

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

RAFAEL SIMÃO LEVY

**ANÁLISE DE POROSIDADE EM ALUMÍNIO COM ADIÇÃO DE
CELULOSE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2018

RAFAEL SIMÃO LEVY

**ANÁLISE DE POROSIDADE EM ALUMÍNIO COM ADIÇÃO DE
CELULOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Mecânica, da Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Henrique Ajuz Holzmann

GUARAPUAVA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE POROSIDADE EM ALUMÍNIO COM ADIÇÃO DE CELULOSE
por

RAFAEL SIMÃO LEVY

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Henrique Ajuz Holzmann
Prof.(a) Orientador(a)

Ricardo Vinicius Bibna Biscaia
Membro titular

João Paulo Gabre Ferreira
Membro titular

Aldo Przybysz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma benção recebida.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela oportunidade.

Ao meu orientador, Henrique Ajuz Holzmann, pela grande ajuda e paciência.

A minha namorada, meus familiares e amigos pelo apoio.

RESUMO

LEVY, Rafael Simão. **Análise de porosidade em alumínio com adição de celulose**. 2018. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2018.

A utilização de ligas de alumínio atualmente são indispensáveis devido às suas aplicações a vários segmentos. Sua microestrutura é contida em etapas importantes, como o tipo e o conteúdo dos elementos de liga adicionados, que refletem em suas características. A porosidade é um dos defeitos mais comuns originados pelo processo de fundição, que é dado pela solubilidade do hidrogênio no metal fundido, o que deve ser evitado. Assim, a determinação das características físicas e químicas da liga é de extrema importância para garantir a sua qualidade. Este trabalho representa o estudo relacionado a esse defeito, objetivando caracterizar as amostras através de dois métodos, pelo Princípio de Arquimédes e por área amostral, e correlacioná-los. Pelo método de fundição em areia verde, foi fundido o metal líquido, adicionado teores de celulose e envasados por moldagem de espuma perdida. Com as amostras já determinadas, foram analisadas microscopicamente e realizado os métodos. Os resultados obtidos pelo método do Princípio de Arquimédes se mostraram bastantes errôneos devido a encrustações, impurezas e alojamentos de carbono na liga devido a evaporação da celulose a alta temperatura. Com os resultados do segundo método, o qual foi determinado por área amostral, se fez coerente, contudo, o mesmo se torna subjetivo devido a alta probabilidade de erro e dificuldade na associação de poros e carbonos na microestrutura. O estudo se fez pertinente a ideia de aplicabilidade do resíduo em ligas de alumínio, porém, obteve-se resultados inconclusivos na finalização do trabalho.

Palavras-chave: Alumínio. Fundição. Porosidade. Celulose. Ligas.

ABSTRACT

LEVY, Rafael Simão. **Aluminum porosity analysis with added cellulose**. 2018. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2018.

The use of aluminium alloys are currently indispensable due to its applications to multiple threads. Its microstructure is constituted involves important steps, such as the type and content of alloying elements added, which reflect in its features. The porosity is one of the most common defects caused by the casting process, which is given by the solubility of hydrogen in molten metal, which should be avoided. Thus, the determination of the physical and chemical characteristics of the League is of utmost importance to ensure your quality. This work represents the study related to this defect, in order to characterize the samples through two methods, by the Principle of Arquimédes and sampling area, and correlate them. The green sand casting, molten liquid metal was added levels of cellulose and filled by lost foam molding. With the samples already certain, were examined microscopically and carried out the methods. The results obtained by the method of Arquimédes principle were erroneous due to many encrustações, impurities and carbon in the alloy housing due to evaporation of cellulose. With the results of the second method, which was determined by sampling area, if made consistent, however, the same becomes subjective due to high probability of error and difficulty in the pores and carbon on microstructure. The study made the idea of applicability of relevant residue in aluminium alloys, however, inconclusive results on completion of the work.

Keywords: Aluminum. Foundry. Porosity. Cellulose. Alloys.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Molde de areia com o envaze de metal líquido	12
Figura 2 - Processo de moldagem plena.....	15
Figura 3 - Porosidade.....	17
Figura 4 - Solubilidade de hidrogênio em alumínio.	18
Figura 5 - Representação esquemática de uma fração molecular da celulose	20
Figura 6 - Ligações de hidrogênio entre cadeias de celulose	21
Figura 9 - a) Proveta graduada em 0,1 ml. b) Proveta graduada em 0,2 ml.	26
Figura 10 - Exemplo de padronização de tamanho das imagens para os cálculos...27	
Figura 11 - Contagem de poros amostra P1.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicações para ligas de alumínio	15
Tabela 2 - Características do alumínio 6063.....	22
Tabela 3 - Propriedades mecânicas do alumínio 6063.	22
Tabela 4 - Massa das amostras obtidas.....	23
Tabela 5 - Volume média entre amostras.	30
Tabela 6 - Massa das amostras.	30
Tabela 7 - Densidade das amostras.....	30
Tabela 8 - % de poros das amostras.....	31
Tabela 9 - Área dos poros de cada amostra (mm ²).....	31
Tabela 10 - Porcentagem de poros das amostras.....	32
Tabela 11 – Correlação do percentual de poros entre os métodos utilizados	33

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

Al	Alumínio
C	Carbono
Cu	Cobre
CO ₂	Dióxido de carbono
H	Hidrogênio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
O	Oxigênio
Si	Silício
Sn	Estanho
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.3 JUSTIFICATIVA.....	10
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	12
2.1 FUNDIÇÃO	12
2.1.1 Moldes	13
2.1.2 Moldagem em areia verde	13
2.2 LIGAS DE ALUMÍNIO	15
2.3 POROSIDADE	17
2.4 CELULOSE	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 DELIMITAÇÃO DOS PROCESSOS E OBTENÇÃO DOS MATERIAIS.....	22
3.2 MOLDAGEM DO MOLDE EM AREIA VERDE.....	22
3.3 PROCESSO DE AQUECIMENTO E VAZAMENTO DO ALUMINIO	23
3.4 ANÁLISE METALOGRAFICA DA ESTRUTURA	24
3.5 ANÁLISE DA POROSIDADE	25
4.1 MÉTODO 1	30
4.2 MÉTODO 2	31
4.3 CORRELAÇÃO ENTRE MÉTODOS.....	33
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O processo de fundição é um dos processos metalúrgicos mais antigos e difundidos, sendo encontrado em todas as regiões do mundo. Esse método de fabricação evoluiu paralelo a humanidade e tornou-se um dos métodos mais versáteis, onde a produção vai desde peças simples, até peças de extrema complexidade. A fundição é um dos elos mais importantes da cadeia produtiva, pois é um dos processos inicial a fabricação de variados elementos. Segundo dados da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), a fundição brasileira, além do ser a maior em produção de blocos e cabeçotes automotivos, no ano de 2007 foi considerada a sétima maior produtora mundial e produziu cerca de três milhões toneladas no ano, entre elas contendo ferro, aço e materiais não ferrosos. A maior parte investimento na área de fundição, no país, se atrela predominantemente ao setor automotivo, absorvendo 58% de toda a produção feita. (ABIFA, 2008).

As indústrias de fundição contribuíram significativamente ao crescimento da produção em série, tornando o processo cada vez mais automatizado, eficiente e lucrativo. Ganharam reconhecimento de seriedade e de eficiência, gerando competitividade, diferentes estruturas de produção, aumentando o domínio tecnológico e visando sempre o baixo custo de fabricação de produtos.

As ligas de alumínio, fabricadas por fundição, apresentam inúmeras aplicações, quais se dão devido ao alto avanço tecnológico, caracterizado pelas suas propriedades mecânicas, como baixo peso específico, alta ductilidade, baixo módulo de elasticidade, alta condutividade térmica. Os elementos mais comuns a serem fundidos juntamente com o alumínio são: o silício, o cobre e o magnésio. A adição destes elementos de liga influencia diretamente as características final do fundido.

Nos mais diversos processos de fundição podem surgir defeitos, tais como rebarbas, fraturas, defeitos superficiais, rechupe, erros dimensionais, inclusões e porosidades. A porosidade se forma a partir de concentrações de solidificação ou presença de gases dissolvidos por metais em estado líquido durante o processo de fundição, afetando a rigidez do material, aumentando sua fragilidade, atribuindo defeitos superficiais na peça, diminuindo sua resistência mecânica e ductilidade (CHIAVERINI, 1986).

Desta maneira encontrar elementos que adicionados as ligas de alumínio, que reduzem o teor de porosidade, mantendo suas características mecânicas, se mostram de grande importância.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a porosidade em liga de alumínio através da variação de concentrações de celulose adicionada à liga.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as amostras, analisando a porosidade pelo método de Arquimedes;
- Caracterizar as amostras, analisando a porosidade pelo método de área amostral;
- Correlacionar os métodos utilizados, verificando suas viabilidades.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, existe uma busca incessante pela redução de custos nos mais diversos processos produtivos, entretanto, essa busca deve sempre manter-se focada em segurança e qualidade.

Em relação a porosidade, a presença de poros em um material é uma característica que deve ser levado em consideração nos projetos de fabricação, devido ao grande impacto nas aplicações das peças produzidas. A presença não controlada de poros em certos materiais metálicos pode gerar tensões estruturais que levam à formação de trincas em seu corpo.

Os metais no estado líquido tendem a absorver gases da atmosfera. As ligas de alumínio no estado líquido (acima de 660°), têm uma alta solubilidade de hidrogênio. Porém, no estado sólido, a solubilidade de hidrogênio cai drasticamente, logo no período de solidificação, 95% do hidrogênio se movimenta nas áreas ainda líquidas, proporcionando a formação de porosidades em regiões interdendríticas. As porosidades ali formadas influenciam, de forma negativa, sobre as propriedades

mecânicas da peça, principalmente sobre a ductilidade, a resistência mecânica e a resistência a fadiga (REIS, 2009).

Desta forma estudar elementos que possam favorecer a desgaseificação durante o processo de solidificação do alumínio se vê de grande importância, pois assim, pode se reduzir as porosidades no produto final. Visto que alguns elementos são encontrados em grande abundância na natureza, tentar utilizá-los como desgaseificante pode ser uma solução economicamente viável, visto isso, um dos descartes realizados em indústrias papelerias, são os resíduos de celulose. Assim este trabalho visa analisar um possível remanejamento do destino final do resíduo de celulose, utilizando-a para criação de uma nova liga, possibilitando um decréscimo de custos empresariais.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 FUNDIÇÃO

O processo de fundição é caracterizado pela fusão de materiais, sendo eles metálicos ou não metálicos, que posteriormente são utilizados para obtenção de formas diversas através de escoamento ou vazamento do metal líquido obtido para moldes adequados, onde a forma do mesmo corresponde, negativamente, à da peça que se deseja criar, como mostrado na Figura 1. (BEELEY, 2001).

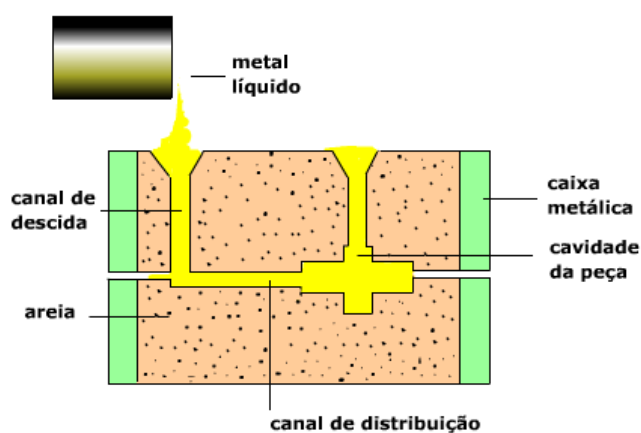


Figura 1 – Molde de areia com o envase de metal líquido

Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAafxXYAK/notas-aula-fabricacao?part=3>>.

Os processos de fundição, utilizando moldagem em areia verde, se dividem em projeto e confecção de modelo, confecção do molde e machos, vazamento do metal líquido, desmoldagem e acabamento (BALDAM; VIEIRA, 2013).

O processo é iniciado com a adição de areia base, aglomerantes e aditivos ao misturador, para homogeneização, formando a areia de moldagem. Em seguida, a areia homogeneizada caminha para a preparação dos moldes, onde são colocados os machos. Com o molde devidamente montado, é despejado o metal líquido pelo canal de alimentação. Após solidificação do metal líquido por transferência de calor com a areia, há a separação de peça sobre o molde, onde a areia pode ser reaproveitada, dependendo do seu estado, e colocada novamente ao misturador, e a peça é enviada a etapa de acabamento e controle de qualidade (MATOS, 2000).

2.1.1 Moldes

Produtos da fundição industrial, os moldes são fabricados com o objetivo de receber o envaze do metal líquido e formar a peça desejada (BEELEY, 2001).

Os materiais mais utilizados para a fabricação dos moldes em fundição são areia e metal. Moldes metálicos são utilizados especialmente em fundição sob pressão e em coquilha. A maioria dos materiais fundidos são produzidos a partir do molde de areia (BALDAM; VIEIRA, 2013).

A qualidade da peça fundida está diretamente ligada à qualidade do molde. Peças fundidas de grande qualificação não podem ser produzidas sem moldes, por isso, o material utilizado e o método o qual o molde é fabricado são critérios essenciais para classificar qual processo de fundição é o mais adequado.

Areias de moldagem sendo muito finas, muito úmidas ou possuindo baixa permeabilidade, faz com que o gás não consiga escapar para a atmosfera, fazendo-se unir a liga envasada, afetando diretamente a qualidade do material, acarretando a formação de erosões de areia, inclusões de óxidos e areia, penetração do metal no molde, porosidade e gases (CHASTAIN; 2004).

Os metais em seu estado líquido tendem a absorver os gases da atmosfera, acarretando na porosidade, porém, os defeitos em peças fundidas podem ser causados também através de gases que são direcionados para o metal a partir do molde (SOUZA; 2015).

2.1.2 Moldagem em areia verde

O molde em areia verde tem sua preferência pela economia e pela qualidade da peça finalizada, de ferrosos e não ferrosos, sendo utilizado na produção em série (SIEGEL, 1985).

O grande fator que leva a areia verde a ser a mais utilizada industrialmente se dá ao fato da qualidade da areia, que, em concentrações corretas, resultam em um conjunto de propriedades benéficas a peça. Para fundições de ligas de alumínio, o principal componente da areia de moldagem é um agregado fino, considerado puro, denominado “areia base” ao qual é misturado um agente aglomerante, água e aditivos. A bentonita, caracterizado como uma argila plástica constituída por

argilominerais do grupo das esmectitas, é responsável pela coesão da areia quando umidificada, proporcionando resistência ao molde. Após a preparação da areia de moldagem, ocorre a confecção do molde através do preenchimento e compactação da areia sobre o modelo contendo a geometria externa da peça (AMMEN, 1979).

A formação dos filmes argilosos em torno dos grãos pelo deslizamento das lamelas, são dados pelas ligações entre lamelas adjacentes caracterizadas pelo dipolo formado pela água. A aproximação entre grãos de areia e a argila, resulta na formação de pontes argilosas, onde acontece a força de ligação realizada pela água, que por sua vez, age como ligantes dando plasticidade às lamelas, apesar de a argila ser o aglomerante (SENAI, 1987; MARIOTTO, 1978).

A argila que recobre os grãos de areia, dá a mistura, capacidade de adesão da argila com o grão de areia, e também coesão no filme de água com as partículas de argila, onde essas contribuições influenciam na resistência da areia para a criação do molde, (BALDAM; VIEIRA, 2013).

As argilas têm capacidade de reter água em altas temperaturas e reduzir a velocidade de formação de vapor d'água. Na sua ausência, perde-se o efeito ligante da água, a retração por perda de água sobre o aumento de temperatura, garantindo a não estabilidade térmica dimensional do molde. A umidade da argila está diretamente proporcional a resistência da areia. Porém, quando se tem água em excesso, criam-se muitas pontes de água, fazendo com que se distanciem da lamela de argila. Quanto mais longe, menor o efeito sobre as pontes de água, diminuindo a efetividade ao longo das camadas, o que pode acarretar em uma perda de resistência do conjunto (BALDAM; VIEIRA, 2013).

O excesso de concentrações de água na composição da areia verde pode afetar, nas ligas de alumínio, um aumento da solubilidade de hidrogênio que, contido na estrutura da água, age de maneira negativa no material fundido, aumentando a probabilidade de formação de poros. Portanto, a concentração de elementos deve ser corretamente calculada a fim de se obter um fundido de qualidade.

Além da preocupação dos componentes que formam a areia verde, o material que forma o modelo para a realização do molde também impacta no final do fundido. A moldagem plena, a qual utiliza-se de um processo de fundição de moldes perdidos é bastante comum de ser utilizada devido a sua facilidade de execução. O processo é realizado a partir de um modelo feito de espuma de poliestireno, onde o

mesmo, permanece no molde ao final de sua criação. Ao metal ser envazado, o modelo é vaporizado, onde é substituído pelo metal, como mostrado na Figura 2.

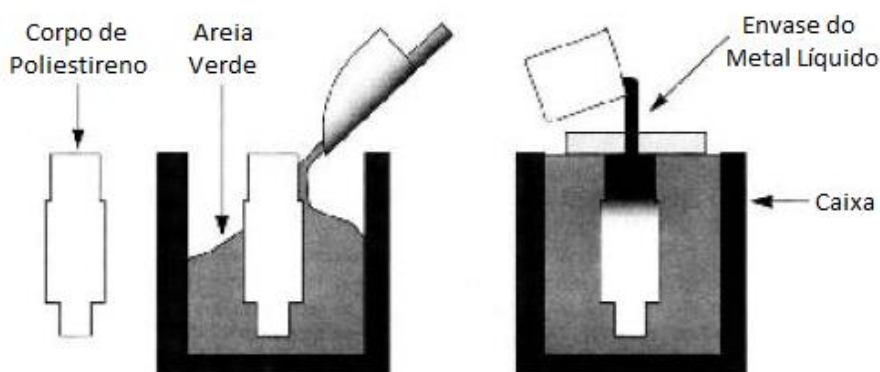


Figura 2 - Processo de moldagem plena.

Fonte: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/Processos%20de%20Fundição%20e%20Sinterização.pdf>>.

Contudo, no processo de evaporação da espuma, é gerado uma grande concentração de gases, podendo afetar significativamente na qualidade superficial da peça.

2.2 LIGAS DE ALUMÍNIO

Muito utilizadas industrialmente, as ligas de alumínio são aplicadas a mais de 150 anos devido as suas características como baixa temperatura de fusão, forte tendência à oxidação, baixa densidade, alta condutividade térmica e elevado coeficiente de dilatação (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Tabela 1 – Aplicações para ligas de alumínio

Série	Composição Química	Aplicações Principais
1XXX.X	Al comercialmente puro	Contatos elétricos
2XXX.X	Al-Cu e Al-Cu-Mg	Indústria aeronáutica
3XXX.X	Al-Si-Mg e Al-Si-Cu	Várias
4XXX.X	Al-Si	Pistões fundidos de motores
5XXX.X	Al-Mg	Aplicações náuticas (navios e barcos)
6XXX.X	Al-Mg-Si	Indústria automobilística
7XXX.X	Al-Zn e Al-Zn-Mg	Indústria aeronáutica
8XXX.X	Al-Sn	Várias, para ligas com baixo ponto de fusão

Fonte: <<http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/>>.

As ligas de alumínio são bastante úteis na construção de estruturas móveis, como aeronaves, possuindo um terço da densidade do aço, mais precisamente 2,7 g/cm³. Também, devido à grande variedade de composições químicas, as ligas de alumínio são extremamente econômicas e versáteis, possibilitando várias utilizações, como mostrado na Tabela 1.

- Ligas Al-Si: são as ligas de alumínio que apresentam as melhores características de fundição, onde possuem elevada resistência à corrosão, boa soldabilidade, porém, possuem baixa usinabilidade. Usualmente aplicadas em coletores de admissão, cabeçotes, blocos de motor e peças para indústrias aéreas (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Adições de magnésio tornam a liga tratável termicamente, permitindo a técnica de recozimento, possibilitando a esferoidização do silício, aumentando sua dureza e resistência ao desgaste. O teor elevado de magnésio acarreta a dificuldade em fundição, devido a formação de borra (MOREIRA; FUOCO, 2016).

Teores de cobre adicionados na liga, entre 3 e 11%, aumentam a resistência mecânica e melhoram a usinabilidade, porém, proporciona fragilidade a quente, menor fluidez e reduz a resistência a corrosão (MOREIRA; FUOCO, 2016).

Zinco, nas ligas com magnésio, resulta em maior resistência ao impacto, alta resistência à tração e ótima ductilidade. Adicionado juntamente com o cobre, proporciona melhor usinabilidade. Alto teor de zinco acarreta o aumento da fragilidade a quente e contração (RENNÓ, 1987).

A adição de pequeno teor de titânio, entre 0,05 e 0,20%, inflige no aumento da resistência à tração e da ductilidade, diminuindo a condutividade térmica. A união a pequena porção de boro, em até 0,01%, reforça o efeito já realizado pelo titânio, aumentando seu tempo útil de duração (BALDAM; VIEIRA, 2013).

- Ligas Al-Cu: aplicadas em peças estruturais, carcaças e pistões para motores diesel, as ligas Al-Cu são caracterizadas pelas boas usinabilidade e alta resistência mecânica, porém, apresentam baixa resistência a corrosão e elevada tendência ao desenvolvimento de microporosidades (MOREIRA; FUOCO, 2016).

- Ligas Al-Zn: somente o zinco na liga não exerce influência significativa pelo fato de ser altamente solúvel no alumínio, portanto, um controle de composição química atribuindo teores pequenos de magnésio com pequenas adições de cromo, titânio, manganês e zircônio, faz com que haja completa solubilização dos elementos em temperaturas de tratamento térmico, atingindo altos níveis de resistência

mecânica, sendo os maiores entre as ligas de alumínio. Utilizados principalmente em fabricação de aviões (BALDAM; VIEIRA, 2013).

- Ligas Al-Mn: utilizadas em peças estruturais, as ligas Al-Mn possuem elevada resistência à corrosão e excelente usinabilidade, e após serem submetidas por tratamento térmico, apresentam elevada resistência mecânica. O manganês adicionado nessa classe de liga, além de aumentar a resistência mecânica, tem o efeito importante de reduzir a sensibilidade à corrosão sob tensão (MOREIRA; FUOCO, 2016).

- Ligas Al-Mg-Si: em ligas da série 6XXX, o magnésio e o silício combinam-se para formar o composto intermetálico Mg_2Si , que antes de atingir o equilíbrio no superenvelhecimento, é o responsável pelo endurecimento dessas ligas.

O tratamento de solubilização e envelhecimento artificial controlado permite a precipitação da segunda fase, região com composições e características distintas dispersas na matriz, dificultando o movimento das discordâncias existentes no material. Isso favorece a formação de precipitados finos e uniformemente distribuídos, que acarretam um substancial aumento na dureza do material, (MATSUDA; GAMADA, 1998).

2.3 POROSIDADE

Um dos maiores e mais comum dos defeitos em fundição é a porosidade, como é mostrado na Figura 3, onde, variam significativamente seu tamanho e quantidade, dependendo da aplicação (MAJOR, 2002). Tal aspecto tem efeito deletério sobre as propriedades mecânicas, notadamente sobre a ductilidade, resistência a tração e resistência a fadiga.

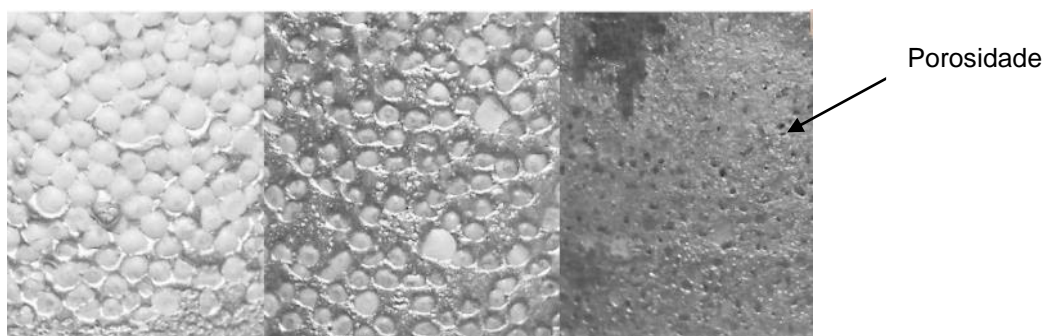


Figura 3 – Porosidade no alumínio em diferentes proporções.
Fonte: Souza (2015).

A porosidade pode ser classificada em três categorias: porosidade por concentração, porosidade causada por gases e porosidade causada pela oclusão de ar no molde (SINHORETI, 2001).

- Porosidade por concentração: a porosidade por concentração pode ser causada por concentração do líquido, concentração da solidificação e concentração no estado sólido. A porosidade devido a concentração do líquido é causada pelo aumento da densidade durante ao resfriamento do material. A porosidade causada pela concentração da solidificação ocorre em função de um aumento de densidade associado à transformação da fase líquida à fase sólida, compactando sua estrutura cristalina. E por fim, a porosidade derivada da concentração no estado sólido se faz pela contração dos materiais sólidos com a queda de temperatura no resfriamento, porém, por ser uma quantidade muito pequena, pode ser desprezada (MELO, 1996).

- Porosidade por gases: as ligas de alumínio apresentam grande solubilidade do hidrogênio, pelo fato de os metais tenderem a absorver gases da atmosfera no estado líquido, como mostrado na Figura 4. Porém, durante a solidificação, a solubilidade decresce drasticamente, fazendo com que o hidrogênio seja expulsado para as últimas porções líquidas, provocando a criação de porosidades em regiões interdendríticas (MOREIRA; FUOCO).

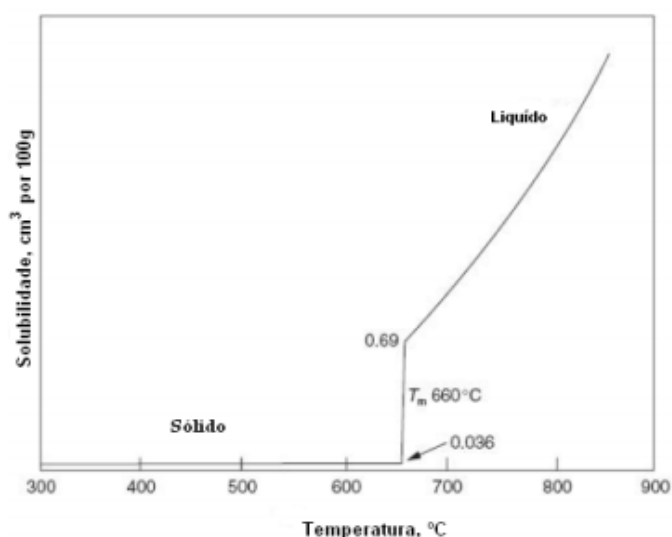


Figura 4 - Solubilidade de hidrogênio em alumínio.
Fonte: Martins (2008).

Como pode-se analisar na Figura 4, a solubilidade é realmente impactante quanto o alumínio atinge o seu ponto de fusão. A partir deste ponto, a solubilidade de hidrogênio é diretamente proporcional a temperatura.

O hidrogênio dissolvido no banho metálico pode ser causado pela atmosfera do forno, podendo gerar hidrogênio livre; pelos materiais de carga, havendo contaminantes sujeitos a oxidação; por componentes externos até mesmo usados como utensílios para a fundição; pela velocidade de envase do material líquido, onde em fluxo turbulento o ar pode penetrar na cavidade moldante; e pelo excesso de humidade no molde, gerando grande quantidade de hidrogênio na vaporização (Oliveira, 2010).

A porosidade tem grande influência sobre a densidade do material, pois a região ocupada por poros é preenchida com gás, podendo acarretar em alguns problemas em utilizações específicas (GREEG; SING, 1997). A velocidade de resfriamento do fundido influencia na formação de porosidade. Em um resfriamento rápido a taxa de solubilidade de hidrogênio decai drasticamente, proporcionando uma maior dificuldade ao hidrogênio se alocar no alumínio. Já em um resfriamento lento, o hidrogênio é bastante solúvel em um intervalo de tempo maior, acarretando em uma maior concentração de poros formados no fundido.

- Porosidade por oclusão de ar no molde: também chamada de porosidade por pressão de retorno, a porosidade por oclusão de ar pode produzir grandes depressões côncavas no interior do molde. É causada pela incapacidade do ar escapar através dos poros do molde. O ar aprisionado e é encontrado no fundido em forma de “bolsa” na face da peça (MELO, 1996).

Elementos que auxiliam na redução da porosidade acabam sendo, muitas vezes, muito caros para os processos metalúrgicos, gerando a corrida a novos recursos com a mesma eficiência, porém mais viáveis. A desgaseificação trata-se de um procedimento de injeção de um gás inerte (geralmente argon ou nitrogênio, para alumínios) no fundido em estado líquido por meio de uma lança de grafite, como mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Após a adição do gás no material, as bolhas formadas pelo gás, por ação mecânica, irão arrastar as bolhas de hidrogênio para a superfície, além de permitir uma melhor homogeneização da composição. Apesar de ser um processo simples, a lança deve passar por um pré-aquecimento, a fim de não haver solidificação local na inclusão da lança devido a variação de temperatura (OLIVEIRA, 2010).

A eficiência do processo se dá importantemente pelo tamanho da bolha formada. Bolhas de 5mm de diâmetro ou menos são ideais para a remoção do hidrogênio pois bolhas com dimensões maiores baixam a eficiência entre 20 e 30%.

Um grande número de pequenas bolhas permite estar mais próximo dos átomos de hidrogênio e terá apenas uma curta distância entre o banho de alumínio e a superfície da bolha, garantindo com que a bolha esteja supersaturada de hidrogênio, elevando sua eficiência. Neste ponto, a taxa de desgaseificação só pode aumentar através do aumento do fluxo de gás. A eficiência de desgaseificação para um dado tamanho de bolha melhora quando concentração de hidrogênio no banho metálico é reduzida (OLIVEIRA, 2010).

2.4 CELULOSE

Celulose é um dos materiais mais abundantes na terra. É o principal constituinte das plantas para manter toda sua estrutura, além de estar presente também em fungos, bactérias, algas e também em alguns animais. Descoberta a mais de 150 anos por isolamento de plantas verdes, a celulose é motivo de estudos até hoje devido a novas informações descobertas investem em avanços tecnológicos para métodos analíticos como cristalografia e microscopia. É uma substância fibrosa, resistente, insolúvel em água, onde se encontra nas paredes celulares protetoras das plantas, especificamente em caules ou troncos (O'SULLIVAN, 1996).

Sua estrutura pode ser dividida e classificada em três níveis constitucionais. A primeira é estabelecido pela sequência de ligações covalentes consistidas de resíduos β -D-glicopiranosídicos, onde formam um homopolímero de anidroglicose com ligações glicosídicas dado pela fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$, como mostrado na Figura 5.

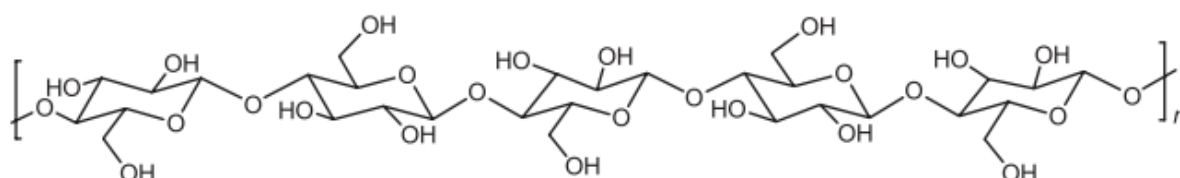


Figura 5 - Representação esquemática de uma fração molecular da celulose
Fonte: Santos et al. (2012).

O segundo nível descreve a organização espacial das células repetitivas, onde as ligações de hidrogênio intramoleculares, as distâncias e ângulos das ligações influem na conformação molecular. O terceiro nível define sua estrutura cristalina em relação ao número de associação de moléculas, que atribui a uma

elevada resistência mecânica e concebe o efeito de insolubilidade em água (SANTOS et al., 2012). A celulose é usada em indústria principalmente para a fabricação de papéis como, por exemplo, papelão, papéis de parede, revistas, papéis de escrita e desenho, entre outros (CASTRO, 2009).

Do ponto de vista químico, as fibras são formadas pelas interações entre as moléculas de celulose, proporcionadas pelas ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila dos monômeros de glicose, como mostrado na Figura 6 (ALMEIDA; SILVA, 1998).

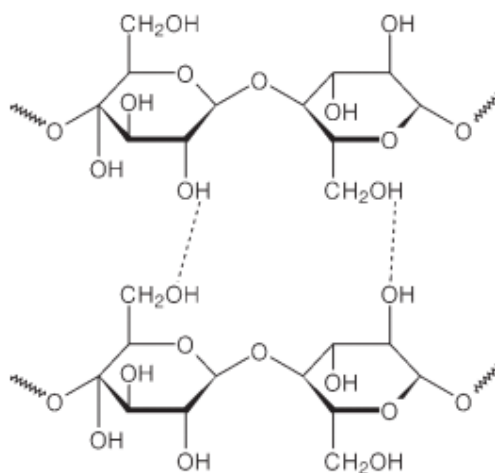


Figura 6 - Ligações de hidrogênio entre cadeias de celulose
Fonte: <<http://www.qnesc.sbq.org.br/online/qnesc14/v14a01.pdf>>.

No mercado papelero existem as fibras curtas, produzidas de árvores como eucalipto, álamo, bétula e acácia e é geralmente mais adequada para fabricar papéis de impressão e escrita revestidos e não-revestidos, papel de seda e papelão de embalagem revestido, além de ser o melhor tipo para a fabricação de papel sem madeira com boa capacidade de impressão, maciez, brilho e uniformidade.

Com estrutura fibrosa e comprimento considerado longo – entre 2 e 5 centímetros –, a celulose retirada de coníferas, como por exemplo o pinus, é chamada de celulose de fibra longa (BRACELPA, 2009).

A celulose de fibra longa tem aplicação nos papéis que precisam de uma resistência maior, como é o caso do papel usado na fabricação de embalagens e também no papel cartão. Ainda que fino, o papel jornal também vem da celulose de fibra longa, o que explica a sua textura mais dura se comparado a outros tipos de papel (BRACELPA, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1 DELIMITAÇÃO DOS PROCESSOS E OBTENÇÃO DOS MATERIAIS

Esta atividade teve como objetivo selecionar o alumínio utilizado, bem como as quantidades de celulose a ser adicionada a liga de alumínio. Foi utilizado o Alumínio 6063, possuindo as seguintes características, presente na Tabela 2 e Tabela 3:

Tabela 2 - Características do alumínio 6063.

Liga ABNT/ASTM	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)	Outros (%)
6063 T5	Restante	0,20 - 0,60	0,35	0,10	0,10	0,45 – 0,90	0,10	0,10	0,10	0,15

Fonte: <<http://alrasmetais.com.br/ficha-tecnica.php>>.

Propriedades mecânicas:

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do alumínio 6063.

Liga ABNT/ASTM	Limite de resistência a tração (Mpa)	Limite de escoamento mínimo (Mpa)	Alongamento mínimo (%)	Dureza Brinel (HB)	Densidade (g/m ³)
6063 T5	140	105	8	66	2,71

Fonte: <http://www.alumiplast.com.br/documentos/propriedades_mecanicas.pdf>.

Já a celulose utilizada foi a derivada de Eucalipto, possuindo fibras curtas, onde sua densidade média varia entre 0,3 a 0,6 g/cm³, sendo as mais utilizadas em indústrias papeleras devido à resistência. A celulose foi adicionada na liga de alumínio após a sua fusão, a uma temperatura de 720°C e, em seguida, realizado a mistura para homogeneidade.

3.2 MOLDAGEM DO MOLDE EM AREIA VERDE

Todas as ligas propostas foram vazadas em um molde de areia verde, utilizando-se 6 modelos. O molde teve sua sustentação e fixação por tábuas de madeira cortadas formando uma caixa em volta do mesmo. Na caixa foi colocada a areia verde juntamente com os modelos de corpo de prova até o preenchimento total da mesma. Os modelos foram feitos de espuma de poliestireno e suas dimensões

foram pré-estabelecidas com 300mm de comprimento, 50mm de largura e 20mm de espessura. A areia verde utilizada conteve 80% de seu composto como areia base, 15% de bentonita e 5% de água.

3.3 PROCESSO DE AQUECIMENTO E VAZAMENTO DO ALUMÍNIO

O processo de aquecimento do alumínio foi realizado em um forno tipo Mufla com temperatura controlada, no laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Guarapuava.

Cada batelada de alumínio, foi colocada em cadinho de aço inox, com capacidade máxima de 0,4 litros. Em seguida, sabendo-se que o ponto de fusão do alumínio é em aproximadamente 660°C, as amostras foram aquecidas até uma temperatura média de 720°C, para evitar possíveis desvios.

Após homogeneização da temperatura as amostras foram vazadas no molde de areia verde desenvolvido, a fim de se obter as amostras para análise. A pesagem de cada amostra foi realizada em uma balança analítica com precisão de 1mg.

As amostras desenvolvidas estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Massa das amostras obtidas.

Amostra	Porcentagem de Celulose (%)
P1	0
P2	0
C1-1	10%
C1-2	10%
C2-1	20%
C2-2	20%

Fonte: Autoria Própria.

Onde,

P1 – Amostra 1 de alumínio 6063 pura;

P2 – Amostra 2 de alumínio 6063 pura;

C1-1 – Amostra 1 de alumínio 6063 com 10% de adição de celulose;

C1-2 – Amostra 2 de alumínio 6063 com 10% de adição de celulose;

C2-1 – Amostra 1 de alumínio 6063 com 20% de adição de celulose;

C2-2 – Amostra 2 de alumínio 6063 com 20% de adição de celulose.

3.4 ANALISE METALOGRAFICA DA ESTRUTURA

Inicialmente realizou-se a preparação das amostras, retirada da região central do corpo de prova de alumínio, os cortes foram executados na cortadora Metalográfica CM40/60, evitando alterações microestruturais do material e alcançou dimensões que possibilitaram o embutimento da amostra.

O embutimento das amostras foi realizado através da Prensa Embutidora Metalográfica Manual EM30D (\varnothing 30 mm), onde as amostras foram embutidas à quente utilizando como material de resina a baquelite. No processo de embutimento a amostra permaneceu com pressão aproximada de 150 kgf/mm² até atingir a temperatura de 160°C, permaneceu nesta pressão até o resfriamento atingindo a temperatura de 60°C, com duração de aproximadamente 30 minutos o processo de embutimento.

Com a conclusão do processo de embutimento realizou-se o lixamento das amostras visando eliminar marcas mais profundas contidas na superfície. Esse processo consistiu-se em utilizar lixas de granulometria sucessivamente menor, e para cada lixa subsequente a amostra foi rotacionada em 90° para que cada processo de lixamento eliminasse as marcas e planos deixados pela lixa anterior até que essas fossem extintas.

Para o processo de lixamento foi utilizado o equipamento Politriz Lixadeira Metalográfica PL02E, e a sequência de lixas de carbeto de silício utilizadas neste método aplicado foi 220, 360, 400, 600, 1200 Mesh, com rotação de 400 RPM. As amostras foram mantidas na lixadeira com intervalos para análise, até que os riscos deixados pela lixa anterior fossem eliminados.

Após a finalização do processo de lixamento, as amostras foram devidamente limpas com água, seguido de limpeza com álcool etílico, no intuito de eliminar poeiras e traços abrasivos de sua superfície.

Com a limpeza devidamente realizada, prosseguiu-se com o polimento, com alumina em suspensão, da superfície da amostra, em granulometria de 1 microns e em seguida 0,5 microns, sendo realizado através da Politriz Lixadeira Metalográfica PL02E.

As amostras após o polimento, limpeza e secagem, foram expostas ao ataque químico. Foi utilizado como ataque químico o reativo Flick, reagente especializado para alumínio e suas ligas, onde o mesmo possui em sua composição

10ml de ácido fluorídrico concentrado (HF); 15 ml de ácido clorídrico concentrado (HCl); e 10ml de água destilada (H₂O). O tempo de ataque foi de aproximadamente 10 segundos, observando que após a imersão na concentração as amostras foram enxaguadas em água morna, seguidas de álcool etílico e por fim devidamente secadas a fim de não conter qualquer tipo de impureza para a análise microscópica.

Cada amostra atacada foi analisada por quatro diferentes lentes sucessivamente superiores em aproximação, sendo elas 10x, 20x, 50x e 100x.

3.5 ANÁLISE DA POROSIDADE

Como primeiro método, a mensuração da porosidade foi baseada através da picnometria, sendo um processo de comparação de massas específicas relativas do sólido e do líquido. Essa técnica é fundamentada pelo Princípio de Arquimedes que impõe que “todo corpo mergulhado em um fluido em repouso sofre, por parte do fluido, uma força vertical de baixo para cima igual ao peso do volume do fluido deslocado” (GOMES, 2012).

Este procedimento é um bastante efetivo para estimar a porosidade das amostras. Pelo Princípio de Arquimedes, temos que o peso da amostra (P) é a soma vetorial do peso aparente (P') com o empuxo (E), como mostra a equação (1) (GOMES, 2012).

$$P = P' + E \quad (1)$$

O empuxo (E), é representado pela equação (2).

$$E = \rho_L \cdot V_A \cdot g \quad (2)$$

Onde:

P – peso da amostra (g.cm/s²);

P' – peso aparente da amostra (g.cm/s²);

E – empuxo (g.cm/s²);

ρ_L – massa específica do líquido (g/cm³);

V_A – volume da amostra (cm³);

g : aceleração da gravidade (cm/s²).

O volume da amostra pode ser expresso em função do peso e da massa específica, conforme equação (3), onde ρ_A – massa específica da amostra (g/cm^3) (GOMES, 2012).

$$V_A = \frac{P}{\rho_A \cdot g} \quad (3)$$

Para o cálculo do volume foi utilizado duas provetas graduadas em 0,1 ml e 0,2 ml, devido ao tamanho das amostras, como mostra a Figura 7. **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Foi despejado nas provetas água destilada até a medida de 5ml utilizando uma pipeta graduada em 1 ml com um pipetador.

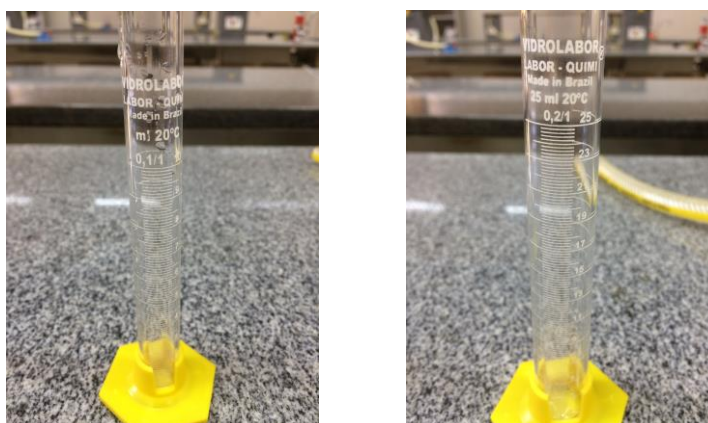


Figura 7 - a) Proveta graduada em 0,1 ml. b) Proveta graduada em 0,2 ml.
Fonte: Autoria própria.

Em seguida, foram adicionadas as amostras, uma a uma, e calculada a variação de volume da proveta em relação a medida de 5 ml definida. Realizando três medições por amostra, obteve-se um valor médio entre as medições.

Pelos resultados obtidos pela equação (3), deve-se encontrar a massa da amostra, representada pela equação (4).

$$m_{AM} = (V_A \cdot \%A \cdot \rho_A) + (V_A \cdot \%C \cdot \rho_C) \quad (4)$$

Onde:

M_{AM} – massa da amostra (g);

$\%A$ – percentual de alumínio;

$\%C$ – percentual de celulose;

ρ_A – densidade tabelada do alumínio;

ρ_C – densidade tabelada da celulose.

Utilizando manipulações na equação (4), tem-se que a densidade das amostras é representada pela equação (5) (GOMES, 2012).

$$\rho = \frac{P}{V_A \cdot g} \quad (5)$$

Tendo que a massa e o volume, considerando o valor para aceleração da gravidade de Curitiba de $g = 9,78 \text{ m/s}^2$ pela proximidade de altitude, temos que a densidade ou massa específica (ρ) das amostras.

Com a densidade calculada, foi utilizado uma correlação para ser encontrada a porcentagem de poros com a densidade tabelada, conforme mostra a equação (6) (GOMES, 2012).

Sendo: %Poros – Porcentagem de poros na amostra; ρ_t – Densidade tabelada e ρ_a – Densidade da amostra.

$$\% \text{Poros} = \frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_t} \cdot 100 \quad (6)$$

Como segundo método, foi utilizado a medição geométrica da porosidade em função de uma área amostral, tomou-se como base para os cálculos da porosidade as imagens obtidas pela lente 50x do microscópio, foi utilizado o *Software* AutoCAD para uma mensuração mais precisa da área de poros. Inicialmente selecionou-se uma área pré-determinada das imagens para a análise dos cálculos, onde foi baseada através da graduação de $20 \mu\text{m}$ sendo sua base seis vezes maior e sua altura quatro vezes maior, como mostrado na Figura 8.

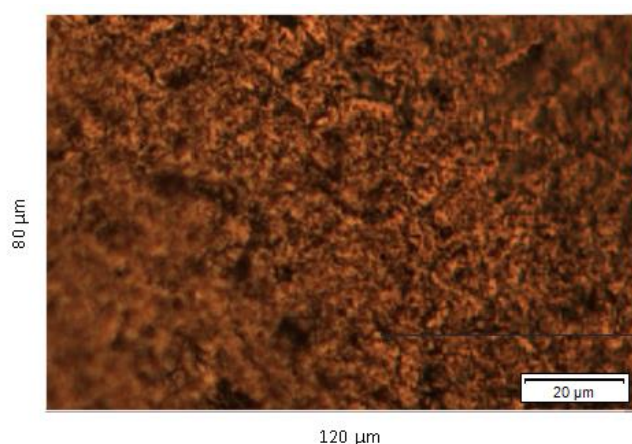
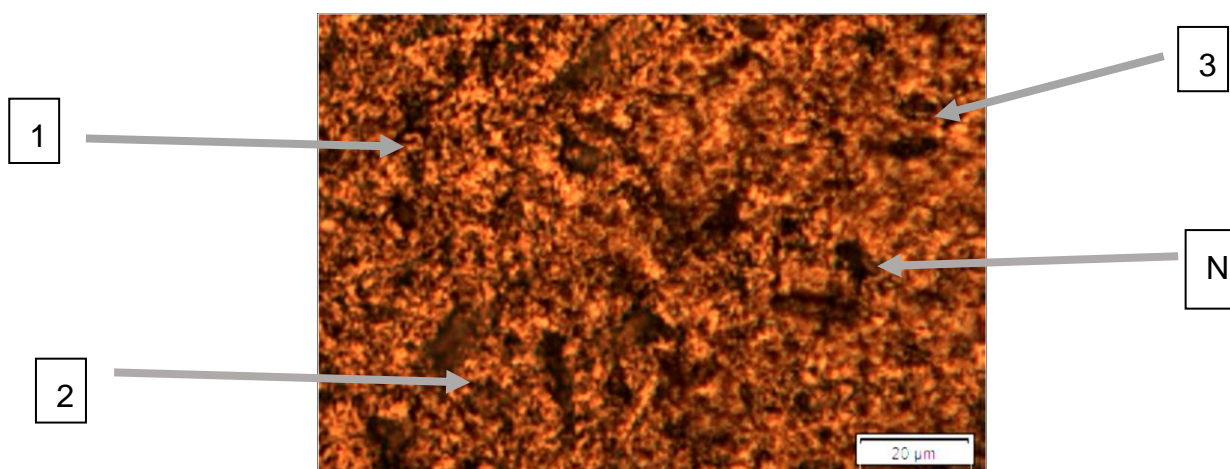


Figura 8 - Exemplo de padronização de tamanho das imagens para os cálculos.
Fonte: Autoria própria.

Em seguida foram feitas análises visuais, imagem por imagem, para a contagem dos poros, como mostrado na Figura 9.



**Figura 9 - Contagem de poros amostra P1.
Fonte: Autoria própria.**

Partindo deste princípio, foi realizado o cálculo da área de cada um dos poros identificados nas imagens, as áreas são calculadas através do *Software* AutoCAD, o qual possui uma função de contabilização de área através da delimitação de uma geometria. As áreas obtidas são relacionadas ao tamanho da imagem em escala, considerando-o por aproximação como um círculo perfeito.

Com os dados das áreas dos poros (da imagem), foi realizado um somatório das mesmas, como mostra a equação (7).

$$AP_p = \sum_n^1 (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_N) \quad (7)$$

Onde,

AP_p – Área total dos poros;

A_1 – Área do poro 1;

A_2 – Área do poro 2;

A_3 – Área do poro 3;

A_n – Área do n-ésimo poro.

Com a soma das áreas dos poros, pode-se calcular a porcentagem da área de poros em relação a área amostral, obtendo uma relação de quantidade de poros em uma área da superfície, como mostrado na equação (8).

$$\%P = \frac{100 \cdot \sum AP_R(n)}{AI_R} \quad (8)$$

Onde $\%P$ é a porcentagem de poros da amostra.

Obtendo a porcentagem de poros em relação a imagem definida podemos dizer, por correlação, que a porcentagem de porosidade em uma fração de amostra obtida pode ser considerada a mesma porcentagem em relação a toda a interface da amostra, ou seja, os valores obtidos são os valores estimados para toda a amostra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos métodos citados, foi realizado e obtido resultados dos mesmos, como será mostrado a seguir.

4.1 MÉTODO 1

Partindo-se das medições realizadas da variação volumétrica, pode-se encontrar os seguintes volumes de cada uma das amostras, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Volume média entre amostras.

Amostras	1ª Medição (cm ³)	2ª Medição (cm ³)	3ª Medição (cm ³)	Volume Médio (cm ³)
P1	0.44	0.43	0.44	0.44
P2	0.52	0.52	0.53	0.52
C1-1	0.72	0.80	0.75	0.76
C1-2	0.70	0.71	0.65	0.69
C2-1	1.30	1.31	1.34	1.32
C2-2	1.28	1.35	1.30	1.31

Fonte: Autoria própria.

Com a utilização das massas encontradas pela balança, tem se a Tabela 6.

Tabela 6 - Massa das amostras.

Amostras	Massa (g)
P1	1.175
P2	1.435
C1-1	2.087
C1-2	2.033
C2-1	3.636
C2-2	3.656

Fonte: Autoria própria.

Utilizando a equação (5), foi realizado o cálculo da densidade, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Densidade das amostras.

Amostras	Densidade (g/cm ³)
P1	2.67
P2	2.76
C1-1	2.75
C1-2	2.95
C2-1	2.75
C2-2	2.79

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, foram comparadas à densidade original do Alumínio 6063, mostrando assim o percentual de porosidade em cada uma das amostras.

Considerando a densidade deste alumínio como $\rho_a = 2.71 \text{ g/m}^3$, os resultados obtidos pela equação (6) são mostrados na Tabela 8 Tabela 8.

Tabela 8 - % de poros das amostras.

Amostra	% de Poros
P1	1.46
P2	-1.83
C1-1	-1.33
C1-2	-8.72
C2-1	-1.64
C2-2	-2.98

Fonte: Aatoria própria.

Pode-se analisar a não coerência entre os resultados obtidos. Visualizou-se que a amostra P2 obteve uma densidade maior que a densidade ideal do alumínio, o que provavelmente indica a possibilidade de impurezas, incrustações ou até mesmo areia do molde no fundido. As amostras com adição de concentrações de celulose possam ter os mesmos motivos, porém, pela sua degradação, houve uma adição de carbono na liga, gerando resultados errôneos pelo método utilizado.

4.2 MÉTODO 2

Foram encontradas as áreas relativas a cada um dos poros identificados, considerando-os como regulares, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Área dos poros de cada amostra (mm²).

Poros	(continua)					
	P1	P2	C1-1	C1-2	C2-1	C2-2
1	0.1121	0.4741	0.6218	0.1505	0.1245	0.0772
2	0.3327	0.3858	0.2924	0.1822	0.0518	0.0499
3	0.1005	0.2153	0.1998	0.1822	0.0312	0.0416
4	0.4217	0.7410	0.2620	0.1790	0.0662	0.0366
5	0.1349	0.2826	0.2499	0.2783	0.0175	0.0735
6	0.1793	0.6008	0.2185	0.2122	0.0187	0.0540
7	0.1473	0.4159	0.6818	0.3105	0.1107	0.0984
8	0.9534	0.7200	0.1180	0.6526	0.0663	0.0273

Tabela 10 - Área dos poros de cada amostra (mm²).

Poros	(conclusão)					
	P1	P2	C1-1	C1-2	C2-1	C2-2
9	0.0845	0.4144	0.1371	0.2461	0.1916	0.1127
10	X	0.5192	0.7781	0.1912	0.0190	X
11	X	0.2335	X	0.1775	X	X
12	X	X	X	0.0889	X	X
13	X	X	X	0.3669	X	X

Fonte: Autoria própria.

Após mensurar os poros observados nas imagens, encontrou-se o somatório das áreas dos poros, a partir da equação (7). Com isto, obteve-se a área total de poros de cada amostra, como mostrado na Tabela 10.

Percebe-se que a área total de poros vai diminuindo à medida que aumenta a porcentagem de celulose de fibra curta nas amostras.

Com os resultados obtidos, pode-se calcular a porcentagem da área de poros a partir da equação (8). A porcentagem de poros obtida é mostrada através da Tabela 11.

Tabela 11 - Porcentagem de poros das amostras.

Amostra	Área dos poros (µm ²)	Porcentagem de poros (%)
P1	39.4624	0.4111
P2	80.0416	0.8337
C1-1	56.9504	0.5932
C1-2	51.4896	0.5363
C2-1	11.1600	0.1162
C2-2	9.1392	0.0952

Fonte: Autoria própria.

Obtendo a porcentagem de poros em relação a imagem definida pode-se dizer, por correlação, que a porcentagem de porosidade em uma fração de amostra obtida pode ser considerada a mesma porcentagem em relação a toda a interface da amostra, ou seja, os valores obtidos na Tabela 10 são os valores estimados para toda a amostra.

Apesar de os resultados parecerem confiáveis, é notável a subjetividade da avaliação. Devido ao microscópio disponível para o estudo, a dificuldade para análise foi gritante, prejudicando a definição visual entre poros e carbonos, tornando o estudo impreciso, devido a possível determinação errônea dos poros.

4.3 CORRELAÇÃO ENTRE MÉTODOS

Avaliando os métodos utilizados, pode-se perceber que ambos os métodos apresentam valores opostos, ou seja, não foi possível verificar uma correção direta com a porcentagem de poros obtidas. A Tabela 11, apresenta os valores para cada um dos métodos.

Tabela 12 – Correlação do percentual de poros entre os métodos utilizados

Amostra	Porcentagem de poros (%) –	
	Método 1	– Método 2
P1	1.46	0.4111
P2	-1.83	0.8337
C1-1	-1.33	0.5932
C1-2	-8.72	0.5363
C2-1	-1.64	0.1162
C2-2	-2.98	0.0952

Fonte: Autoria própria.

Por embasamento teórico, o primeiro método, o qual foi baseado pelo Princípio de Arquimedes, iria concretizar resultados mais precisos, porém, pelas impurezas e alojamento de carbono na liga, os resultados se fizeram insignificantes, consequentemente desprezíveis ao estudo.

Já o segundo método, resultou em valores os quais poderiam gerar impressões consideráveis. Contudo, pela tamanha subjetividade do método, aonde se teve uma enorme probabilidade ao erro devido a determinação visual, também se fez pertinente a dificuldade encontrada em definir a diferença entre poros, carbono retido e impurezas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu compreender e analisar a adição de celulose no alumínio 6063 gerando resultados os quais se mostraram inconclusivos para o estudo.

Cada etapa do processo, sendo eles, a preparação do molde em areia verde, a fundição do alumínio, a adição de celulose, a criação dos corpos de prova e suas amostras, a análise metalográfica, se fazem pertinentes aos dados finais, influenciando no resultado.

Ainda que obtido resultados negativos no estudo, pode-se concluir que a adição de celulose em ligas de alumínio deve ser minuciosamente calculada e realizada em local adequado para geração de conclusões precisas.

Este trabalho revela a importância de se estudar a celulose e sua aplicabilidade em uma liga. Devido a sua abundância no planeta, a celulose deve ser melhor estudada e aplicada. O estudo abre espaços para novas pesquisas e aplicações que se fazem pertinentes a busca por novas ligas e descobertas.

REFERÊNCIAS

ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Revista da ABIFA, Fundição & Matérias Primas, v. 93, n. 1, p. 88-91, 2008. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Relatório estatístico anual 2007/2008**. 2009.

ADEGAS, Roseane Gonçalves. **Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam areias no estado do Rio Grande do Sul. 2007**. Dissertação Mestrado.

ALMEIDA, J.M. e SILVA, D.J. Estratégias para incremento de competitividade do setor de celulose e papel brasileiro para o próximo século. **1º Congresso de Tecnologias de Fabricação da Pasta Celulósica**. São Paulo, 5-6 maio, 1998

ALRASE METAIS. **Alumínio 6063**. Disponível em: <http://alrasemetais.com.br/ficha-tecnica.php>. Acesso em: 03 de abril. 2018.

ALUMIPLAST. **Propriedades mecânicas**. Disponível em: http://www.alumiplast.com.br/documentos/propriedades_mecanicas.pdf. Acesso em: 03 de abril. 2018.

AMMEN, C. W. **The complete handbook of sand casting**. Tab Books, 1979.

ARAUJO, Silvio A. Modelos e métodos para o planejamento e programação da produção aplicados no setor de fundições. **Modelos e Métodos para o Planejamento e Programação da Produção Aplicados no setor de Fundições**, 2003. Tese de Doutorado.

ARAUJO, Silvio Alexandre de; ARENALES, Marcos Nereu. Planejamento e programação da produção numa fundição cativa automatizada de grande porte. **Investigação Operacional**, v. 24, n. 2, p. 197-210, 2004.

ASHTON, R. F.; WESLEY, R. P.; DIXON, C. R. The effect of porosity on 5086-H116 aluminum alloy welds. **Welding J**, v. 54, n. 3, 1975.

BALDAM, Roquemar de L; VIEIRA, Estéfano A. **Fundição: Processos e tecnologias correlatas**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2013.

BEELEY, Peter. **Foundry technology**. Butterworth-Heinemann, 2001.

BISHOP, N. E.; FERGUSON, S.; TEPIC, S. Porosity reduction in bone cement at the cement-stem interface. **Bone & Joint Journal**, v. 78, n. 3, p. 349-356, 1996.

CASTRO, Heizer F. Processos Químicos Industriais II. **Faculdade de engenharia química de Lorena. Departamento de engenharia química. Anotações Apostila**, v. 4, 2001.

CHASTAIN, S. D. **Metal casting: a sand casting manual for the small foundry vol.1**. Jacksonville: B. SC. Mechanical Engineering and Materials Science University of Central Florida. 2004.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Estrutura e propriedades das ligas metálicas**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CUNHA, A. B. **Estudo da contaminação por compostos fenólicos de uma área impactada por resíduo de areia de fundição**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 133p.

EFUNDA. **Alluminum alloy**. Disponível em: http://www.efunda.com/materials/alloys/aluminum/list_aluminum.cfm?m=des&Page_Title=AA%201xxx&C=aluminum&SC=wrought&ID_Low=AA_1. Acesso em: 20 de mar. 2018.

GOMES, Laercio Gouvea et al. **Microestrutura dendrítica, macrossegregação e microporosidade na solidificação de ligas ternárias Al-Si-Cu**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 2012.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W. **Adsorption, surface area and porosity**. 4. ed. Londres: Academic Press, 1997.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA – CAMPUS BELÉM ; SANTA MARIA. **Fundição: Rede e-Tec**. Brasil: Bruno Ferraz de Oliveira, 2013.

KLINSKY, Luis Miguel Gutiérrez. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua**

incorporação a solos argilosos. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MACHADO, Izabel. **Processos e sinterização (metalurgia do pó).** Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/Processos%20de%20Fundição%20e%20Sinterização.pdf>. Acesso em: 17 de jun. 2018.

MAJOR, J. F. Porosity control and fatigue behavior in A356-T61 aluminum alloy. **Transactions-American Foundrymen Society**, p. 901-906, 1998.

MARIOTTO, C. L. **Areias de moldagem aglomeradas com argila.** São Paulo, IPT, 1978.

MARTINS, Natacha Catarina da Eira. **Soldadura de ligas de alumínio de construção naval.** 2008. Tese de Doutorado. FCT-UNL.

MATOS, Stelvia Vigolvinho et al. Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** 2000. p. 1742-1753.

MATSUDA, K., IKENO, S., GAMADA, H. et al. **Metall and Mat Trans A.** 1998.

MELO, Mirian de Lourdes Noronha Motta et al. **Análise numérico/experimental da formação de microporosidades durante a solidificação de ligas de Alumínio.** Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 1996.

MOREIRA, Marcelo F.; FUOCO, Ricardo. **Ligas de alumínio fundidas.** Disponível em <<http://www.dalmolim.com.br/educacao/materiais/bibliomat/aluminiofund.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2016.

NETO, Carlos A. **Notas aula de fabricação.** Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAfxXYAK/notas-aula-fabricacao?part=3>. Acesso em: 06 de mai. 2018.

OKIDA, José Roberto. **Estudo para minimização e reaproveitamento de resíduos sólidos de fundição.** 2006.

OLIVEIRA, André Ferreira de et al. **Redução controlada do teor de hidrogênio em ligas de alumínio**. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade de Porto. 2010.

O'SULLIVAN, Antoinette C. Cellulose: the structure slowly unravels. **Cellulose**, v. 4, n. 3, p. 173-207, 1997.

PASTOR, M. et al. Porosity, underfill and magnesium lose during continuous wave Nd: YAG laser welding of thin plates of aluminum alloys 5182 and 5754. **WELDING JOURNAL-NEW YORK-**, v. 78, p. 207-s, 1999.

REIS, Bernardo P. **Influência da Estrutura de Solidificação nas Condições de Solubilização da Liga Al-4,0%Cu**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RENNÓ, M.; BRESCIANI, E. **Propriedades e Usos de Metais não Ferrosos**. São Paulo: ABM, 1987.

SANCHEZ-MUNOZ, L. et al . Influência da composição das matérias-primas no processo de gresificação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica**, São Paulo , v. 48, n. 307, p. 137-145, Sept. 2002.

SANTOS, Celênia P. **Papel: como se fabrica**. Disponível em: <http://www.qnesc.sbq.org.br/online/qnesc14/v14a01.pdf>. Acesso em: 04 de out. 2016.

SANTOS, Fernando A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, Silvia Grandi dos; ARAUJO, Silvio Alexandre de; RANGEL, Maria do Socorro Nogueira. Integrated cutting machine programming and lot sizing in furniture industry. **Pesquisa Operacional para o desenvolvimento**, p. 1-17, 2011.

SENAI. **As Areias de Fundição**: Generalidades e Propriedades de Utilização. Belo Horizonte: Senai. 1987.

SIEGEL, M. (ed). **Curso de Fundição**. São Paulo: ABM, 1963. (Instituto de Pesquisas Tecnológicas; Escola Politécnica da USP).

SIEGEL, M. **Fundição**. 15. Ed. São Paulo: ABM, 1985.

SING, Kenneth SW. Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). **Pure and applied chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

SINHORETI, Mário Alexandre Coelho et al. Análise da porosidade em ligas metálicas fundidas com três fontes de calor. **Revista da Faculdade de Odontologia-UPF**, v. 6, n. 2, 2001.

SOARES, Glória A. **Fundição: mercado, processos e metalurgia**. Rio de Janeiro: Coppe, 2000.

SOUZA, Ricardo Pires de. **Otimização de parâmetros mecânicos e microestruturais dos moldes em areia de sílica ligados quimicamente pelo processo de cura a frio em fundição de aço**. Natal, RN. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2015.

TRINKS, Willibald. **Industrial furnaces**. John Wiley & Sons, 2004.

VIANNA, Andréa. G. et al. Um problema de programação da produção numa fundição automatizada. **Gestão & Produção**, v. 2, n. 3, p. 244-263, 1995.

VIANA, Denilson J.; NETO, Antonio F.. Otimização do processo de fundição sob pressão aplicando o método de Taguchi. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 4, p. 1435-1465, 2013.

WALDER, Joseph; NUR, Amos. Porosity reduction and crustal pore pressure development. **J. geophys. Res**, v. 89, n. B13, p. 11539-11548, 1984.