



International Conference for
Academia and Industry Co-operation

20/11/2023 – 24/11/2023

São Luis - Maranhão - Brasil



International Meeting in Materials
Science and Engineering of Maranhão

UMA ANÁLISE DA INTERAÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO COM MATRIZ METÁLICA DO SISTEMA ALCU POR PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA E DE FUNDIÇÃO

AN ANALYSIS OF THE INTERACTION OF CARBON NANOTUBES WITH THE METALLIC MATRIX OF THE ALCU SYSTEM BY MECHANICAL CONFORMATION AND CASTING PROCESSES

Vitória A. Castro^{1*}, Lourival A. de S. Neto ¹, Luiz G. da S. Nascimento² e Sandra M. S.
de O. Araújo².

1 - Graduandos em Engenharia de Materiais; Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará
(IFPA).

2 – Docentes de Engenharia de Materiais no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Pará (IFPA).

Contato: viac.castro@gmail.com

RESUMO

Nas últimas décadas, estudos a base de nanomateriais tem sido realizados com o intuito de se obter materiais avançados, com boas propriedades e bons desempenhos. Dessa forma, a utilização de Nanotubos de Carbono (NTC) tem sido manipulado como forma de reforço em diversos materiais, buscando propriedades de excelentes aplicabilidade para a indústria. Este trabalho através do processo de laminação e de fundição, fabricou dois nanocompósitos de matrizes metálicas à base de alumínio. No processo de laminação o nanotubo foi inserido por compressão sistematicamente, mas, no processo de fundição usou-se um fluído para que o nanotubo não oxidasse durante a realização das atividades. Durante a caracterização morfológica, utilizou-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para a aquisição das imagens. Sendo assim, em ambos os processos, constatou-se que o NTC aumenta a resistência mecânica, no entanto, observa-se que no processo por fundição aparecem muitos defeitos devido a aglomeração dos nanotubos em regiões específicas, as quais reduzem a propriedade almejada do material. Entretanto, no processo de laminação, a tensão mecânica imposta nos nanotubos é o suficiente para que estes sejam alocados na matriz. Sendo assim, este processo é interessante porque com os avanços das pesquisas realizadas atualmente, mostram que é possível aplicar nanotubos nas superfícies de materiais, onde melhores propriedades mecânicas são desejadas.

Palavras-chave: Nanotubos de Carbono, Propriedades Mecânicas, Processo de conformação, Fundição.

ABSTRACT

In recent decades, studies based on nanomaterials are being conducted in order to obtain advanced materials, with better properties and performances. In this way, the use of Carbon Nanotubes (CNT) has been manipulated as a form of reinforcement in various materials,

seeking for properties of excellent applicability for industry. This work through the rolling and conformation process, manufactured two nanocomposites of metallic matrices based on aluminum. In the lamination process, the nanotube was inserted by compression systematically, but in the casting process a fluid was used so that the nanotube didn't oxidize during the activities. During morphological characterization, the Scanning Electron Microscopy (SEM) was used for image acquisition. Therefore, in both processes, it was found that the CNT increases the mechanical strength, but it is observed that in the casting process appear many defects due to agglomeration of nanotubes in specific regions, which reduce the property desired. However, in the rolling process, the mechanical stress imposed on the nanotubes is enough for these to be allocated in the matrix. Therefore, this process is interesting because with the advances of research carried out nowadays, show that it is possible to apply nanotubes on the surfaces of materials, where better mechanical properties are desired.

Keywords: Carbon of Nanotubes, Mechanical Properties, Forming Processes, Casting.

INTRODUÇÃO

Na atualidade, os nanomateriais são interligados aos avanços tecnológicos, principalmente nas grandes áreas de engenharia. Logo, muitas pesquisas relacionadas aos mais diversos tipos de NTCs (Nanotubos de Carbono) estão sendo aprimoradas nas indústrias poliméricas, cerâmicas e metálicas. Dessa forma, a criação de compósitos de matrizes metálicas reforçados por NTCs aprimora as propriedades almejadas já existentes em alguns materiais de engenharia.

O desenvolvimento de nanocompósitos para aplicações tecnológicas avançadas, no entanto, requer a capacidade de adaptar as propriedades. Os nanomateriais apresentam uma grande área superficial, resultando em um volume maior de interface no nanocompósito quando comparado aos compósitos tradicionais, pois a interface de um compósito é que controla o grau de interação entre os componentes e também controla as propriedades finais do material [1].

O poder de combinar-se com a maioria dos metais de engenharia, torna as ligas de alumínio tão atraente para a indústria. É possível obter características tecnológicas ajustadas de acordo com a aplicação do produto final. Em virtude disso, as ligas de fundição de alumínio, frequentemente contém cobre para proporcionar as propriedades mecânicas maiores durezas e resistências exigidas serviço, mas também possuem alta ductibilidade e boa usinabilidade [2].

A elevada resistência mecânica demonstrada por NTCs é um dos seus principais atrativos. Sua adição em compósitos sugere um grande acréscimo em duas características como o módulo de elasticidade, resistência à tração ou à fratura da matriz e no aumento da condutividade elétrica da matriz [3].

A adição dos elementos de liga aumenta a resistência da liga de alumínio através do endurecimento por precipitação ou por solução sólida. Os elementos de liga criam barreiras na matriz do alumínio que dificultam o movimento das deslocções, tornando mais difícil a deformação plástica do metal, consequentemente o aumento da dureza e resistência [4].

Na atualidade, além das ligas metálicas, outros materiais que vem sendo muito estudado, compósitos de matriz metálica, inclusive com matriz de alumínio com que apresentam excelentes resistência mecânica e condutibilidade elétrica [5]; [6] e [7].

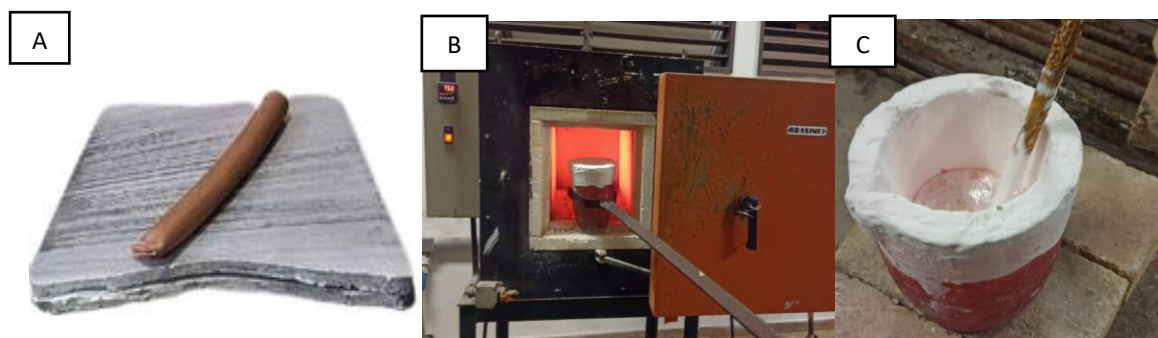
Portanto, este tem trabalho possui como objeto de estudar as estruturas de compósitos nano estruturados, fabricados por processos de fundição e de conformação mecânica.

MATERIAIS E MÉTODOS

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO POR FUNDIÇÃO

Para a confecção da liga foram utilizadas 475g de Alumínio e 25g de Cobre (figura 1A). Posteriormente, foram colocadas no forno tipo Mufla, o alumínio e cobre na concentração de 4,5% aproximadamente (figura 1B). A matriz foi solidificada a uma temperatura de 800°C, onde retirou-se o recipiente do forno e em seguida manualmente com o auxílio de uma haste metálica revestida por gesso, houve a homogeneização da liga (figura 1C) juntamente com a mistura dos NTCs que estavam protegidos por um fluido para que suas propriedades fossem mantidas a elevada temperatura, impedindo a oxidação. Em seguida, o material foi resfriado em temperatura ambiente para que fosse realizados os procedimentos posteriores, como o embutimento da amostra do nanomaterial para o processo de caracterização metalográfica.

Fig. 1 – Peças Cortadas de Alumínio e Cobre (A), Fundição da Liga no Forno Mufla (B) e Homogeneização Manual no Cadinho (C).

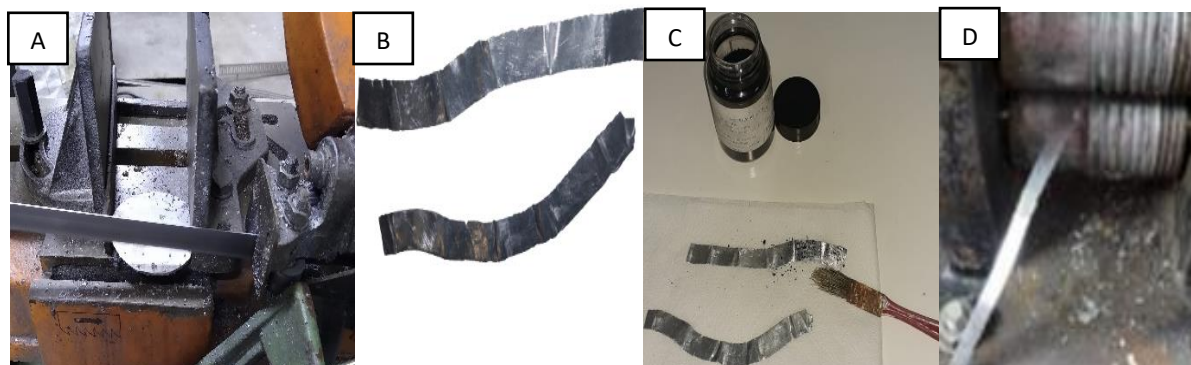


Fonte: Autores, 2023.

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA POR LAMINAÇÃO

Após a solidificação da liga metálica, com composição já mencionada anteriormente no parágrafo acima, foram feitos cortes da matriz metálica por meio da Máquina Serra Fita (figura 2A), a seguir foram separados para análise de Fluorescência de Raio X (FRX) e uma parte para uma laminadora, onde se obteve a fabricação de folhas finas (figura 2B) para que fosse aplicado o NTC nas folhas com um auxílio de um pincel, pois assim os NTCs ficariam alocados na matriz após a aplicação de tensão mecânica por processos seguidos na laminadora (figura 2D).

Fig. 2 – Cortes na matriz na Máquina Serra Fita (A), Folhas finas obtidas pela laminação (B), Aplicação dos NTCs na superfície da folha laminada (C) e Laminação contínua para alocação dos nanotubos nas folhas laminadas (D).



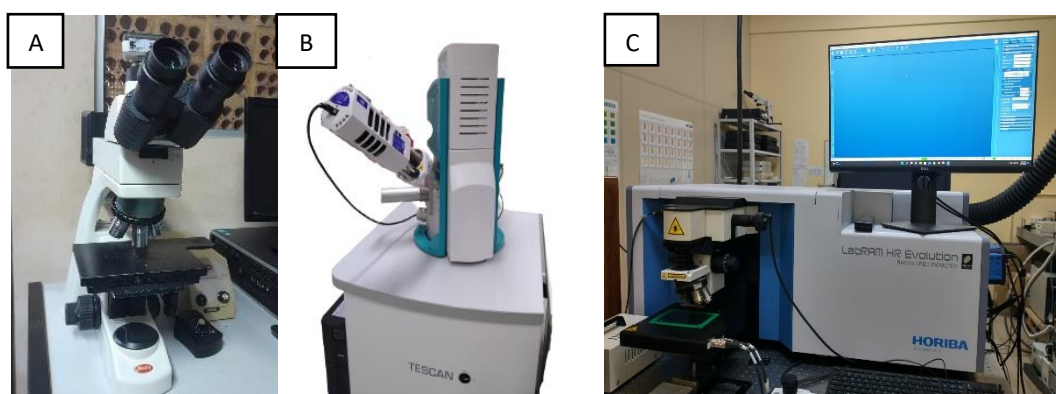
Fonte: Autores, 2023.

CARACTERIZAÇÃO DOS NANOCOMPÓSITOS

Realizados a fabricação dos nanoestruturados, com os corpos de prova prontos, um laminado, e já outro fundido, foram preparados para análises de Microscópio Óptico OMAX modelo M82ESSC100-LP100 figura (3A), Microscópio Eletrônico de Varredura figura (3B) e Análise Espectroscopia Raman, utilizando o espectrômetro Jobin Y T64000 figura (3C).

Outrossim, o processo de caracterização consistiu-se em embutimento, lixamento com lixas de 80 a 1200 mesh, polimento e ataque químico para a revelação das microestruturas do nanonocompósitos.

Fig. 3 – Microscópio Óptico (A), MEV- Microscópio Eletrônico de Varredura (B) e Espectrômetro Raman (C).



Fonte: Autores, 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fluorescência de Raios X é uma análise não destrutiva, semiquantitativa, que tem como resultado os dados com os teores de aproximadamente uma liga matriz de Al-5%Cu.

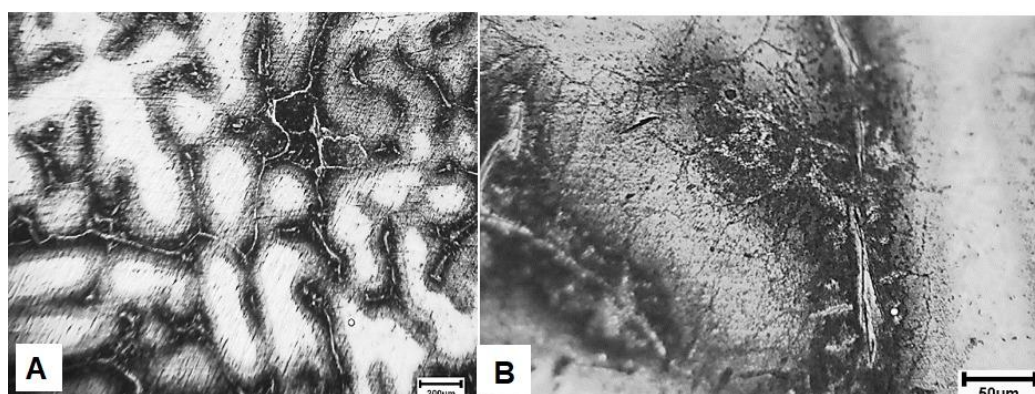
Fig. 4 – Resultado Obtido pela Fluorescência de Raio – X.

Informação		ANÁLISE ELEMENTAR	
ID Amostra:	GABRIEL MATRIZ	Al	94,84 %
Aplicação:	EQUA Metals	S	0,1494 %
Data / Hora	22/06/22 19:16:16	Fe	0,1751 %
Operador	IFPA BELEM	Cu	4,832 %
Warning: R = 22.87 (> 10.00)			

Fonte: Autores, 2023.

A matriz metálica hipoeutética Al-4,5%Cu é um material que apresenta para essa concentração fases endurecedoras de Al_2Cu . A figura (4A) de microscopia óptica, mostra fases localizadas em volta dos contornos de grãos, que são os contornos em formatos dendríticos. Quando material é laminado essas fases são quebradas pelo processo mecânico, com a recristalização pode-se ter um material com grãos menores e melhor propriedade figura (4B).

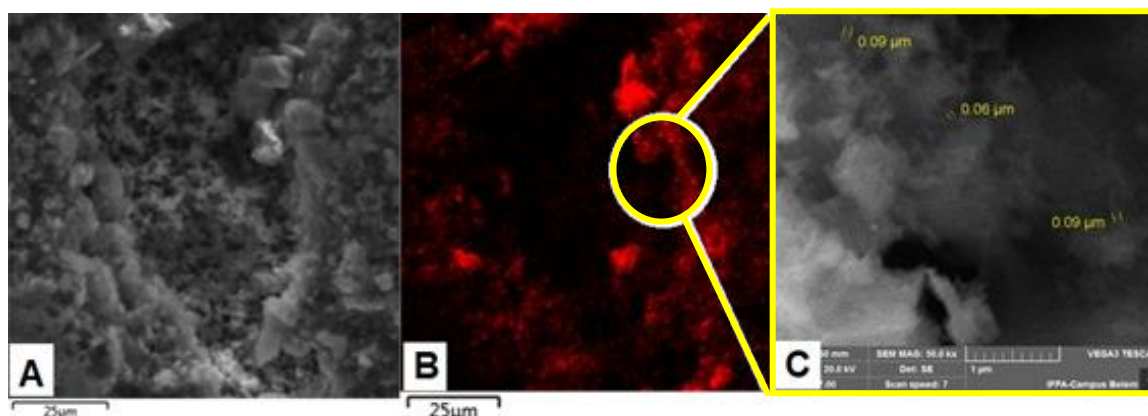
Fig. 4 – Micrografia da fase dendrítica (A) e matriz metálica hipoeutética após laminação (B).



Fonte: Autores, 2023.

No processo de fundição, todos os nanotubos não parecem molhados durante a agitação mecânica. Nota-se que os mesmos não espalham facilmente na matriz, observa-se que a mistura da matriz vai se dar de melhor forma, quando o alumínio se encontra na zona pastosa. Nessa fase os nanotubos conseguem deixar de flutuar no metal líquido. No entanto, o processo pode ser danoso para os nanotubos, visto que com a existência da oxidação presente através do oxigênio pode afetar as propriedades estimadas. Assim, o material perde parede se não houver um ambiente propício para homogeneização. A Análise de microscopia demanda bastante tempo quando se almeja encontrar nanotubos na matriz, entretanto, durante o processo de fundição, os nanotubos se aglomeram em algumas regiões defeituosas causadas pelos mesmos que se encontram aglomerados como mostra a figura 2. A figura (2A) identifica um pequeno vazio após o processo de fundição. Quando feita a análise por Espectroscopia Dispersiva verifica-se que os contornos do defeito são preenchidos por camadas de carbono, os quais foram medidos os diâmetros dos nanotubos usados no processo de fundição figura (2C) que coincidem com os diâmetros dos nanotubos encontrados dentro dos defeitos. Isso indica que esse processo pode gerar uma matriz com nanotubos acomodados sem sofrer danos estruturais.

Fig. 5 – Micrografia de Regiões Defeituosas na Matriz metálica após a Fundição (A), Análise de EDS acoplada ao MEV contornados por Carbonos (B) e Contornos das fases de grãos acoplado de NTCS (C).

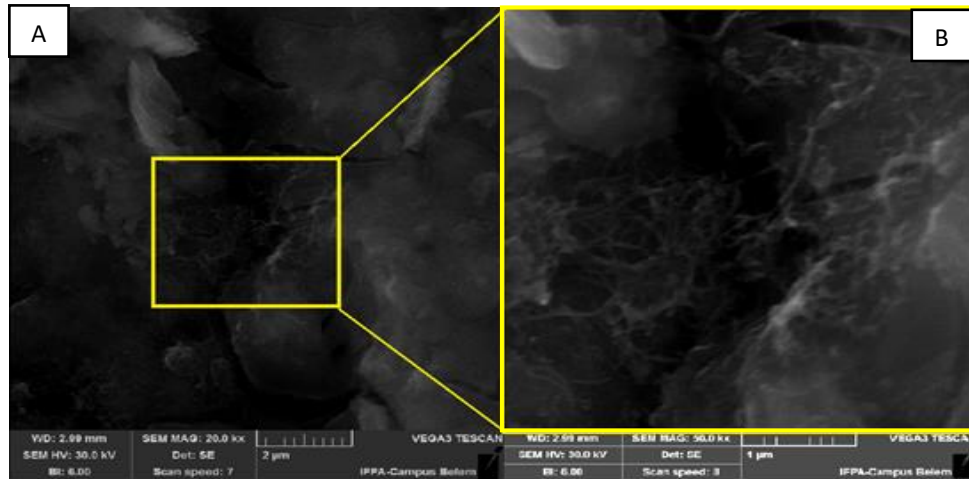


Fonte: Autores, 2023.

Através das micrografias obtidas por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), pode-se observar o agrupamento de NTCs na matriz metálica Al-5%Cu, após o processo de

laminação, ou seja, os NTCs estão influenciando as estruturas da matriz ao entrarem em contato direto conforme as imagens apresentadas a seguir.

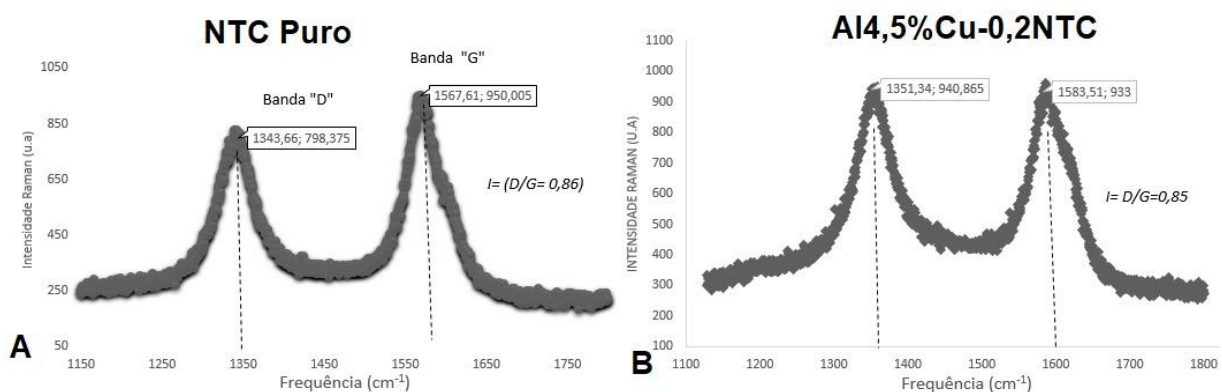
Fig. 6 –Micrografias das regiões de feixes e aglomerados dos Nanotubos de Carbono interagindo com a Matriz Al5%Cu do Nanocompósito.



Fonte: Autores, 2023.

A Análise Raman para nanotubos puros, figura (7A), mostra que a banda de defeito D é menor do que a banda de qualidade G. Isso ocorre devido a relação da intensidade ser menor que um (1), indicando que os nanotubos possuem um certo grau de pureza. Na figura (7B) pode-se perceber que essa relação é aproximadamente igual a um (1), para uma matriz com nanotubos fundida. Esse comportamento apresentado pelos nanotubos dentro da matriz, é esperado tanto para nanotubos de matriz fundida quanto para nanotubos em matrizes que sofreram esforço mecânico de laminação. Nesse viés, os nanotubos encontram-se na matriz sobre forte tensão mecânica tanto pelo processo de solidificação ocorrido no material, onde esse contração, como pela força sofrida durante o processo mecânico. Isso combina em um grau de desordem da estrutura do nanotubo tendo como resposta, o deslocamento das bandas D e G, bem como um aumento na banda de defeito D, Ademais, revelam que a tensão exercida sobre os NTCs pode aumentar o pico da banda de defeito, no entanto, isso não indica que os nanotubos percam as paredes, e sim, que é uma tensão imposta sobre ele que também vai deslocar a sua frequência.

Fig. 7 – Dados Raman obtidos com o NTC puro (A) e Raman Al-4,5 Fundido e Laminado (B).



Fonte: Autores, 2023.

CONCLUSÕES

Trabalhar com nanotubos em matriz a base de alumínio, exige um processo adequado, pois a propriedade de um material depende da qualidade do processo. Dessa forma, quando os nanotubos são inseridos em matriz metálica por fundição podem ocorrer defeitos se a homogeneização não combinar em perfeito espalhamentos dos nanotubos. Além disso, podem se aglomerar, podendo diminuir a resistência do material. No entanto em regiões onde os NTCs estão mais espalhados. Ao analisar, os nanotubos na matriz por laminação, nota-se que há superfícies com os nanotubos, sendo agregados de forma mais homogênea, ideal para aumento de resistência e propriedade superficiais como a condutibilidade elétrica. Ademais, o gráfico raman mostra que as tensões exercidas sobre os NTCs, podem aumentar o pico da banda de defeito, no entanto isso não indica que o nanotubo percam paredes e suas propriedades. Portanto, as tensões sobre os nanotubos também deslocam a frequências Raman dos picos de cada banda.

AGRADECIMENTOS

Ao LEVAP - Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Altas Pressões da UFPA e a Diretoria de Pesquisa, Inovação Tecnológica do IFPA – DPI.

REFERÊNCIAS

- [1] ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. Fundamentos e Aplicações do Alumínio. Associação Brasileira do Alumínio, São Paulo, 2007.
- [2] ACAUAN, L. H. **Síntese de estruturas 3D de nanotubos de carbono verticalmente alinhados, dopados e não-dopados, decorados com nanopartículas de óxido de titânio, sua caracterização microestrutural e de propriedades fotocatalíticas e elétricas**. 2015. 179f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – Ppge3M, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2015.
- [3] ALVES, Gianni Ferreira et al. **Análise térmica diferencial para o desenvolvimento de uma nova liga al-cu para conformação no estado semi-sólido**.
- [4] HERBST, M. H.; MACEDO, M. I. F.; ROCCO, A. M. **Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar**, Química Nova, v. 27, n. 6, p. 986-992, 2004.
- [5] IIJIMA, S.; **Growth of carbon nanotubes**, Materials Science Engineering B., v.19,172-80, 1993.
- [6] MKWON H, LEPAROUX M. **Hot extruded carbon nanotube reinforced aluminum matrix composite materials**. Nanotechnology 2012; 23 (41): 415701 (10pp).
- [7] SCHADLER, L. **Interfaces de modelos**. Natureza Mater 6, 257-258 (2007). <https://doi.org/10.1038/nmat1873>.