



Artigo

# Influência da composição dos moldes de fundição à base de gesso sobre as propriedades mecânicas e microestruturais da peça fundida em alumínio

Arthur Domingos Mesquita de Morais <sup>[1]</sup> e Ramsés Otto Cunha Lima <sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup> Universidade Federal Rural do Semiárido; arthurdomingos28@gmail.com

<sup>[2]</sup> Universidade Federal Rural do Semiárido; ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

Recebido: 05/12/2021;

Aceito: 12/06/2022;

Publicado: 30/06/2022.

**Resumo:** De maneira a simplificar e baratear o processo de shell molding, sem deixar de obter suas vantagens, o gesso, com a adição de materiais refratários, é aplicado em substituição à areia. Assim, tem-se como proposta estudar a influência das proporções do material utilizado para confeccionar moldes feitos de uma mistura de gesso e cimento refratário sobre as propriedades mecânicas e microestruturais da peça fundida. A peça fundida para os ensaios foi um corpo de prova de tração segundo a norma ASTM –E8, utilizando um molde com as dimensões 140x326x400 mm. Para a análise foi usada uma proporção, levando –se em conta a porcentagem segundo a massa do molde, inicialmente com 100% de gesso e 20% de cimento refratário e, posteriormente, com 80% de gesso e 20% de cimento refratário. Foi usado o alumínio 6063 em um forno com uma temperatura máxima de trabalho e temperatura de vazamento de 854 °C e 750 °C, respectivamente. Verificou-se um aumento da resistência e dureza nas peças dos moldes com o cimento refratário. Além disso, pela análise de microscopia, verificou-se uma redução no número de poros e microporos quando comparados às peças produzidas com o molde de 100% de gesso, em contrapartida essas apresentaram uma qualidade superficial melhor.

**Palavras-chave:** Shell molding, Molde de gesso, Cimento refratário, Tração, Microscopia.

**Abstract:** To simplify and cheapen the shell molding process, while still obtaining its advantages, plaster, with the addition of refractory materials, is applied to replace sand. Thus, it is proposed to study the influence of the proportions of the material used to make molds made of a mixture of plaster and refractory cement on the mechanical properties and microstructure of the casting. The casting for the tests was a tensile specimen according to the ASTM -E8 standard, using a mold with dimensions 140x326x400 mm. For the analysis, a proportion was used, considering the percentage according to the mold mass, initially with 100% gypsum and 20% refractory cement. 6063 aluminum and an oven with a maximum working temperature and pouring temperature of 854 °C and 750 °C, respectively, were used. There was an increase in strength and hardness in the mold parts with the refractory cement, in addition, by microscopy analysis, there was a reduction in the number of pores and micropores when compared to parts produced with the mold of 100% plaster, on the other hand these had a better surface quality.

**Keywords:** Shell molding, Plaster Mold, Refractory Cement, Tension, Microscopy

## 1. INTRODUÇÃO

A fundição em areia é o processo de fundição mais largamente utilizado, respondendo pela maioria significativa da tonelage total de produtos fundidos. Dentre suas variantes, o processo de moldagem em casca (*shell molding*) é caracterizado por seu molde ser uma casca fina confeccionado em areia, cujos grãos são unidos por uma resina aglomerante termofixa [1].

Dentre as principais vantagens do *shell molding* para a fundição destacam-se: a superfície da cavidade do molde (casca), que é menos rugosa, o que facilita o fluxo de metal líquido durante o vazamento e a melhor qualidade superficial de peças pequenas e complexas [4] e boa acurácia dimensional em peças de dimensões médias [3]. Esses fatores, muitas vezes, eliminam a necessidade de usinagem adicional mais pesada e a colapsibilidade do molde é, em geral, suficiente para evitar tensões internas e trincas na peça fundida [3].

De maneira a simplificar e baratear este processo, sem deixar de obter suas vantagens, muitas vezes o gesso é aplicado em substituição à areia [4]. Um dos fatores determinantes para a qualidade superficial e exatidão dimensional das peças produzidas por fundição é a granulometria do material usado para a fabricação do molde. A fundição em casca caracteriza-se por ser um processo em que um molde é produzido com material refratário de baixa granulometria [5], assim o gesso se mostra um excelente material para a confecção dos moldes para fundição uma vez que possui uma granulometria numa faixa de 1,6 até 12,5  $\mu\text{m}$  [6]. Foi observado que areias com grãos mais finos possuem uma maior resistência aos esforços sofridos durante o processo de fundição [7]. Uma maior resistência dos moldes evita a formação de trincas nas peças.

Além disso, materiais refratários podem ser aplicados como aditivos, a fim de melhorar as propriedades térmicas do molde, objetivando um produto final com melhores propriedades mecânicas [4]. Entre as funções dos materiais usados na confecção dos moldes para fundição duas se destacam: permitir a acomodação, da melhor maneira, do material lingotado evitando a formação de rebarbas metálicas e uma melhor exatidão da peça final e promover uma boa troca térmica, permitindo uma solidificação uniforme da peça, a fim de diminuir os defeitos na estrutura cristalina do material [4]. A taxa de transferência de calor, o tamanho do grão e suas propriedades são fatores que influenciarão a qualidade das peças fundidas [8]. Assim, analisar o material constituinte dos moldes é fundamental para garantir a fabricação de peças com as propriedades mecânicas e dimensionais exigidas.

Ao entrar em contato com o molde, o metal resfria devido à resistência de contato que é influenciada por fatores como: afinidade físico-química entre o metal e o molde, o material a ser solidificado, a concentração do metal e a expansão do molde [9]. A temperatura de resfriamento do metal é influenciada por diversos fatores tais como: as propriedades termofísicas tanto do metal quanto do material do molde, a geometria do molde e do negativo da peça, a rugosidade das paredes do molde, a presença de inclusões e a temperatura inicial do molde [10].

Estudos foram feitos para avaliar as propriedades das peças de alumínio e suas ligas fabricadas a partir da fundição. Foram avaliadas as propriedades mecânicas da liga de alumínio 6063 quando fundida em diversos tipos de moldes [11]. Assim, para moldes de cimento,  $\text{CO}_2$ , metal e moldes de areia, encontraram os seguintes valores para resistência última a tração, alongamento e dureza, respectivamente: 118 MPa, 0,066mm/mm e 21,80HB, 125MPa, 0,070mm/mm e 33,70HB, 90MPa, 0,034mm/mm e 26,40HB, 130MPa, 0,01mm/mm e 23,80HB. Além disso, concluíram que os moldes que eram formados por areia e cimento possuíam uma qualidade superficial menor do que aqueles formados por metal e  $\text{CO}_2$ , devido a irregularidade e maior tamanho dos grãos que apresentavam baixos níveis de permeabilidade.

Outro estudo caracterizou peças fundidas utilizando a liga de alumínio 6063 e a técnica de areia verde com a adição de pó de ferro na fabricação do molde variando a proporção de areia e pó de ferro [12]. Os resultados encontrados mostraram que com a adição de pó de ferro a resistência a tração compreende uma faixa entre 70 e 112 MPa.

Estudou-se o efeito da porosidade nas ligas de alumínio fundido sobre as propriedades de tensão e ductilidades [13]. Para isso, foi fundida a liga de alumínio 380 utilizando molde de areia, em uma temperatura de fundição de  $750 \pm 5$  °C. Ao final, concluiu-se que a porosidade presente nas peças de alumínio fundido causa uma grande redução em suas propriedades mecânicas, porosidade essa advinda da velocidade de vazamento e da baixa liberação dos gases durante a solidificação.

Porém, mesmo sendo um processo simples e de fácil aplicação na indústria, erros podem surgir durante o processo, sobretudo durante a fabricação dos moldes. A escolha inadequada do material, bem como das proporções deles para a fabricação dos moldes pode levar a produção de peças sem as propriedades mecânicas desejadas acarretando sua falha durante os ciclos de operação, levando a perdas financeiras ou até de vidas.

No presente trabalho tem-se o desenvolvimento de atividade experimental, com levantamento de propriedades mecânicas e microestruturais do alumínio solidificado em moldes com proporções variadas de gesso.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais e Equipamentos

Foi comprada e utilizada para a fundição a liga de alumínio 6063, sua composição química está apresentada na Tabela 1. Tal liga apresenta dureza de 25HB e tensão última de tração de 89,6 MPa [14].

Para fundição foi utilizado um forno que possui temperatura máxima de 854 °C, a temperatura usada para o vazamento foi cerca de 750°C, tais temperaturas foram monitoradas por um termopar tipo K e uma placa Arduíno®.

Tabela 1 - Composição Química da liga de alumínio 6063 [14].

Elemento	Al	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ti	Ca
(%) Comp.	98,64	0,5141	0,5351	0,0013	0,0283	0,2108	0,0035	0,0007	0,0114	0,051

Os moldes foram fabricados variando a quantidade de cimento refratário, possuindo uma granulometria de 50 até 500  $\mu\text{m}$  [15], com composição, fornecida pelo fabricante da massa refratária, Gabriella®, apresentada na Tabela 2, e gesso. Foram então fabricados dois moldes com diferentes composições, um molde com 100% de gesso e outro com 80% gesso e 20% de cimento refratário.

Tabela 2 - Composição química do cimento refratário (Gabriella Refratários).

Elemento	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	PF
(%) Comp.	53,73	35,08	1,63	0,32	2,46	3,24	2,74	1,12	0,26

O modelo foi projetado a fim de produzir quatro corpos de prova (CP), seguindo a norma ASTM –E8 [16], Figura 1. Foi feita a impressão do modelo, utilizando uma impressora 3D, o material utilizado para a impressão foi o Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol (PETG), com preenchimento de 17% e orientação de ângulo de 45°.

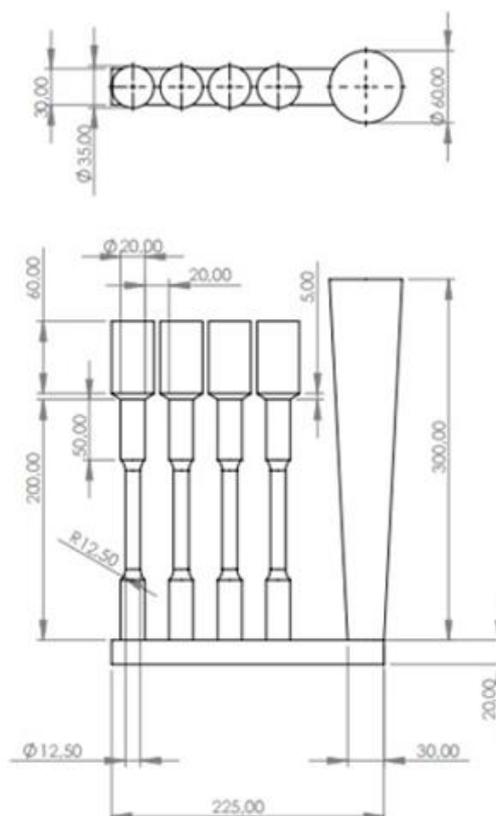


Figura 1 – Projeto do modelo para fundição (Autoria Própria).

Para a usinagem e rebarbação das peças para os ensaios foram utilizadas a serra-fita e esmerilhadeira, respectivamente, para o polimento foi utilizado lixas e politriz. Para a análise das propriedades mecânicas e microestruturais foram utilizadas a máquina de tração universal, microscópio óptica, microscopia de varredura eletrônica (MEV) e rugosidade.

## 2.2 Procedimento Experimental

Primeiramente foi feita a preparação do material a ser utilizado para a fabricação dos moldes, que apresentam dimensões de 140x326x400 mm. Foi pesado cerca de 12 kg de gesso para a fabricação do molde de 100% gesso e utilizado cerca de 2 litros de água, já o segundo molde foi feito utilizando uma proporção de

80% gesso e 20% massa refratária, segundo a massa total do molde, logo foram pesados e misturados manualmente cerca de 9,6 kg de gesso e 2,4 kg de massa refratária e foi utilizado cerca de 2,5 litros de água. Após a fabricação ambos os moldes foram colocados ao sol por cerca de 24 horas para cura do gesso e remoção da umidade.

Foram adicionados machos para garantir um melhor encaixe das duas partes, o molde foi vedado, utilizando massa epóxi, para evitar possíveis vazamentos de material e preso com elásticos e ripas de madeira para evitar aberturas, Figura 2.



Figura 2 - Preparação do molde para o vazamento do alumínio (Autoria Própria).

O Alumínio foi então fundido e vazado a uma temperatura de cerca de 10% maior que a temperatura de fundição, cerca de  $750 \pm 10$  °C, tal temperatura foi medida com um termopar tipo K e Arduino®, a fim de garantir uma boa fluidez durante o vazamento e evitar possíveis solidificações antecipadas. Após 12 horas do vazamento do alumínio em cada molde, para garantir que as peças tinham solidificado corretamente, o material fundido foi desmoldado.

### 2.3 Caracterizações

#### 2.3.1 Ensaio de tração

Para os ensaios de tração foi utilizado um corpo de prova para tração segundo a norma ASTM-E8 [16], com uma velocidade de 3 mm/min. A preparação se deu inicialmente pela usinagem dos CP's dos fundidos e então foram rebarbados.

#### 2.3.2 Ensaio de dureza

Foram usinadas uma amostra cilíndrica de 35 mm de diâmetro e 40 mm de altura e uma prismática com 30 mm, 20 mm e 80 mm de altura das peças geradas pelos moldes de 100% de gesso e 80% de gesso e 20% cimento refratário, respectivamente, Figura 3. Para o preparo das peças foi utilizada a politriz com uma sequência de lixas, variando de forma crescente a granulometria dessas, assim utilizou-se as lixas de 180, 220, 320 e 400.

O ensaio de dureza foi feito de acordo com a norma ASTM E18 [17] para materiais macios, assim foi usado um endentador com ponta esférica de aço com 0,5 polegadas, pré-carga de 10 kgf, carga de 60 kgf, por 10 segundos, para uma melhor análise da dureza foram feitas cerca de cinco marcações em cada peça aplicando a carga na direção transversal em ambos os CP's.

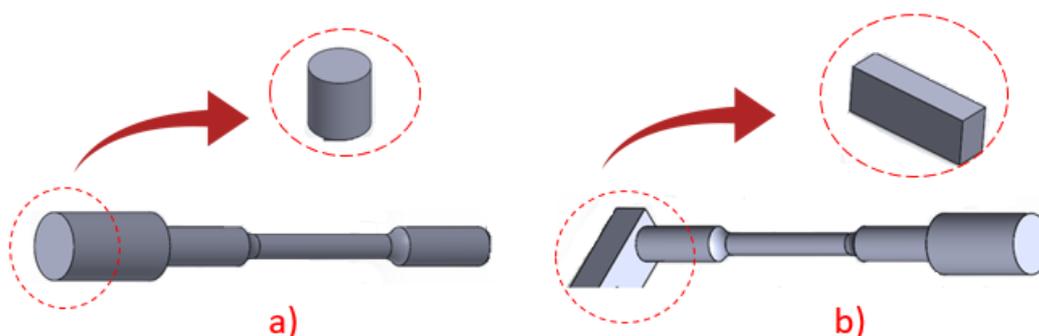


Figura 3- Croqui das amostras usadas para o ensaio de dureza a) fabricado com o molde de 100% de gesso, b) fabricado com o molde de 80% de gesso (Autoria Própria).

### 2.3.3 Microscopia Óptica

Para a análise da microscopia óptica, foi tirada uma amostra do corpo útil dos CP's de tração de cada um dos produtos fundidos pelos moldes com 100% de gesso e 80% de gesso, ambos com diâmetro de 12,5 mm e altura de 20 mm, Figura 4.

Para o preparo das peças foi utilizada a politriz com uma sequência de lixas na seção transversal da amostra, variando de forma crescente a granulometria dessas, assim utilizou-se as lixas de 180, 220, 320 e 400 e o polimento foi finalizado com uma mistura de água e alumina, para assim poder fazer o ensaio de microscopia com a ampliação de 100 vezes.

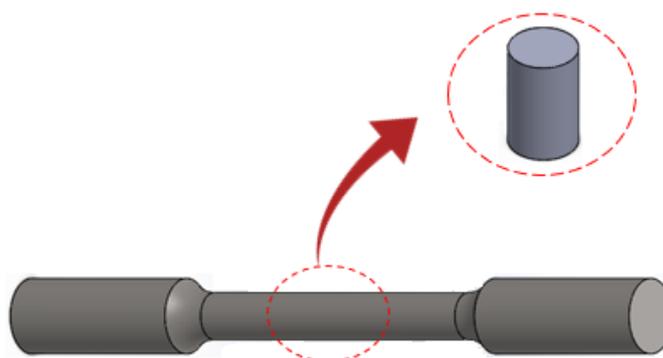


Figura 4- Croqui da amostra usada para os ensaios de microscopia óptica, MEV e rugosidade (Autoria Própria).

### 2.3.4 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)

As amostras para o ensaio do MEV foram usinadas das partes úteis dos CP's gerados pela fundição (Figura 4) e então lixadas com a mesma sequência de lixas usadas no ensaio de microscopia óptica e polidas com uma mistura de alumina e água. Após o polimento foi feita uma limpeza ultrassônica utilizando álcool 70% e, após o tempo de secagem, foi necessária à aplicação de elétrons de ouro para a realização do ensaio. Foi então aplicada uma aproximação de 50 vezes para gerar a imagem.

### 2.3.5 Rugosidade (Ra)

A rugosidade foi medida com o auxílio do rugosímetro, modelo ISR C300, que tem uma faixa de medição de 0,05 – 32  $\mu\text{m}$  e o auxílio da norma ABNT NBR ISO 4288:2008 [18]. Foi usado um *cut-off* ( $\lambda_c$ ) de 0,8 mm, com um comprimento de amostragem de cinco e uma faixa de  $\pm 40,00\text{mm}$ . A amostra ensaiada foi usinada da parte útil do CP de tração, (Figura 4) que foi presa com o auxílio da morsa para evitar movimentos relativos e garantir o paralelismo, (Figura 5). Foram feitas cerca de 12 medições, variando a posição do CP, para verificar o nível de rugosidade de cada parte.



Figura 5- Configuração usada para o ensaio de rugosidade (Autoria Própria).

### 3. RESULTADOS

Após a fabricação dos moldes notou-se que o molde com 80% de gesso e 20% cimento refratário estava mais frágil e possuía mais trincas superficiais, quando comparado ao molde fabricado com 100% de gesso, Figura 6 (b). Tal fragilidade é decorrente da maior granulometria do cimento refratário presente na mistura tornando o molde mais frágil, como explica [7]. Além disso, corroborando [3], devido à baixa granulometria do material de ambos os moldes foi possível atingir uma boa acurácia dimensional.

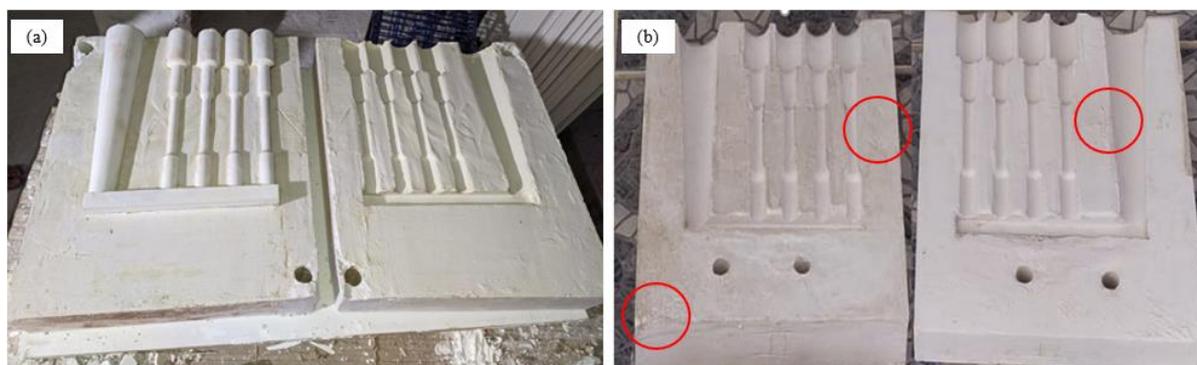


Figura 6- Moldes fabricados a) 100% de gesso b) 80% de gesso e 20% massa refratária (Autoria Própria).

Posterior ao vazamento e solidificação houve a desmoldagem e retirada das peças fundidas. Observou-se que a parte interna de ambos os moldes tinha sido queimadas, além de uma grande erosão das paredes internas do molde, sendo impossível a reutilização de tais moldes.

Constatou-se que quatro dos oito corpos de provas, dois de cada um dos moldes, apresentaram rechupes e vazios, visíveis a olho nu estando aptos apenas quatro CP's, dois de cada um dos moldes, além disso ambos os fundidos apresentaram uma grande quantidade de rebarbas, decorrentes da junção imperfeita entre as metades de cada molde, (Figura 7). Assim, apenas dois CP's ficaram aptos para os ensaios, (Figura 8).

Após a usinagem de algumas secções do fundido notou-se a presença de partículas de óxido, decorrentes da não remoção da camada de óxido superior formada durante a fundição do alumínio, assim sendo necessária a retirada de amostras de diferentes partes para a análise de dureza, a fim de evitar possível erros durante o ensaio.

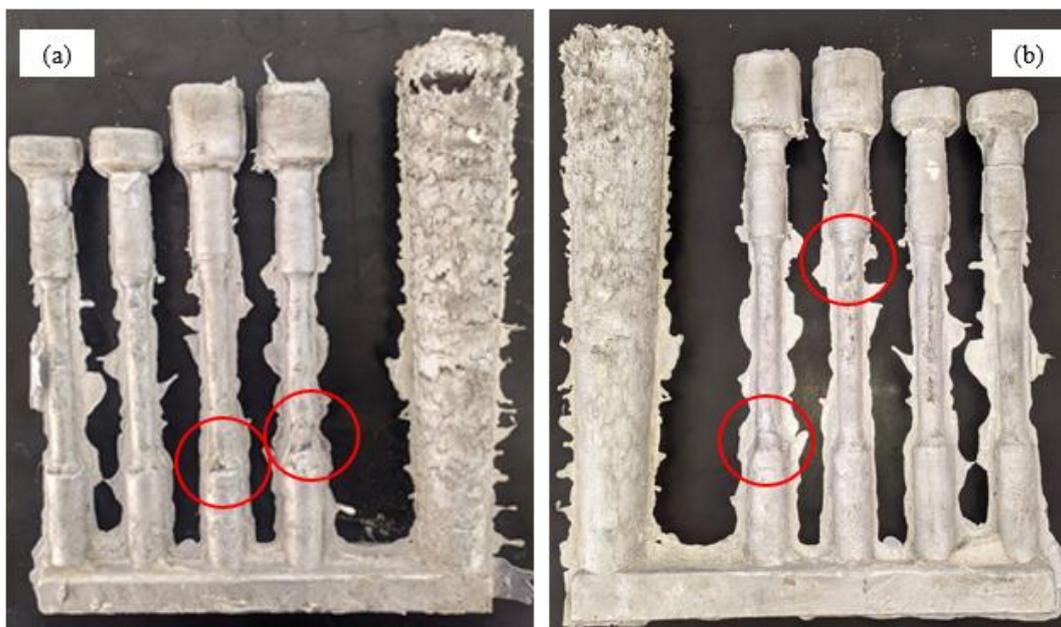


Figura 7- Fundidos gerados pelo a) Molde de 100% gesso b) Molde de 80% gesso e 20% cimento refratário (Autoria Própria).



Figura 8 - a) CP produzidos pelo molde com 100% de gesso b) CP produzidos pelo molde com 80% de gesso (Autoria Própria).

A Tabela 3 e os gráficos da Figura 9 mostram os resultados obtidos após o ensaio de tração dos corpos de prova.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de tração (Autoria Própria).

Amostra	CP 100% Gesso		CP 80% Gesso e 20% Cimento Refratário	
	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)
1	59,74	0,02	81,57	0,03
2	61,8	0,02	74,85	0,02
<b>Média</b>	<b>60,76</b>	<b>0,02</b>	<b>78,2</b>	<b>0,025</b>
Desvio Padrão	1,45	0	4,75	0

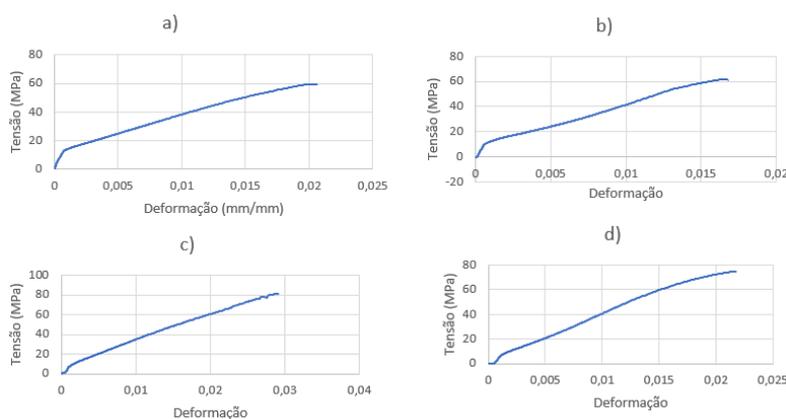


Figura 9 - Gráfico tensão x deformação a) CP1 molde de 100% gesso, b) CP2 molde de 100% gesso, c) CP1 molde de 80% gesso, d) CP2 molde de 80% gesso (Autoria Própria).

Foi observada uma deformação e tensão de ruptura médias de 0,020 mm/mm e 60,76 MPa, para os CP's gerados pelo molde de 100% gesso, e 0,027 mm/mm e 78,20 MPa, para os CP's gerados pelo molde de 80% gesso, tais valores condizem com a faixa de resultados encontrados por [12, 13].

A Tabela 4 apresenta os valores medidos para as durezas das amostras obtidas de cada um dos moldes.

Tabela 4 - Valores encontrados pelo ensaio de dureza em cada uma das amostras (Autoria Própria).

	CP 100% Gesso	CP 80% Gesso e 20% Cimento Refratário
Medição	Dureza (HRR)	Dureza (HRR)
1	95	116
2	111,3	115
3	110,6	114,1
4	108,1	113,5
5	107,7	113,4
<b>Média</b>	<b>108,1</b>	<b>114,1</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>6,63</b>	<b>1,10</b>

Assim, conclui - se que para os moldes com 100% gesso as amostras possuem uma dureza média de 108,1HRR, já os moldes de 80% gesso a dureza média encontrada foi de 114,1HRR. Os resultados medidos das propriedades mecânicas mostraram, assim como afirma [9, 10], a influência do cimento refratário nas propriedades das peças fundidas.

Devido a presença do cimento refratário o molde de 80% de gesso atendeu melhor aos requisitos, exposto em [6], necessários aos moldes para fundição, assim sendo capaz de gerar peças com propriedades mecânicas melhores. A falta de um material refratário no molde de 100% faz com que esse não tenha uma boa troca de calor na interface material/molde, impedindo assim a formação de núcleos mais refinados, como explica [10].

A análise de microscopia óptica, Figura 10, e do MEV, Figura 11, revelou que para as peças fundidas utilizando o molde de 100% de gesso apresentaram uma quantidade muito maior de porosidade e microporosidades, devido à velocidade de vazamento incorreta, sendo esta muito rápida, e pela troca de calor ineficiente durante o processo de solidificação do alumínio dos moldes de 100% de gesso houve o surgimento de porosidades e microporosidades [10, 24].

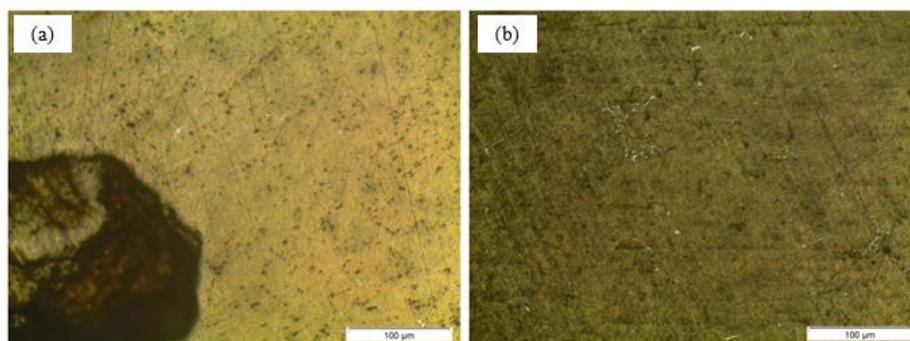


Figura 10- Resultados da microscopia a) amostra gerado pelo molde de 100% gesso b) amostra gerado pelo molde de 80% gesso (Autoria Própria).

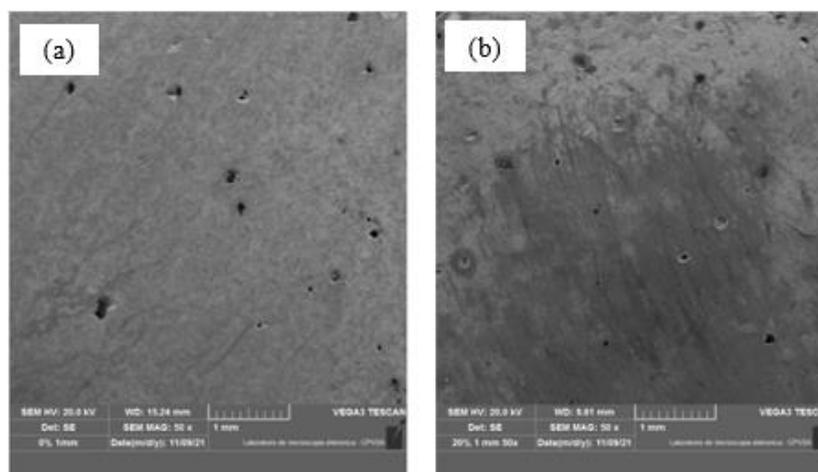


Figura 11- Resultados da microscopia a) amostra gerado pelo molde de 100% gesso b) amostra gerado pelo molde de 80% gesso (Autoria Própria).

A presença maior de porosidades e microporosidades na amostra gerada pelo molde de 100% de gesso, bem como a redução das propriedades mecânicas quando comparadas às amostras geradas pelo molde de 80% de gesso, estão de acordo com Mugica *et al* [14], pois a presença de poros nas peças fez com que houvesse uma redução na tensão de ruptura última e dureza.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos após a medida da rugosidade de cada amostra.

Tabela 5 - Resultados das medições de rugosidade de cada lado da amostra (Autoria Própria).

Medição	CP 100% Gesso		CP 80% Gesso e 20% Cimento Refratário	
	Metade 1( $\mu\text{m}$ )	Metade 2( $\mu\text{m}$ )	Metade 1( $\mu\text{m}$ )	Metade 2( $\mu\text{m}$ )
1	1,69	1,28	3,11	5,3
2	1,65	1,15	3,17	3,94
3	1,64	1,31	2,99	5,11
Média	1,65	1,38	3,11	5,29
Desvio Padrão	0,03	0,08	0,09	0,14
Média Total	1,466		4,196	

Os resultados revelaram que o corpo de prova feito com o molde de 100% de gesso teve uma rugosidade média total de 1,466  $\mu\text{m}$ , já o molde com 80% de gesso foi medido resultados divergentes entre cada uma das metades, uma delas apresentando uma rugosidade média de 4,196  $\mu\text{m}$ . Assim é confirmado [6], uma vez que a sua menor granulometria os moldes com 100% de gesso são capazes de gerar peças com uma melhor qualidade superficial ao longo de toda a peça.

Além disso, houve a influência do precipitado do cimento nas paredes internas, sendo o responsável pela diferença da qualidade superficial, evidenciada pela diferença da granulometria.

#### 4. CONCLUSÃO

Conclui-se que devido a presença do cimento refratário, os moldes com 80% de gesso são capazes de gerar peças com melhores propriedades mecânicas. Para o molde de 100% de gesso mediu-se uma tensão de ruptura e dureza médias de 60,76 MPa e 108,1 HRR, respectivamente, já para o CP gerado pelo molde de 80% gesso e 20% cimento refratário apresentou uma tensão de ruptura e dureza médias de 78,2 MPa e 114,1 HRR, respectivamente.

Além disso foi constatado uma menor presença de poros e microporos nas amostras fundidas com o molde que possui o material refratário na sua composição

Porém, notou-se que a presença do cimento refratário acaba por introduzir uma maior quantidade de precipitados nas paredes internas do molde durante sua cura, assim tais precipitados acabam por gerar uma maior quantidade de defeitos nas peças fundidas e, além disso, uma maior presença de cimento refratário torna o molde mais frágil, acarretando trincas e rachaduras.

#### REFERÊNCIAS

- [1] CALLISTER JUNIOR, Willian D; RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 817 p.

- [2] FILHO, Paulo José Carvalho Mascarenhas Filho. Fundição em areia a verde: uma abordagem experimental. / Paulo José Carvalho Mascarenhas Filho. – Cruz das Almas – BA, 2016
- [3] GROOVER, Mikell P. Introdução aos Processos de Fabricação. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 737 p
- [4] GUIMARÃES, José Rubson de Sousa. Desenvolvimento de um molde refratário para produção de peças metálicas pelo processo de fundição de precisão. 2019. 34 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- [5] BEELEY, Peter. Foundry technology. 2.ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001
- [6] PASTIRČÁK, R.; SLÁDEK, A.; KUCHARČÍKOVÁ, E.. The Production of Plaster Molds with Patternless Process Technology. Archives of Foundry Engineering, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 91-94, 1 jun. 2015. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/afe-2015-0045>.
- [7] Ikushima T., and Mitsui T., 'Influence of Sand Grains Distribution on Green Properties of Bentonite bonded sands compacted at high pressure', IIFS, vol- 42,1970,
- [8] VINOThRAJ, D.; RAGAVANANTHAM, S.; SARAVANAKUMAR, M.; VIVEKANANTHAN, M.; SIVAGNANAMANI, G.s.. Heat dissipation and inter-relationship between physical properties of moulding sand. Materials Today: Proceedings, [S.L.], v. 37, p. 1809-1812, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.398>.
- [9] ROCHA, Otávio Lima et al. COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA INTERFACE METAL/MOLDE E VARIÁVEIS TÉRMICAS NA SOLIDIFICAÇÃO DIRECIONAL HORIZONTAL DA LIGA Al-6%Cu. HOLOS, [S.L.], v. 5, p. 28-39, nov. 2013. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1483>>. Acesso em: 02 jul. 2021. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2013.1483>.
- [10] SANTOS, C.A; QUARESMA, J.M.V; A GARCIA,. Determination of transient interfacial heat transfer coefficients in chill mold castings. Journal Of Alloys And Compounds, [S.L.], v. 319, n. 1-2, p. 174-186, abr. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-8388\(01\)00904-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-8388(01)00904-5).
- [11] Ayoola, W.A., Adeosun, S.O., Sanni O.S. and Oyetunji A. (2012). Effect of casting mould on mechanical properties of 6063 aluminium alloy. Journal of Engineering Science and Technology Vol. 7, No. 1 (2012) 89 - 96.
- [12] ADEOSUN, S. O.; AKPAN, E. I.; SEKUNOWO, O. I.; AYOOLA, W. A.; BALOGUN, S. A.. Mechanical Characteristics of 6063 Aluminum-Steel Dust Composite. Isrn Mechanical Engineering, [S.L.], v. 2012, p. 1-9, 8 ago. 2012. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.5402/2012/461853>.
- [13] MUGICA, Gustavo Waldemar; TOVIO, Daniel Oscar; CUYAS, Julio César; GONZÁLEZ, Aulio César. Effect of porosity on the tensile properties of low ductility aluminum alloys. Materials Research, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 221-229, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-14392004000200002>.
- [14] MatWeb material property, 2021. Disponível em: <[Aluminum 6063-O \(matweb.com\)](http://www.matweb.com)>. Acesso em: 04, Nov e 2021.
- [15] SILVA, R.D.s. da; BRAGANÇA, S. R.. Avaliação de reutilização de resíduos de tijolos refratários mgo-c em massas refratárias secas. 2012. 12 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Univesidade Federal do Rio Grande do Sul, Curitiba, 2012
- [16] ASTM E8 / E8M-21, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [17] ASTM E18-20, Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [18] Associação de Brasileira de Normas Técnicas, 2008, ABNT NBR ISO 4288, "Especificações geométricas de produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade", ABNT, Rio de Janeiro