

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS



MICHAEL JOSÉ BATISTA DOS SANTOS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS



MICHAEL JOSÉ BATISTA DOS SANTOS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Amanda Kelly da Costa Veiga
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Michael José Batista dos Santos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de minas e materiais / Organizador Michael José Batista dos Santos. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-641-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.413211211>

1. Engenharia de minas. 2. Engenharia de materiais. I. Santos, Michael José Batista dos (Organizador). II. Título.

CDD 622

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A obra “Coleção desafios das engenharias: Engenharia de minas e materiais” versa sobre áreas interdisciplinares inerentes a extração e concentração mineral, além do aproveitamento dos recursos naturais alternativos, de biopolímeros, e avaliação de microestruturas em ligas metálicas.

A coleção reúne trabalhos, estudos de caso, pesquisas e análises desenvolvidas em laboratório, capazes de contribuir com o desenvolvimento científico e tecnológico na mineração, através de metodologias passíveis de implementação de melhorias de processos produtivos nas etapas de lavra e beneficiamento mineral. Da mesma forma, a obra traz compreensão da engenharia de materiais referente ao comportamento de materiais metálicos e o desenvolvimento de novos materiais provenientes de recursos renováveis e ambientalmente amigáveis.

Estes são trabalhos que tem como foco principal oferecer soluções de engenharia pertencentes da indústria mineral e de materiais, as quais são discutidos cientificamente de forma objetiva e eficiente nos capítulos desta coleção.

Em suma, parabênizo os autores dos capítulos não unicamente pelo conhecimento científico compartilhado, como também pela abordagem concisa e didática nesta publicação.

Ademais, desejo que esta seja uma leitura técnica e reflexiva, que sirvam de pilar e provocação pela busca de melhoria contínua de processos e do desenvolvimento científico-tecnológico nas engenharias, e que contribua na construção de novas soluções para os grandes desafios, sobretudo das área de mineração e de materiais.

Michael José Batista dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DA MAIOR PILHA DE ESTÉRIL DO COMPLEXO MINERADOR DE FERRO CARAJÁS

Michael José Batista dos Santos
Glauce Wivyanne Oliveira Costa
Denilson Andrade Torres
Irineu Antônio Schadach de Brum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112111>

CAPÍTULO 2..... 14

AVALIAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS EM UM DEPÓSITO MINERAL DE CALCÁRIO CALCÍTICO

Nayara Augustino Amorim
Júlio César de Souza
Jorge Luiz Valença Mariz
Suelen Silva Rocha
Gabriel Filinkoski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112112>

CAPÍTULO 3..... 27

DESIGN OF A SELECTIVE FLOTATION SYSTEM FOR A CU-ZN ORE, ASSOCIATED TO HIGH PYRITE-PYRRHOTITE CONTENTS (>25%)

Prieto-Díaz Ma. de J.
Hernández-Salazar Ma. M.
Corona-Arroyo M.A.
Elorza-Rodríguez E.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112113>

CAPÍTULO 4..... 35

COMPARAÇÃO DA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DE LIGAS DE AL-SI FUNDIDAS SOB GRAVIDADE, ALTA E BAIXA PRESSÃO

Margarete Sabino de Moura
Josiel Bruno de Oliveira
Debora Silva Costa
Roger Hoel Bello
Adalberto Gomes de Miranda
José Costa de Macêdo Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112114>

CAPÍTULO 5..... 43

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, QUÍMICA E MORFOLÓGICA DAS FIBRAS DE CIPÓ TITICA (*Heteropsisriedeliana Schott*) E POLIPROPILENO RECICLADO, VISANDO A APLICAÇÃO EM COMPOSITOS POLIMÉRICOS

Talisson Sousa Oliveira
Josiel Bruno de Oliveira

Roger Hoel Bello
Adalberto Gomes de Miranda
José Costa de Macêdo Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4132112115>

SOBRE O ORGANIZADOR	55
ÍNDICE REMISSIVO.....	56

COMPARAÇÃO DA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DE LIGAS DE AL-SI FUNDIDAS SOB GRAVIDADE, ALTA E BAIXA PRESSÃO

Data de aceite: 01/11/2021

Margarete Sabino de Moura

Universidade do Estado do Amazonas
Departamento de Engenharia de Materiais
Manaus-Amazonas

Josiel Bruno de Oliveira

Universidade do Estado do Amazonas
Departamento de Engenharia de Materiais
Manaus-Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/1440636625327539>

Debora Silva Costa

Universidade do Estado do Amazonas
Departamento de Engenharia de Materiais
Manaus-Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/2500080101566635>

Roger Hoel Bello

Universidade do Estado do Amazonas
Departamento de Engenharia de Materiais
Manaus-Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/0479686945106210>

Adalberto Gomes de Miranda

Universidade do Estado do Amazonas
Departamento de Engenharia de Materiais
Manaus-Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/0031798088948641>

José Costa de Macêdo Neto

Universidade do Estado do Amazonas
Departamento de Engenharia de Materiais
Manaus-Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/7868540287547126>

propriedades mecânicas, as ligas de Al-Si são bastante utilizadas na indústria automotiva e aeroespacial. Amatriz da microestrutura do material é um fator decisivo para o alcance das propriedades mecânicas desejadas. Com isso, o processo de fundição influencia de forma decisiva, já que determina o grau de finura e a homogeneidade da microestrutura, assim como a porosidade do material. Foram avaliadas a microestrutura e microdureza de amostras fundidas sob gravidade, alta e baixa pressão através de ensaio metalográfico de acordo com a norma NBR 30284. A microestrutura da liga processada por alta pressão apresentou-se mais refinada que a fundida por baixa pressão, sendo que esta não apresentou porosidade caracterizando continuidade de propriedade mecânica. A dureza da peça fundida sob gravidade e tratada termicamente foi maior dentre as amostras estudadas devido ao silício eutético da sua microestrutura apresentar morfologia esferoidizada no contorno do grão dendrítico.

PALAVRAS-CHAVE: liga Al-Si; fundição; microestrutura; microdureza.

COMPARISON OF THE MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS OF AL-SI ALLOYS CASTED UNDER GRAVITY, HIGH AND LOW PRESSURE

ABSTRACT: Due to their excellent mechanical properties, Al-Si alloys are widely used in the automotive and aerospace industries. The matrix of the material's microstructure is a decisive factor in achieving the desired mechanical properties. Thus, the casting process has a decisive

RESUMO: Devido às suas excelentes

influence, as it determines the degree of fineness and homogeneity of the microstructure, as well as the porosity of the material. The microstructure and microhardness of samples cast under gravity, high and low pressure were evaluated through metallographic testing according to the NBR 30284 standard. The microstructure of the alloy processed by high pressure was more refined than the cast by low pressure, and this did not show porosity characterizing continuity of mechanical property. The hardness of the casting under gravity and heat treated was higher among the studied samples due to the eutectic silicon of its microstructure presenting a spheroidal morphology like dendrite grain structure.

KEYWORDS: Al-Si alloy; foundry; microstructure; microhardness.

1 | INTRODUÇÃO

O alumínio é o elemento mais abundante na crosta terrestre, da ordem de 8,05% da crosta terrestre sólida (ZANGRANDI, 2008), encontrado na forma de óxido de alumínio ou alumina (Al_2O_3), sendo o minério mais importante a bauxita ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$), com teor aproximado de óxido de alumínio entre 35 a 45% (ABAL, 2007).

O alumínio possui ponto de fusão de 660°C e densidade de 2,70 g/cm³ quando na pureza de 99,80%. A resistência à corrosão é outra característica importante do alumínio que o faz adquirir maior durabilidade a ambientes agressivos (LIMA, 2011)

Muitos elementos metálicos podem ser combinados com o alumínio para formar as suas ligas, sendo os mais utilizados: cobre, magnésio, manganês, silício e o zinco (MOREIRA, 2011; FURLAN, 2008). Dentre esses elementos, destaca-se o silício que é bastante útil na produção das ligas de alumínio em fundição (LIMA, 2012)

Devido a sua excelente fluidez, as ligas Al-Si proporcionam um ótimo preenchimento de moldes para fundição, permitindo a produção de peças de elevada complexidade dimensional, sendo selecionadas como material ideal à fabricação de rodas de ligas leves (MANENTE & TOMELLI, 2011). As ligas Al-Si são, portanto, excelentes materiais para componentes estruturais da indústria automotiva e aeroespacial pela elevada relação resistência/peso.

A fundição é o processo em que se dá forma geométrica adequada ao metal, vertendo-o no estado fundido dentro de uma cavidade feita no interior de uma moldação (conjunto de elementos em materiais apropriados que definem o molde), para após solidificação se obter a peça moldada (FERREIRA, 1999).

Os processos de fundição realizados neste trabalho foram em molde permanente (coquilha) sob gravidade, alta e baixa pressão, sendo que na amostra fundida por gravidade houve posterior tratamento térmico de precipitação.

Na fundição por gravidade em moldações permanentes o metal líquido é vazado por pressão gravítica num molde metálico, constituído por duas ou mais partes, o qual é usado repetidamente para a produção de peças com a mesma forma. Para definir as cavidades das peças vazadas são usualmente feitos machos simples removíveis em metal,

mas alguns mais complexos são feitos em areia ou cerâmica. (TORRES, 2000).

Na fundição sob pressão o metal líquido é forçado a penetrar na cavidade do molde (coquilha), chamado matriz e assim como na fundição por gravidade a mesma é de natureza permanente podendo ser usada por inúmeras vezes. Devido à pressão e à conseqüente alta velocidade de enchimento da cavidade do molde, o processo possibilita a fabricação de peças de formas bastante complexas e de paredes finas que os processos por gravidades não permitem (BRITO *et. al*, 2010). No processo de fundição por baixa pressão o alumínio toma a forma da cavidade do molde por ação de baixa pressão externa de ar ou nitrogênio da ordem de 0,3 kgf/cm². Neste processo, o alumínio líquido fica armazenado em forno a temperatura da ordem de 750° C, ar externo é introduzido no forno e o alumínio líquido é forçado a tomar a cavidade do molde (MILLER, MAIJER, 2006).

As peças brutas de fusão possuem baixa resistência mecânica devido a sua microestrutura dendrítica grosseira. A sua resistência mecânica poderá ser aumentada por meio de adição de nucleantes, altas taxas de extração de calor e tratamento de solubilização e envelhecimento artificial ou natural, produzindo precipitação de fase intermetálica (BRITO *et. al*, 2010).

As ligas Al-Si-Cu respondem a esse tratamento térmico de solubilização aumentando sua resistência mecânica. Primeiramente, o metal é aquecido uniformemente até cerca de 500 °C, sendo que a temperatura exata depende da liga em particular. Isto ocasiona a dissolução dos elementos de liga na solução sólida (tratamento de solução). Então, segue-se um resfriamento rápido, geralmente em água, que previne temporariamente que estes constituintes se precipitem. Esta condição é instável e, gradualmente, os constituintes precipitam-se de maneira extremamente fina (somente visível através de potentes microscópios), alcançando, assim, o máximo efeito de endurecimento (envelhecimento). Em algumas ligas isto ocorre, espontaneamente, depois de alguns dias (envelhecimento natural), enquanto que em outras ocorre através de reaquecimento por algumas horas a cerca de 175 °C (tratamento de precipitação) (CALLISTER, 2020)

O desenvolvimento das ligas de alumínio com alta resistência térmica também é prioridade no direcionamento estratégico das atividades de pesquisa e desenvolvimento, para que as propriedades do material sejam adequadas à aplicação desejada. A matriz da microestrutura do material é decisiva para o alcance das propriedades mecânicas. Desta forma, por exemplo, o processo de fundição tem um papel decisivo, já que ele determina o grau de finura e a homogeneidade da microestrutura, assim como a porosidade. A microestrutura da liga de alumínio obtida por meio, por exemplo, de fundição por gravidade deve alcançar as propriedades desejadas adicionando elementos de liga e/ou por via tratamento térmicos (SJOLANDER, 2010; SEIFEDDINE *et al.*, 2010; AZEVEDO, 2014; ROMETSCH, *et al.*, 2003). Portanto, objetivo do trabalho foi realizar um estudo a cerca da microestrutura e microdureza de Al-Si fundidas sob diferentes processos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras para análise microestrutural e de microdureza é o fabricado por ligas de Al-Si. Foram analisadas ligas processadas em coquilha sob gravidade, alta e baixa pressão. A amostra processada sob gravidade foi submetida após a fundição ao tratamento térmico de precipitação.

Para o ensaio metalográfico as amostras foram embutidas, lixadas e polidas, seguindo a norma NBR30284. Foram utilizadas lixas com granulometria de 400, 600, 800, 1000 e 1200. A variedade da granulação é para evitar arranhões permanentes ao fim do lixamento. Durante o processo de lixamento a posição da amostra foi alternada mudando em 90° a cada lixa, evitando a predominância de arranhões em apenas uma direção. Durante este processo houve fluxo constante de água para resfriar a peça. Para o polimento foi utilizado alumina de 1 μ , 0,3 μ e 0,05 μ , como elemento polidor. Após ser polida a amostra foi submetida a um ataque químico com nital 2% com 2 ml de HNO₃ e 98 ml de álcool (95% ou absoluto), agindo durante 20 segundos na superfície da amostra. Após a microestrutura passar pelo processo de revelação foi utilizado um microscópio metalúrgico Olympus de modelo BX51M com aumento de 100X até 1000X. As imagens das microestruturas foram analisadas usando o Motican 100 software.

Para o ensaio da microdureza utilizou-se um microdurômetro Mitutoyo modelo HM-100 versão 5.0 com uma carga de 0,5kgf. Três medidas foram realizadas da superfície até o centro da amostra em medidas distantes 1mm.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições da microdureza das amostras estão mostradas na Tabela 1 e também na Figura 1. De acordo com a Tabela 1 e Figura 1 pode-se observar que a dureza das amostras diminuiu desde a superfície até o centro, pois a maior extração de calor na superfície da peça durante a fundição resultou em grãos mais refinados nessa região (Brito *et. al*, 2010)

Amostra	Posição (mm)	Microdureza (HV)	Média (HV)
Fundida sob baixa pressão	1	91,3	87,9
	2	86,4	
	3	86,1	
Fundida sob alta pressão	1	86	84
	2	85,6	
	3	80,4	

	1	100,5	
Fundida sob gravidade e tratada termicamente	2	101,7	99,23
	3	95,5	

Tabela 1. Microdureza das amostras processadas por diferentes fundições.

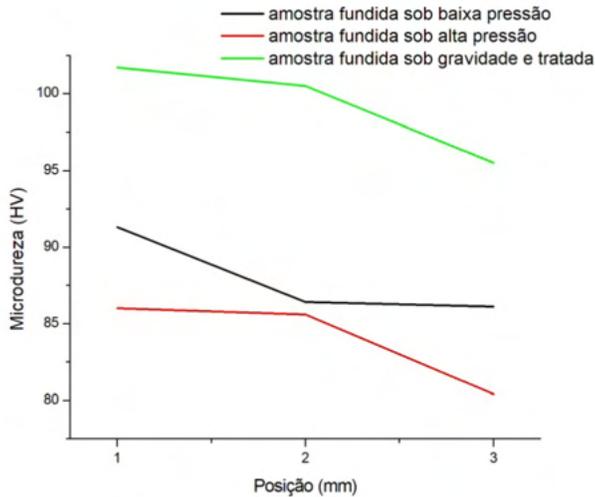


Figura 1. Gráfico das microdurezas das amostras fundidas sob diferentes processos.

As microestruturas das amostras fundidas sob baixa e alta pressão foram semelhantes ao trabalho de NETO *et. al* (2015). Na Figura 2 pode ser visualizada a microestrutura da amostra fundida sob baixa pressão onde a mesma é formada pelos dendritos de α -Al (fase clara) e um eutético binário Al-Si (fase escura) entre os ramos dendríticos.

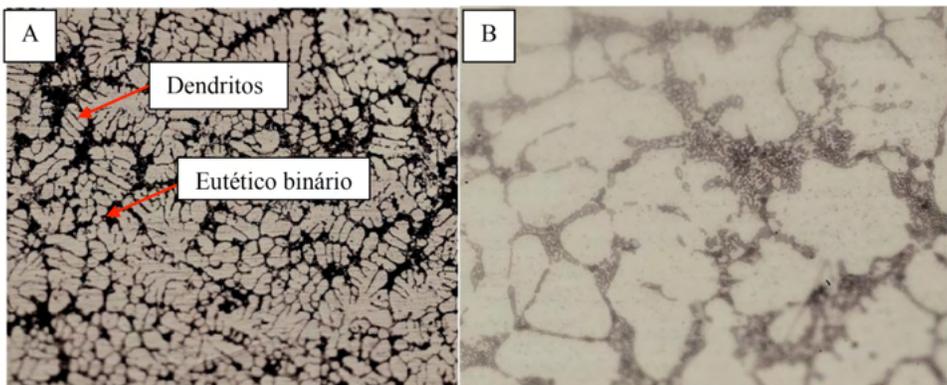


Figura 2. Microestrutura da peça fundida sob baixa pressão com aumentos em: A) 100X e B) 400X.

Na figura 3 estão mostradas as micrografias da amostra fundida sob alta pressão.

Sua microestrutura consiste da fase α -Al (fase clara) possuindo um aspecto mais globular em contraste com a amostra obtida a baixa pressão. Além do eutético (fase escura), há presença de porosidade devido à falha de preenchimento do material ou microrechupe semelhante ao encontrado no trabalho de BRITO *et. al* (2010). Essa falha de preenchimento ocorre durante a solidificação do metal que se inicia pelas partes que estão em contato com as paredes do molde ou na parte superior, onde o metal está exposto ao ar.

Comparando-se a microestrutura da amostra fundida sob baixa e alta pressão constata-se que os grãos da segunda diminuíram. Quanto menor tamanho de grão, maior a área da superfície do grão, maior a densidade de discordância e menor será o movimento das discordâncias, resultando também numa maior resistência mecânica (HILL, 1973). No entanto, há uma contradição, pois pela Tabela 1 a microdureza da amostra sob alta pressão diminuiu em comparação com a fundida sob baixa pressão. De acordo com NETO *et. al* (2015) isso se deve possivelmente às diferentes quantidades dos elementos químicos presentes nas amostras da qual não foi possível determinar neste trabalho.

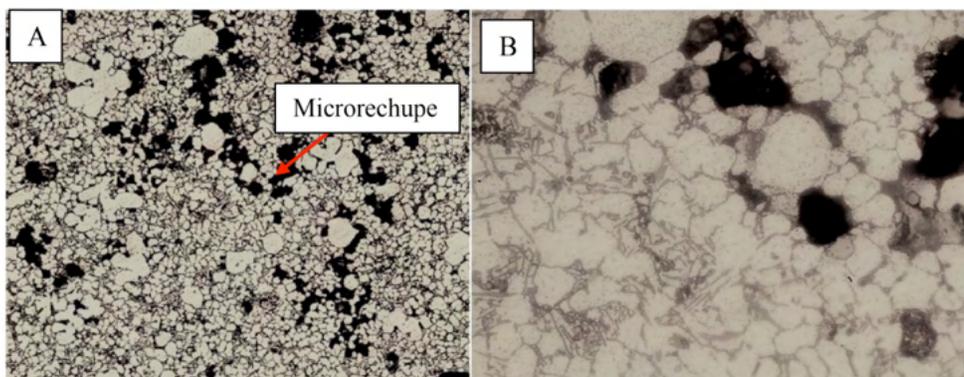


Figura 3. Microestrutura da peça fundida sob alta pressão com aumentos em: A) 100X e B) 400X.

E na Figura 4 está mostrada a micrografia da peça fundida sob gravidade e tratada termicamente. A microestrutura desta amostra foi semelhante à encontrada em LOPES (2008). Em comparação com os outros processos de fundição a microestrutura desta apresentou partículas do silício eutético mais esferoidizadas e menores devido ao coalescimento destas partículas promovidas pelo tratamento térmico T6 e consequente aumento dos dendritos, o que explica o alto valor de microdureza em relação às outras amostras conforme a Tabela 1.

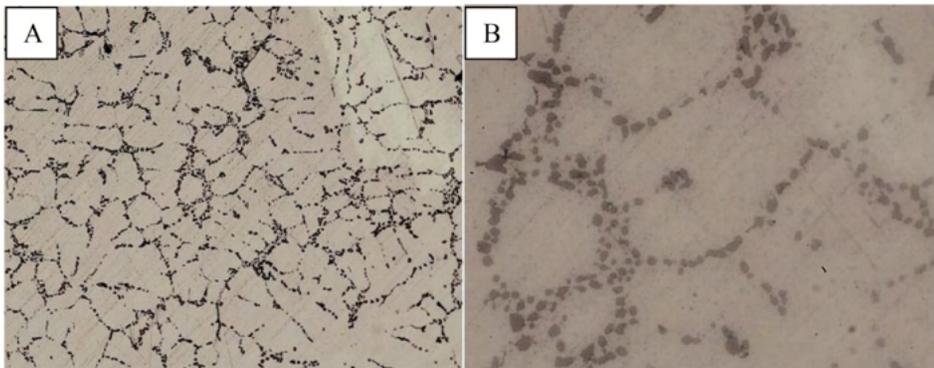


Figura 4. Microestrutura da amostra fundida sob gravidade e tratada termicamente com aumentos em: A) 100X e B) 400X.

4 | CONCLUSÃO

A microdureza para as três amostras sofreu uma redução desde a superfície até o centro da peça. A microestrutura da liga processada por alta pressão apresentou-se mais refinada que a fundida por baixa pressão, no entanto com uma microdureza inferior devido às amostras possuírem composição química diferente. A microestrutura da liga processada por baixa pressão não apresentou porosidade caracterizando continuidade de propriedade mecânica. Já na liga processada por alta pressão surgiram poros que podem ser falhas de preenchimento ou microrechupe, defeitos estes que tendem a diminuir a resistência mecânica. A amostra fundida por gravidade e tratada termicamente apresentou o silício eutético com morfologia esferoidizada no contorno do grão dendrítico e que houve o surgimento do eutético no interior da dendrita, influenciando assim decisivamente na sua alta microdureza sendo a maior dentre as amostras estudadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. **ABAL**: Fundamentos e Aplicações do Alumínio. São Paulo: ABAL, 2007. 68 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação: Referências: Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

AZEVEDO, T. L. F. **Modificação e tratamento térmico T6 na liga Al7Si,3Mg**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto 2014. 98f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e Materiais).

BRITO, R.; QUEIROGA, S.; MACEDO, J. Caracterização Microestrutural e de uma liga de Al-Si processada por fundição sob alta e baixa pressão. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Maceió, 2010. **Anais...**Maceió: IFAL, 2010. Disponível em: <http://www.congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/1188/706>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CALLISTER Jr., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 10ª ed. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2020.

FERREIRA, J.M.G. **Tecnologia da Fundição**. 1ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.

FURLAN, T. S. **Influência do teor de estrôncio na modificação da liga A356**. São Paulo, 2008. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2008.

HILL, R. E. R. **Princípios de Metalurgia Física**. 2 ed. Rio de Janeiro 1973. Editora Guanabara Dois, 775 p.

LIMA, A. D. A. **Análise da curva de resfriamento e refino de grão da liga de alumínio AA 356**. 2011, 66p. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.

LIMA, N. A. G. **Tratamento térmico de envelhecimento da liga de fundição AlSi10Mg(Fe)**. Porto, 2012. Dissertação de Mestrado - Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

LOPES, C. F. T. **Estudo do tratamento de solubilização da liga de Al- 354.0**. Porto, 2008. Dissertação de Mestrado-Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

MANENTE, A., TOMELLI, G. **Optimizing the Heat Treatment Process of Cast Aluminium Alloys**, Recent Trends in Processing and Degradation of Aluminium Alloys, Zaki Ahmad, IntechOpen, DOI: 10.5772/21659, 2011.

MILLER, A.E.; MAIJER, D.M. **Investigation of erosive-corrosive wear in the low pressure die casting of aluminum A356**. Materials Science and Engineering, v. 435–436, p. 100–11, 2006.

MOREIRA, P. S. **Efeito da taxa de resfriamento e dos tratamentos térmicos sobre as propriedades mecânicas da liga Al-Si-Mg (A356.0)**. Minas Gerais, 2011. Dissertação de Mestrado - Engenharia de Materiais da Rede Temática em Engenharia de Materiais-REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 2011.

NETOS, J. C. M. et al. **Estudo comparativo da microestrutura e microcureza da liga Al-5%Si0,3%Mg antes e após o tratamento térmico T6**. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), 2015, Fortaleza. Estudo comparativo da microestrutura e microcureza da liga Al-5%Si0,3%Mg antes e após o tratamento térmico T6, 2015. v. 1.

ROMETSCH, P. A.; ZHANG, Y.; KNIGHT, S. **Influence of Cu and minor elements on solution treatment of Al-Si-Cu-Mg cast alloys**. Materials Letters, v.57, p. 4083-4087, 2003.

SJOLANDER, E.; SEIFEDDINE, S. **The heat treatment of Al-Si-Cu-Mg casting alloys**. Journal of Materials Processing Technology, v.210, p. 1249-1259, 2010.

TORRES, J. **Manual Prático de Fundição e Elementos de Prevenção da Corrosão**. 1. ed. São Paulo: Hemus, 2004.

ZANGRANDI, A. **Alumínio e suas Ligas: Fundamentos metalúrgicos e tecnológicos**. 1ª.ed. Lorena: Instituto Santa Teresa, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise microestrutural 38

Avaliação de estabilidade 1

B

Biopolímeros 53

C

Carajás 1, 2, 7, 12, 13

Cipó titica 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

E

Engenharia de Materiais 35, 42, 43, 53

Engenharia de Minas 14, 25, 55

Engenharia geotécnica 1

Engenharia Química 54

F

Fator de segurança 2, 3, 4, 5, 10, 11

Fibras Lignocelulósicas 43, 44, 51, 52

Fibras sintéticas 43

Fundição 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42

G

Geologia de engenharia 12

Geotecnia 55

H

Heteropsisriedeliana Schott 43, 46, 50

L

Lavra 2, 10, 14, 15, 18, 21, 25, 26, 55

Lignina 43, 47, 50, 51, 52

M

Magnetic susceptibility 27, 33

Materiais 4, 16, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53

Meio ambiente 12, 43, 44
Metalurgia extrativa 55
Mineração 1, 3, 11, 12, 15, 19, 55

N

NBR 13029 12
NBR 30284 35, 36

P

Pilha de disposição de estéril 1, 2, 3, 6, 7
Polímeros Verdes 53
Poropressão 5, 9, 10, 11
Prevenção da corrosão 42
Propriedades mecânicas 35, 37, 42, 45, 51
Pyrite-Pyrrhotite 27, 29, 31

R

Reaproveitamento de resíduos 45
Recursos naturais alternativos 45

S

Selective flotation 27, 33

T

Teoria do equilíbrio limite 4
Tratamento térmico de precipitação 36, 38

W

Waste dumps 12

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS

- 
- 🌐 www.atenaeditora.com.br
 - ✉ contato@atenaeditora.com.br
 - 📷 @atenaeditora
 - 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MINAS E MATERIAIS

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br