Yildirim e Ozyurek, 2013).

4 | CONCLUSÃO

Nesta etapa apresenta-se as principais conclusões de acordo com os resultados obtidos:

- O estudo revelou que às microestruturas das amostras nos estados brutos de solidificação, apresentaram a presença de uma matriz $Al-\alpha$, e das seguintes estruturas: o microconstituente eutético $Al-\alpha+Si$; microconstituente eutético $Al-\alpha+Mg_2Si$; e os intermetálicos $\beta-Al_5FeSi$ e $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$. Após a realização do tratamento térmico de endurecimento por precipitação, identificou-se na microestrutura das ligas

o arredondamento das partículas do microconstituente eutético com Si (Al- α +Si) e a presença de colônias com morfologia fibrosa do microconstituente eutético com Mg₂Si (Al- α +Mg₂Si). Os intermetálicos ricos em Fe, principalmente a fase β -Al₅FeSi quase não foram afetadas pelo tratamento térmico adotado.

- Constatou-se que o tratamento térmico de endurecimento por precipitação proporcionou um aumento de aproximadamente 34% no limite de resistência à tração e de aproximadamente 31% na dureza, em relação aos resultados obtidos na condição bruta de solidificação. Dessa forma, conclui-se que a Liga Al-3,8%Si-0,25Mg respondeu bem ao tratamento térmico, já que ocorreu a precipitação da fase Mg₂Si na matriz de Al- α , como observa-se nas grandes colônias do microconstituente eutético Al- α +Mg₂Si, base do endurecimento por precipitação e responsável pela boa resistência à tração.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR NM ISO 6506-1:2010. **Materiais metálicos – Ensaio de dureza Brinell**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.

American Society for Testing and Materials, Philadelphia. ASTM Standard B311-93; **Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity**. PA

ASTM E 8M – 04. **Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.

Bidmeshki, C.; Abouei, V.; Saghafian, H.; Shabestari, S.G.; Noghani, M.T. **Effect of Mn addition on Fe-rich intermetallics morphology and dry sliding wear investigation of hypereutectic Al-17.5%Si alloys**. Journal of Materials Research and Technology, v. 5, n. 3, p. 250–258, 2016.

Dong, Q-Z; Choi, Y-S; Hong, J-H; Hwang, H-Y. **Prediction of mechanical properties of Al alloys with change of cooling rate**. Overseas Foundry, v.9 n.4, 2012.

Emamy, M.; Emami, A.R.; Khorshidi, R.; Ghorbani, M.R. **The effect of Fe-rich intermetallics on the microstructure, hardness and tensile properties of Al–Mg₂Si die-cast composite**. Materials & Design, v. 46, p. 881-888, 2013.

Gopikrishna, S.; Binu, C. Y. **Study on effects of T6 heat treatment on grain refined A319 alloy with magnesium and strontium addition**. International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering, v. 2, n. 3, p. 59-62, 2013.

Kaleel, A. J. **Study the effect of solution treatment on mechanical properties of Al-7%Si-0.3%Mg alloy**. Natural and Applied Sciences, v. 4, n. 4, p. 195-200, 2013.

Kaygisiz, Y.; Marasli, N. **Microstructural, mechanical and electrical characterization of directionally solidified Al–Si–Mg eutectic alloy**. Journal of Alloys and Compounds, v. 618, p. 197-203, 2015.

Osório, W. R.R.; Goulart, P. R.; Garcia, A. **Effect of silicon content on microstructure and electrochemical behavior of hypoeutectic of Al-Si alloys**. Materials Letters, v. 62, p. 365-369, 2008.

Patakham, Ussadawut; Kajornchaiyakul, Julathep; Limmaneevichitr, Chaowalit. **Modification**

mechanism of eutectic silicon in Al-6Si-0.3 Mg alloy with scandium. Journal of Alloys and Compounds, v. 575, p. 273-284, 2013.

Serrano-Munoz, I; Buffiere, J. Y; Verdu, C; Y. Gaillard, Y; Mu, P; Nadot, Y. **Influence of surface and internal casting defects on the fatigue behaviour of A357-T6 cast aluminium alloy.** International Journal of Fatigue, Volume 82, Part 3, pp. 361-370, 2016.

Taylor, J.A. **Iron-containing intermetallic phases in Al-Si based casting alloys.** Procedia Materials Science, v. 1, p. 19-33, 2012.

Yildirim, M.; Ozyurek, D. **The effects of Mg amount on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys.** Materials and Design, 51, pp. 767-774, 2013.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alto forno 105, 108

B

Bancada didática 120, 123, 129, 273, 274, 277, 281, 282

C

Cartografia 131

Casca de arroz 131, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Cidades Inteligentes (CI) 1, 5, 7, 8

Comissionamento das unidades hidrelétricas 157, 165, 167

Concentrador solar 170

Conscientização ambiental 93

CPC 170, 171, 172, 175, 176

D

Dimensionamento 170, 171, 175, 176, 193

E

Educação ambiental 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Educação na escola 93

Energia solar 170, 171, 186, 187, 228, 233

Engenheiro de produção 53, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64

Ensino universitário 13

Ergonomia 26, 27, 28, 35, 40, 41, 42, 51, 52, 58, 295

Estilo de liderança 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

F

Fenômenos organizacionais 80

Função de produção hidrelétrica 160, 169

G

Gerador síncrono isolado 143

Governança corporativa 80, 82, 88, 89, 90, 91

I

Índice de aproveitamento 13

Indústria 4.0 120, 122, 123, 125, 126, 128, 129, 130

Inovação 3, 6, 7, 8, 57, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 281, 295

(Inter) Multidisciplinaridade 1, 2, 9

L

Liderança 38, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65

M

Método de Suzanne Rodgers 26, 28, 29, 34

Métodologias ativas 13

Método OWAS 26, 42, 44, 45, 50, 51

Microcontrolador PIC 143

Miniusinas 131, 139

O

Óptica 170, 175, 264, 265, 266, 268, 282, 285, 286, 287

P

Plano diretor 1

Política industrial 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79

Política pública 66

Prevenção a acidentes 105

Programação não-linear inteira-mista 157, 158, 162

Projetos urbanos 1

Q

Questionário nórdico 26, 30, 34, 37

R

Regulador automático de tensão 143, 144, 145, 149, 150

Responsabilidade social 58, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 200

S

Saúde do colaborador 26

Segurança do trabalho 38, 40, 52, 58, 295

Sistema de excitação 143, 145

Sistemas hidrelétricos 120, 121, 123, 124, 129, 130, 157

Sustentabilidade 7, 10, 58, 71, 80, 82, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 104, 295

T

Tecnologia da informação e comunicação (TIC) 1, 2, 3, 12

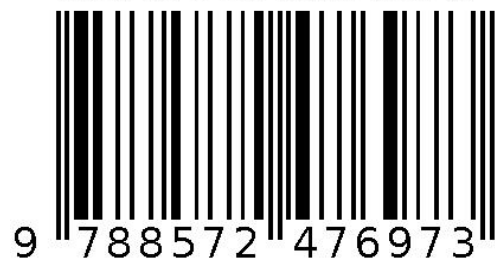
Temas transversais 93, 96, 98, 103, 127

Temperatura 36, 37, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 116, 117, 118, 143, 147, 170, 172, 173, 174, 175, 179, 218, 220, 225, 226, 227, 229, 230, 231, 232, 233, 238, 282

V

Vigilância 40, 45, 47, 50

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-697-3



9 788572 476973