

## ESTUDO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA ESTRUTURA METÁLICA CELULAR.

Felipe José Lucchesi Rocha, [lucchesi.universitario@gmail.com](mailto:lucchesi.universitario@gmail.com)<sup>1</sup>

Tiago de Melo, [tiago.melomec@gmail.com](mailto:tiago.melomec@gmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitário do Distrito Federal - UDF, SEP/SUL EQ704 / 904 Conj.A, Brasília / DF, CEP 70390-045.

**Resumo:** As estruturas de espuma de ligas metálicas raramente são aplicadas no meio industrial devido a ser uma tecnologia recente e pouco explorada. Este trabalho visa a confecção dessas estruturas e a realização de um estudo sobre suas propriedades mecânicas. Para tal foram confeccionados corpos de provas de estrutura sólida e porosas, afim de comparar resultados obtidos nos ensaios de tração, compressão, cisalhamento, fadiga, impacto e condutividade térmica. Além de averiguar a influência de parâmetros de processo nas características estruturais, como dimensões das galerias abertas ou fechadas, metalúrgicas e físicas de tais estruturas porosas. E por fim avaliar comparar resultados obtidos com a literatura. O material utilizado é composto de uma liga metálica de alumínio e NaCl, agente responsável por criar os poros da estrutura. Os resultados encontrados mostram um comportamento estrutural do alumínio poroso em relação ao sólido, mais frágil e menos resistente a tração e compressão, dureza Rockwell superior e uma deformação 20% maior pela mesma carga fornecida na compressão, isso é um fator importante para absorção de impacto. Foram obtidos também resultados do ensaio de condutividade térmica (keff) em função da fração volumétrica de cada tipo de estrutura, onde pode-se notar que a estrutura porosa conduz menos calor que a estrutura sólida, cerca de 7.327% a menos. Esse processo de confecção oferece uma forma versátil e econômica para a produção de espumas. O projeto foi escolhido por ser inovador no mercado mundial, que fomentará novas descobertas nos procedimentos de fundição e nas áreas onde poderão ser utilizadas.

**Palavras-chave:** Alumínio Poroso; Estrutura Celular; Estrutura Porosa.

### 1. INTRODUÇÃO

No mercado atual um dos materiais considerados mais maleáveis no setor metal/mecânico são as ligas de alumínio. Estas podem assumir estruturas atípicas com mais facilidade que outros materiais. O interesse no meio acadêmico e no meio industrial sobre metais celulares ou porosos visa analisar as propriedades destes, já que possuem grande capacidade em reunir propriedades físicas e mecânicas, sendo superior aos metais maciços em algumas aplicações.

As propriedades que mais se destacam são: redução do peso específico, elevada rigidez, grande capacidade de absorção de energia em deformação por compressão, atenuação de vibrações, além da capacidade de isolamento térmico e acústico, entre outras. A redução do peso específico está relacionada diretamente a reduzida densidade do material, que pode alcançar a ordem de 30% a 50% em relação ao material maciço. Porém são encontradas dificuldades na produção destes metais, como a caracterização mecânica, relacionada à complexidade de processo e restrição de geometria.

### 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

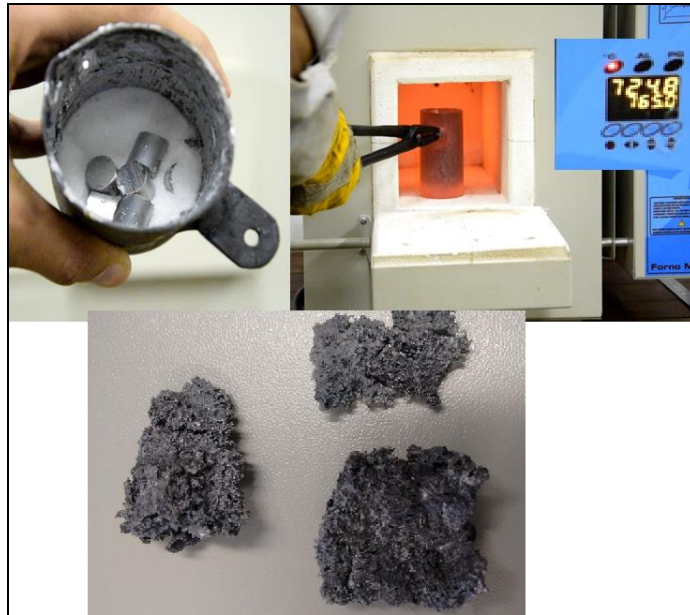
Após definir os equipamentos que foram utilizados para a análise experimental, foi consequentemente adotado os perfis onde nesses irão ser utilizados.

Com o perfil definido, foram confeccionados corpos de prova que então submetidos a ensaios de tração, compressão, cisalhamento, fadiga e de impacto, após coletados os dados, foi feita uma comparação de cada perfil com os perfis de estruturas sólidas, com os dados obtidos de cada experimento, afim de caracterizar e classificar cada tipo de estrutura.

Das confecções dos corpos de provas foram adotados métodos distintos de fabricação, muitos não obtiveram sucesso, porém um método muito prático foi adotado que tornou possível prosseguir com a fase experimental.

O processo de fundição, adotado para a fabricação do alumínio poroso, foi utilizado alumínio e NaCl em quantidades controladas. A proporção utilizada foi de 2/3 de liga de alumínio A6351 para 1/3 de NaCl. Ambos aquecidos até 820 graus, temperatura na qual esses chegam ao estado líquido.

Preparado o molde com areia verde de fundição utilizando-se de tarugos como modelos, o alumino poroso em estado líquido após ser misturado foi despejado nos canais de alimentação preenchendo todo o espaço do molde. Assim foram fabricados diversos modelos de tarugo para usinagem dos diferentes tipos de corpo de prova.



**Figura 1. (Fonte: Autoria Própria) – Fabricação da Estrutura Celular**

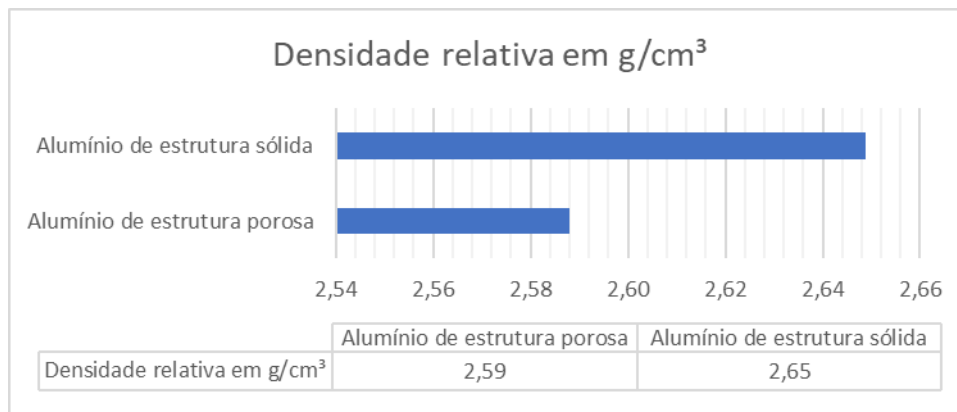
Na usinagem foram utilizados o torno CNC, torno mecânico, e a fresa de topo. Todos estes foram cedidos pela faculdade (Centro Universitário do Distrito Federal) juntamente com seus técnicos para tal procedimento pudesse ser realizado.

Foram produzidos 1 corpo de prova para ensaio de fadiga, 3 corpos de prova para ensaio de compressão, 3 corpos de prova para ensaio de cisalhamento, 3 corpos de prova para ensaio de tração, 1 corpo de prova para ensaio de dureza Rockwell, 1 corpo de prova para ensaio de transferência termia e impacto. Para cada corpo de prova produzido com alumino foi também produzido em mesma quantidade com alumino sólido de mesma liga.

## 2.1. Resultado dos Ensaios Experimentais.

Com esses resultados pode-se notar que o alumínio de estrutura porosa possui um comportamento mais frágil, e com menos resistência a tração em relação ao alumínio de estrutura sólida. Contudo seu comportamento quanto a compressão e dureza torna-se superior em relação de ter uma dureza Rockweel maior e uma deformação maior por menos carga fornecida na compressão, isso é um fator importante para absorção de impacto.

### 2.1.1. Ensaios de Densidade.

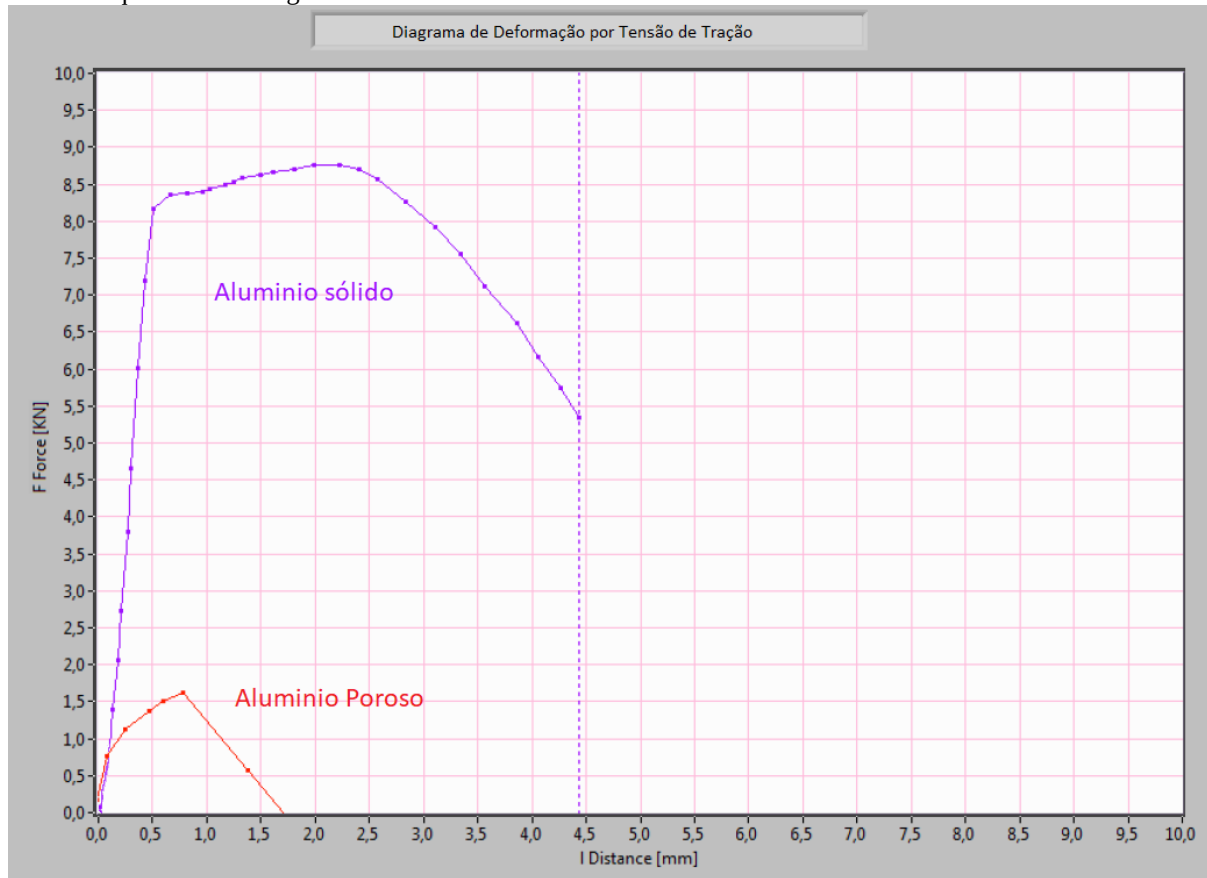


**Figura 2. Comparação entre os resultados do modelo de alumínio de estrutura porosa com os resultados do modelo de alumínio de estrutura sólida obtidos nos ensaios de densidade.**

Razão de Densidade entre a estrutura porosa e a sólida: 97.708988%

### 2.1.2. Ensaio de Deformação por Tração.

O corpo de prova adotado foi o ASTM E 8M. Com 3 ensaios de cada tipo de material pode-se calcular a média ponderada no qual obteve o seguinte resultado:



**Figura 3. Comparação entre os resultados do modelo de alumínio de estrutura porosa com os resultados do modelo de alumínio de estrutura sólida obtidos nos ensaios de deformação por tração.**

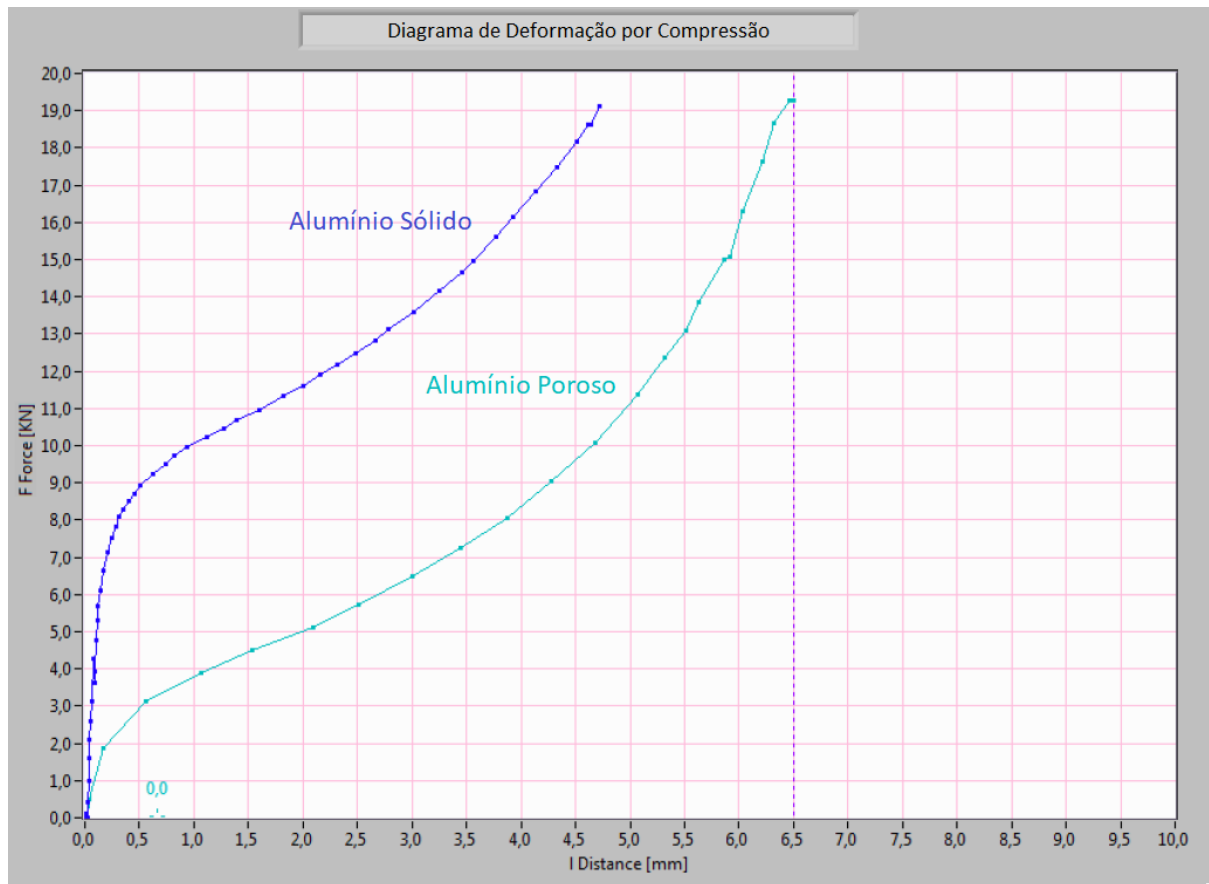
**Tabela 1. Resultados experimentais para as propriedades de deformação dos materiais por tração. Valores médios obtidos em 3 ensaios.**

| Tipo de Estrutura            | Tensão Máxima | Deformação máxima | Tensão de Ruptura |
|------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Alumínio de estrutura sólida | 8.7857 kN     | 14.89%            | 5.6083 kN         |
| Alumínio de estrutura porosa | 1.68367 kN    | 2.7807%           | 1.4190 kN         |

Deformação sob a mesma carga no alumínio Sólido (% aproximada): 0.3475%

### 2.1.3. Ensaio de Deformação por Compressão.

O corpo de prova adotado foi de geometria cilíndrica com 6mm de diâmetro e 10mm de altura. Com 3 ensaios de cada tipo de material pode-se calcular a média ponderada no qual obteve o seguinte resultado:



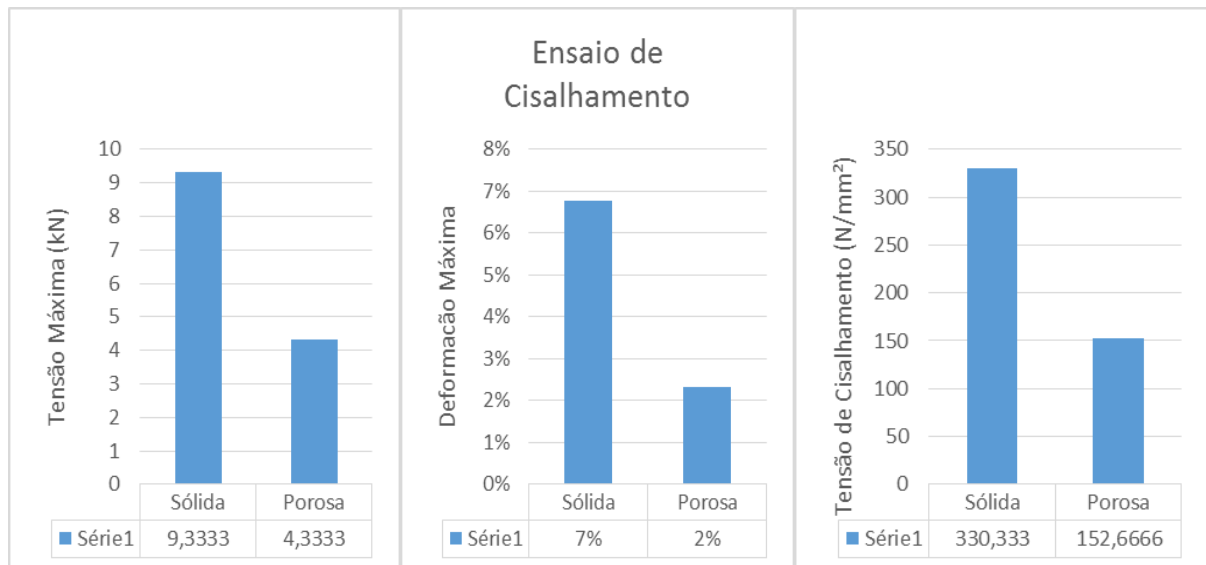
**Figura 4. Comparação entre os resultados do modelo de alumínio de estrutura porosa com os resultados do modelo de alumínio de estrutura sólida obtidos nos ensaios de deformação por compressão.**

**Tabela 2. Resultados experimentais para as propriedades de deformação dos materiais por compressão. Valores médios obtidos em 3 ensaios.**

| Tipo de Estrutura            | Tensão Máxima | Deformação máxima |
|------------------------------|---------------|-------------------|
| Alumínio de estrutura sólida | 19.07617 kN   | 45.479%           |
| Alumínio de estrutura porosa | 19.21067 kN   | 64.030%           |

#### 2.1.4. Ensaio de Deformação por Cisalhamento.

O corpo de prova adotado foi de geometria cilíndrica com 6mm de diâmetro e 25mm de altura. Com 3 ensaios de cada tipo de material pode-se calcular a média ponderada no qual obteve o seguinte resultado:



**Figura 5. Comparação entre os resultados do modelo de alumínio de estrutura porosa com os resultados do modelo de alumínio de estrutura sólida obtidos nos ensaios de deformação por cisalhamento.**

**Tabela 3. Resultados experimentais para as propriedades de deformação dos materiais por cisalhamento. Valores médios obtidos em 3 ensaios.**

| Tipo de Estrutura            | Tensão Máxima | Deformação máxima | Tensão de Cisalhamento    |
|------------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|
| Alumínio de estrutura sólida | 9.333 kN      | 6.76229%          | 330.333 N/mm <sup>2</sup> |
| Alumínio de estrutura porosa | 4.333 kN      | 2.33333%          | 152.666 N/mm <sup>2</sup> |

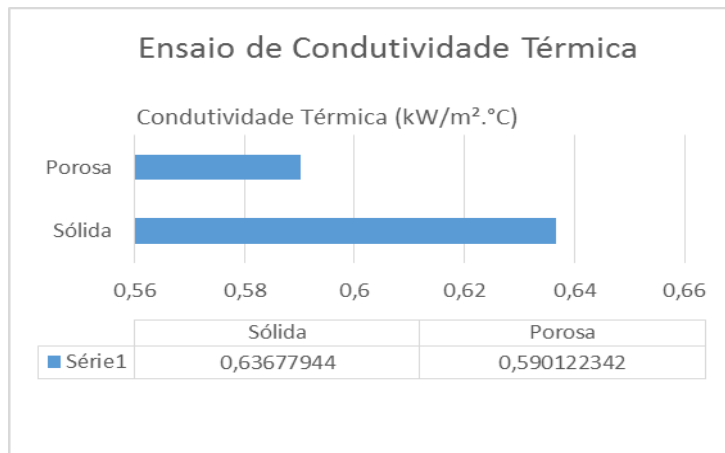
#### 2.1.5. Ensaio de Condutividade térmica.



**Figura 6. (Fonte: PASCO – MODELO: TD-8561) – Aparelho de condutividade térmica.**

O corpo de prova adotado foi de geometria de paralelepípedo de dimensões 76.75x65x7.5mm (estrutura sólida) 77.3x65.1x8mm (estrutura porosa). Com 3 ensaios de cada tipo de material pode-se calcular a média ponderada.

Ensaio realizado na temperatura ambiente de 19°C, contendo uma máquina de vapor d'água, na qual atingia a temperatura de 96,5°C (devido a altitude de 1000m acima do nível do mar onde foi realizada o experimento) e era transportada por dutos até uma plataforma de ensaios de transferência de calor, o ambiente por onde o vapor circula é isolado por uma camada de vidro de condutividade térmica: 2.5277395kW/m<sup>2</sup>.°C (calculada anteriormente aos ensaios), Acima desta camada de vidro é posicionada o corpo de prova do material a ser estudado, acima deste é colocado gelo a uma temperatura próxima de 0°C em formato cilíndrico com diâmetro próximo a 78mm. Com o gradiente de temperatura entre as superfícies do corpo de prova durante um determinado tempo pode ser aferir a massa de gelo que se derrete com a transferência de calor. Com isso foi possível obter os seguintes resultados:

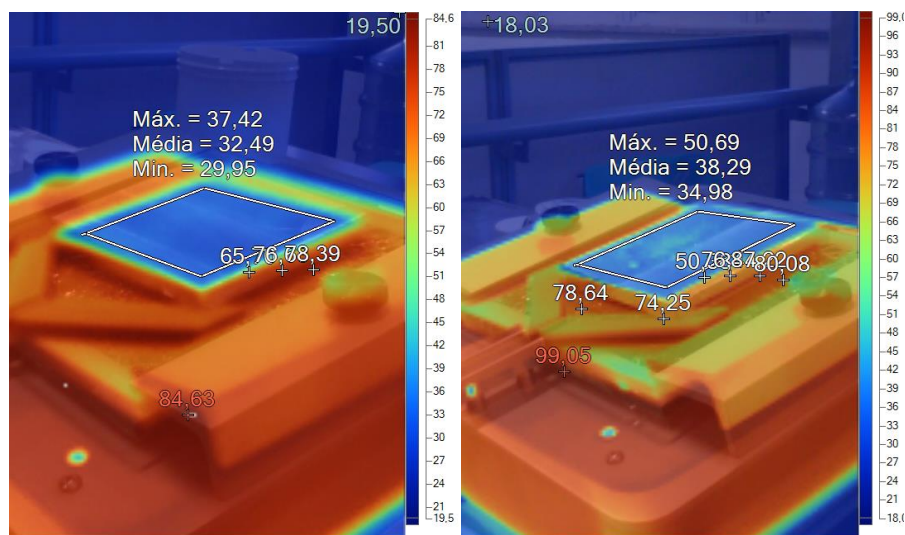


**Figura 6. Comparação entre os resultados do modelo de alumínio de estrutura porosa com os resultados do modelo de alumínio de estrutura sólida obtidos nos ensaios de condutividade térmica.**

**Tabela 3. Resultados experimentais para as propriedades de deformação dos materiais por cisalhamento. Valores médios obtidos em 3 ensaios.**

| Tipo de Estrutura                                                     | Alumínio de estrutura sólida | Alumínio de estrutura porosa |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Temperatura da fonte quente na superfície de contato                  | 81.95°C                      | 82.6°C                       |
| Temperatura da fonte fria na superfície de contato                    | -1.05°C                      | -0.4°C                       |
| Gradiente de temperatura                                              | 83°C                         | 83°C                         |
| Diâmetro da base do gelo em formato cilíndrico                        | 76.4mm                       | 78.8mm                       |
| Área da base do gelo na qual não está em contato com o corpo de prova | 3cm²                         | 3cm²                         |
| Área de contato da superfície em contato com a fonte fria             | 21.0017678734e-4m²           | 21.75575e-4m²                |
| Massa inicial do gelo                                                 | 221.5g                       | 330g                         |
| Massa final do gelo                                                   | 121.5g                       | 234g                         |
| Duração do ensaio                                                     | 300s                         | 300s                         |
| Calor latente de fusão da água                                        | 333 J/g                      | 333 J/g                      |
| Condutividade térmica                                                 | 0.636779439545 kW/m².°C      | 0.590122342451 kW/m².°C      |

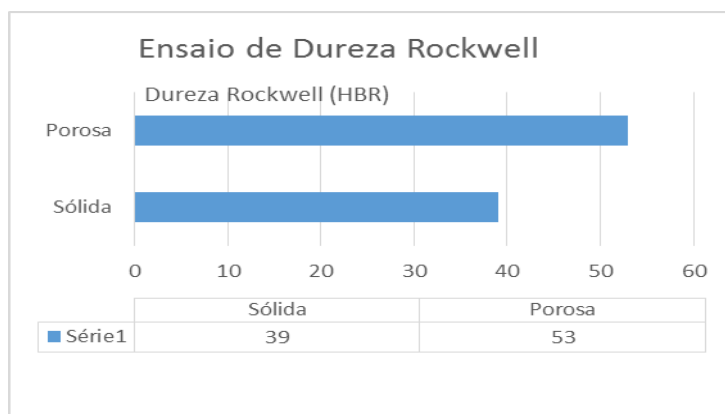
Com este ensaio de condutividade térmica pode-se notar que a estrutura porosa conduz menos calor que a estrutura sólida, cerca de 7.327% a menos. Assim pode ter uma vantagem na função de isolante térmico. Se levar em consideração que a condutividade térmica está relacionada diretamente proporcional à densidade do material quanto menos denso melhor isolante térmico ele será. A razão da densidade entre o material aqui ensaiado foi calculada em 97.708988%.



**Figura 7. (Fonte: Autoria Própria) - Ensaio de Condutividade Térmica da Estrutura Porosa.**

#### 2.1.6. Ensaio de Dureza Rockwell.

O corpo de prova adotado foi de geometria de paralelepípedo de dimensões 76.75x65x7.5mm (estrutura sólida) 77.3x65.1x8mm (estrutura porosa). Com 2 ensaios do mesmo tipo de material do corpo de prova e, com endentador de esfera de aço 1/16" e uma carga maior de 50 kgf, pode-se calcular a média ponderada no qual obteve o seguinte resultado:



**Figura 8. Comparação entre os resultados do modelo de alumínio de estrutura porosa com os resultados do modelo de alumínio de estrutura sólida obtidos nos ensaios de Dureza Rockwell.**

## 2.2. Conclusão

Esse processo de confecção oferece uma forma versátil e econômica para a produção de espumas. Os resultados se mostraram otimistas para aplicação dessas estruturas para o meio industrial, onde a mesma obtém um ótimo resultado como isolante térmico (galerias fechadas), ótimo condutor térmico (galerias abertas) e também para absorção de impactos com bastante semelhanças a estruturas do tipo colmeia. Todos os objetivos deste projeto foram alcançados e os resultados dos ensaios comparados com as literaturas de referências. O projeto foi escolhido por ser inovador no mercado mundial, que fomentará novas descobertas nos procedimentos de fundição e nas áreas onde poderão ser utilizadas.

Todos os objetivos deste projeto foram alcançados e os resultados dos ensaios comparados com as literaturas de referências. O projeto foi escolhido por ser inovador no mercado mundial, que fomentará novas descobertas nos procedimentos de fundição e nas áreas onde poderão ser utilizadas.

## 3. REFERÊNCIAS

- [1] ASHBY, M. F.; et alii.. Metal Foams: A Design Guide. Boston: Butterworth-Heinemann, 2000. 250p



- [2] BANHART, J. Metal Foams—from Fundamental Research to Applications. Department of Materials Science, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, 2000.
- [3] BANHART, J. Aluminium Foams For Lighter Int. J. Vehicle Design, Vol. 37, Nos. 2/3, 2005.
- [4] FONSECA, A. J. Fabricação, por tixotrupção, de materiais de baixa densidade a partir da liga AA7075 e caracterização de suas propriedades físicas e mecânicas. Dissertação (doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.
- [5] KAMMER, C.: Aluminium foam Merkblatt W17, Aluminium-Zentrale Düsseldorf, Alemanha. 1999.
- [6] MELO, S. S. A. Análise comparativa de dois processos de produção de matéria-prima para tixotrupção: agitação mecânica e fusão parcial controlada, Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2000.
- [7] MOTZ, C.; PIPPAN, R.; KRISZT, B. Mechanical Properties and Determination Characterization of Cellular Metals In: DEGISCHER, H.P.; KRISZT, B. Handbook of Cellular Metals – Production, Processing, Applications. Weinheim: Wiley-VCH, 2002. p.183-202.
- [8] SCHWARTZ, D. S. et.al. Porous and cellular materials for structural applications. MRS Proceedings Vol. 521, Warrendale, PA. 1998, p. 53/178.
- [9] SILVA, B. M. A. Influência da microestrutura inicial e material de molde na tixotrupção da liga A356. 2004. 147f. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. p.186. Dissertação (Mestrado)
- [10] SILVA, R. R. Produção de Esponjas Metálicas por Tixotrupção em Pré-Formas Removíveis e sua Caracterização Mecânico-Metalúrgica. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008, 124p. Dissertação (Mestrado)

#### 4. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Todos autores participaram suficientemente do trabalho para tornar pública sua responsabilidade pelo conteúdo.  
“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A CELLULAR METALLIC STRUCTURE.

Felipe José Lucchesi Rocha, [lucchesi.universitario@gmail.com](mailto:lucchesi.universitario@gmail.com)<sup>1</sup>

Tiago de Melo, [tiago.melomec@gmail.com](mailto:tiago.melomec@gmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitário do Distrito Federal - UDF, SEP/SUL EQ704 / 904 Conj.A, Brasília / DF, CEP 70390-045.

**Abstract.** Foam structures of metal alloys are rarely applied in the industrial environment because it is a recent technology and little explored. This work aims at making these structures and conducting a study on their mechanical properties. For this purpose, solid and porous structure tests were done in order to compare results obtained in tensile, compression, shear, fatigue, impact and thermal conductivity tests. In addition to investigating the influence of process walls on the structural characteristics, such as dimensions of the open or closed, metallurgical and physical galleries of such porous structures. And finally, to evaluate the results obtained with the literature. The material used is composed of a metal alloy of aluminum and NaCl, agent responsible for creating the pores of the structure. The results show a structural behavior of the porous aluminum in relation to the solid, more brittle and less resistant to traction and compression, superior Rockwell hardness and a 20% greater deformation by the same load provided in the compression, this is an important factor for absorption of impact. Results of the thermal conductivity test (keff) were also obtained as a function of the volumetric fraction of each type of structure, where it can be noticed that the porous structure conducts less heat than the solid structure, about 7.327% less. This manufacturing process offers a versatile and economical way to produce foams. The project was chosen because it is innovative in the world market, which will foster new discoveries in foundry procedures and in the areas where they can be used. (

**Keywords:** Porous Aluminum; Cell Structure; Porous Structure; Foam aluminum; other types of aluminum structure.