



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

## **EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO T6 NA ESTRUTURA E PROPRIEDADE MECÂNICA DA LIGA BINÁRIA Al 4,5% Cu COM ADIÇÃO DE NTC**

### **EFFECT OF T6 HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTY OF BINARY ALLOY Al 4.5% Cu WITH ADDITION OF NTC**

**Mario V. M. da Silva<sup>1</sup>, Lourival A. de S. Neto<sup>1</sup>, Lorena G. O. da Gama<sup>1</sup> Vitória A.  
Castro<sup>1</sup> Diele de O. Santana<sup>2</sup>, Deibson Silva da Costa<sup>3</sup>, Luiz G. da S. Nascimento<sup>4</sup>**

*1 - Graduandos de Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do  
Para (IFPA), Belém, PA, Brasil.*

*2 - Graduanda de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Para (UFPA), Belém, PA,  
Brasil.*

*3 – Professor de engenharia de Materiais da Universidade Federal do Para (UFPA) Doutor em.  
Engenharia de Recursos Naturais da Amazonia, Universidade Federal do PA (UFPA). Belém, PA,  
Brasil.*

*4 – Professor de engenharia de Materiais Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do  
Para (IFPA) Doutor em. Engenharia de Recursos Naturais da Amazonia, Universidade Federal do  
PA (UFPA). Belém, PA, Brasil.*

Autor<sup>1</sup> : veniceusmachado@gmail.com

### **RESUMO**

O Alumínio é um material muito versátil por isso é chamado material de Engenharia, uma vez que podemos além de inserir em sua rede cristalina outros materiais formando ligas com excelentes propriedades, podemos torná-lo uma matriz com Adição de outros materiais gerando material composto. Nesse sentido foi adicionado a uma Matriz do sistema metálico AlCu Nanomateriais a base de carbono com o intuito de fornecer a essa Matriz boas propriedades mecânicas. Foi feito a fabricação através de fundição e tratamento térmico. Foi observado que os grãos encontrados na matriz e no material composto são menores do que os grãos após tratamento térmico. Muitos defeitos apareceram devido aglomerado de nanotubos que não se distribuíram na matriz, reduziu a propriedade mecânica do material. Após o tratamento térmico ambos os materiais tiveram as durezas aumentadas, no entanto a matriz aumentou mais em relação ao seu próprio valor do que o composto.

**Palavras-chave:** AlCu, Tratamento térmico T6, Propriedade, Estrutura, NTC.

### **ABSTRACT**

Aluminum is a very versatile material, which is why it is called an Engineering material, since we can, in addition to inserting other materials into its Crystalline network, forming alloys with excellent properties, we can make it a matrix with the addition of other materials,

*generating a composite material. In this sense, carbon-based Nanomaterials were added to a Matrix of the metallic system AlCu Nanomaterials with the aim of providing this Matrix with good mechanical properties. It was manufactured through casting and heat treatment. It was observed that the grains found in the matrix and composite material are smaller than the grains after heat treatment. Many defects appeared due to clusters of nanotubes that did not spread in the matrix, which should reduce the mechanical property of the material. After heat treatment, both materials had increased hardness, however the matrix increased more in relation to its own value than the composite.*

**Keywords:** AlCu, T6 heat treatment, Property, Structure, NTC.

## INTRODUÇÃO

Processamento, estrutura e propriedade são pilares da Engenharia de Materiais, a caracterização tornasse um meio muito importante para a revelação da estrutura e da propriedade, pois há uma relação direta entre esses dois conceitos. A caracterização de materiais exige técnica e conhecimento dos meios necessários que irão levar a se obter a estrutura analisada.

As ligas de alumínio são as mais requisitadas ligas não ferrosas para a produção de peças fundidas, devido o alumínio possuir excelentes propriedades físico-químicas, e por apresentar uma ampla variedade de utilização, o que o torna o metal não ferroso mais consumindo no mundo (1). Um dos aspectos que tornam as ligas de alumínio tão atraentes como materiais de construção mecânica é o fato de o alumínio possuir baixo peso específico e poder combinar-se com a maioria dos metais de engenharia, chamados de elementos de liga.

Com essas associações, é possível obter características tecnológicas ajustadas de acordo com a aplicação do produto final. Mas para isso, é preciso conhecer bem as vantagens e limitações de cada elemento para fazer a melhor seleção. O grande alcance das ligas oferece à indústria uma grande variedade de combinações de resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas, condutibilidade elétrica, usinabilidade, ductilidade, formabilidade, entre outros benefícios (2).

A caracterização vem ser uma ferramenta de importante uso para desvendar as propriedades e as aplicações dos materiais. Essas propriedades químicas e mecânicas dependem fundamentalmente dos elementos de formação da liga e suas respectivas proporções, da estrutura cristalina e dos tratamentos térmicos aos quais a liga metálica é submetida. Os constantes avanços nos estudos de materiais em escala manométrica têm sido responsáveis por grandes descobertas, em diferentes ramos da ciência e da tecnologia (3).

A pesquisa tem crescido de forma exponencial, para obter novos materiais que apresentem maior eficiência e desempenho em condições severas. Com a demanda de novos materiais, os nanotubos de carbono têm tido grande destaque devido sua versatilidade. Os NTC's são estruturas formadas por átomos de carbono, com simetria axial, de forma cilíndrica e uma conformação espiral designada por quiralidade (4).

Compostas exclusivamente por carbono, sua estrutura básica é formada por uma ou por múltiplas folhas de grafeno. São materiais de inúmeras aplicações científicas e tecnológicas, cujas propriedades variam em função de sua estrutura, diâmetro e seu comprimento, assim como de sua pureza e defeitos estruturais (5).

Sendo responsáveis por sua maior aplicação como reforço em compósitos. Tornando-se objeto de análise a influência da adição de NTC que os tamanhos de grãos médios têm ao adicioná-lo na liga de Al-4,5%Cu, pois uma das problemáticas na adição de NTC se dá pela dificuldade em se ter uma dispersão homogênea, devido sua escala nanométrica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Processos de fabricação e metalografia

Para a confecção da liga foram colocados no forno tipo mufla, alumínio e cobre na concentração de 4,5% (figura 1A) solubilizados a temperatura de 800°C onde se retirou o cadinho do forno e sua consecutiva homogeneização mecânica com uma haste metálica revertida com alumina para evitar a contaminação do material fundido (figura 1B). Afim de manter as propriedades dos nanotubos, foi utilizado um antioxidante, de nome soldarom, para protege-los da elevada temperatura, logo em seguida, envoltos em papel alumínio, foram adicionados a liga solubilizada e homogeneizados com a haste protegida (figura 1C).

O material foi resfriado lentamente, em seguida deu-se início ao corte e embutimento da amostra para o processo metalográfico. A metalografia equivale ao lixamento com lixas de 80 a 1200 Mesh, e ao polimento com alumina de 1µm posterior ataque químico com reagente keller. De forma análoga, duas amostras foram concebidas com as variações de NTC.

Figura 1: (A) Forno tipo mufla (B); homogeneização mecânica com uma haste metálica revertida com alumina (C); antioxidante soldarom



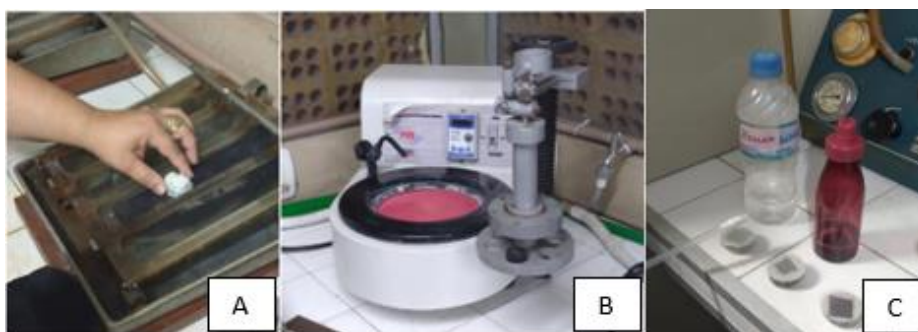
Fonte: Autores, 2023

### Lixamento e ataque químico

Todas as amostras foram submetidas por etapas de preparação para as micrografias. Tais procedimentos seguiram a NBR 15454 (6) que afirma as boas práticas das técnicas de preparo de amostra metalográficas, utilizando pelo menos 5 lixas, começando com uma de valor baixo, ou alta granulometria, e avançar para as de valores maiores, ou baixa granulometria. Na prática, houve a necessidade de embutir algumas peças, foi usada Resina Epoxy e um produto alternativo, Massa Plástica.

Para o lixamento, foram usadas as lixas 100, 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh respectivamente, e após foi feito o polimento com pano de polimento com alumina (Figura 2A e 2B). Foi usado Keller 2% para o ataque químico por 10 de imersão para revelar a microestrutura (Figura 2C)

Figura 2 – A) Lixamento dos Cp, B) Polimento dos Cp, C) Ataque químico com Keller 2%



Fonte: Autores, 2023

### Tratamento Térmico T6

O Tratamento térmico T6 se iniciou com o aquecimento dos 3 (três) fornos usados, o forno de tratamento térmico foi ligado horas antes, a temperatura programada foi de 530° C, as peças de AlCu NTC e a matriz foram aquecidas por 3 horas.

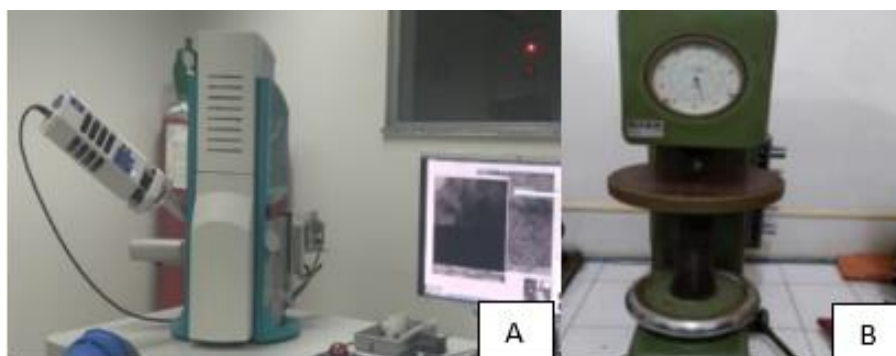
O passo seguinte foi aquecer em uma bacia metálica 2 Litros de água em temperatura ambiente na temperatura de 70° C, a temperatura foi medida por um termopar que se encontra acoplado no forno. Feito o aquecimento da água e saindo do forno de tratamento térmico por 3 horas as peças foram retiradas com auxílio de um alicate e inseridas imediatamente na água na temperatura de 70°C. Antes de ligar o forno de tratamento térmico foi ligado o mufla pela demora maior de alcançar a temperatura estipulada, tal que a temperatura programada para a terceira etapa foi de 155°C por 3 horas para o envelhecimento natural.

### Ensaio de dureza e análise microscópica (MEV)

Com as peças devidamente atacadas, todas as amostras passaram por visualização e registro da microestrutura usando Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo VEGA 3 SBU da TESCAN e sistemas de micro- análise – Eds, modelo AZTec Energy – X-Act, resolução 129eV, marca Oxford (figura 3A).

Na análise comparativa entre as ligas, apenas este passou por análise de dureza feito pela NBR 6671 (ABNT) e a norma internacional mais utilizada é a ASTM E18-94 (7), onde a mesma instrui 5 endentações para ser feito o resultado de desvio padrão (figura 3B).

Figura 3 – Microscópio eletrônico de varredura, B) Máquina de ensaio de dureza Brinell



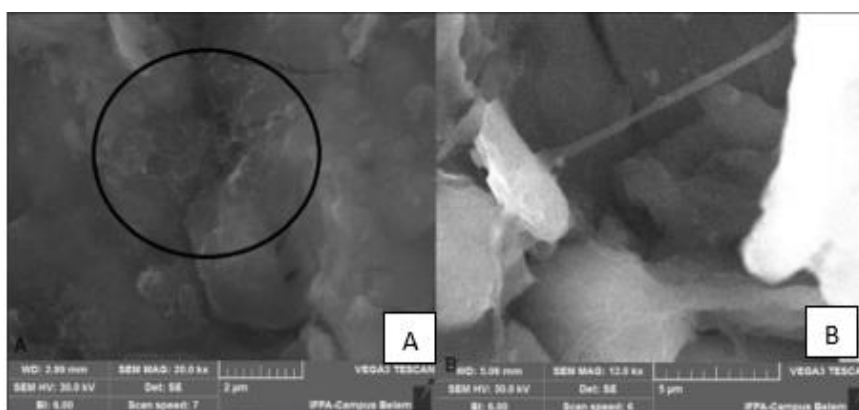
Fonte: Autores, 2023

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise microscópica (MEV)

A imagem da figura 4A mostra uma pequena porção de nanotubos encontrados na matriz e precipitados em sua volta, precipitados esses que homogeneizados na matriz aumentam a dureza ao material. A figura 4B, traz um tubo atravessando transversalmente a imagem. Percebe-se que ele está tensionado, esse tipo de comportamento mostra a sua ação em se encontrar em espaços vazios melhorando a Propriedade mecânica.

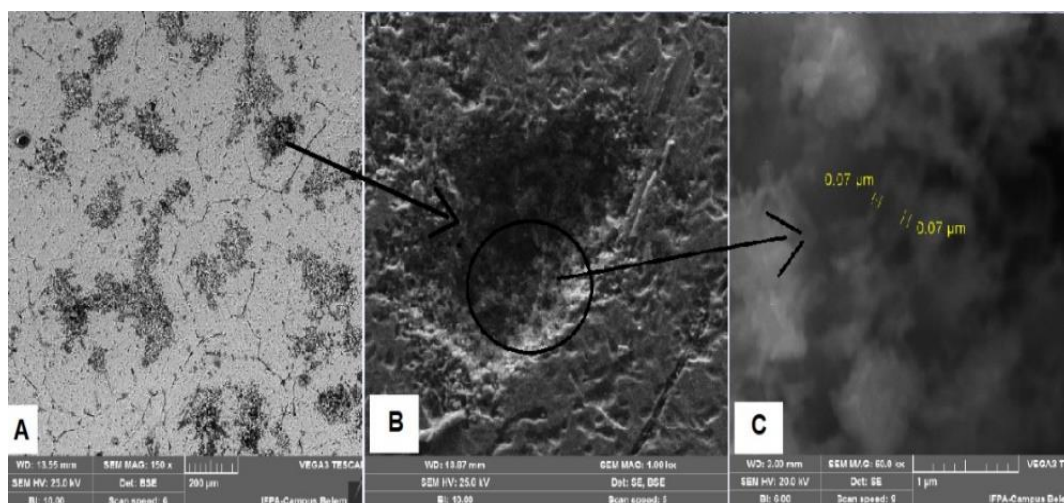
Figura 4 – A) Pequena porção de NTC encontrados na matriz e precipitados em sua volta, B) tubo atravessando transversalmente a imagem



Fonte: Autores, 2023

As figuras 5 A, B e C mostram a morfologia estrutural em termos de defeitos do material composto após o tratamento térmico. Tais defeitos não foram vistos antes na matriz. Como nos tubos foram usados fluxo para solda com intuito protegê-los, pode ser possível que essas regiões apresentam gases que foram gerados a partir do processo de fundição que então eclodiu durante o processo de tratamento térmico.

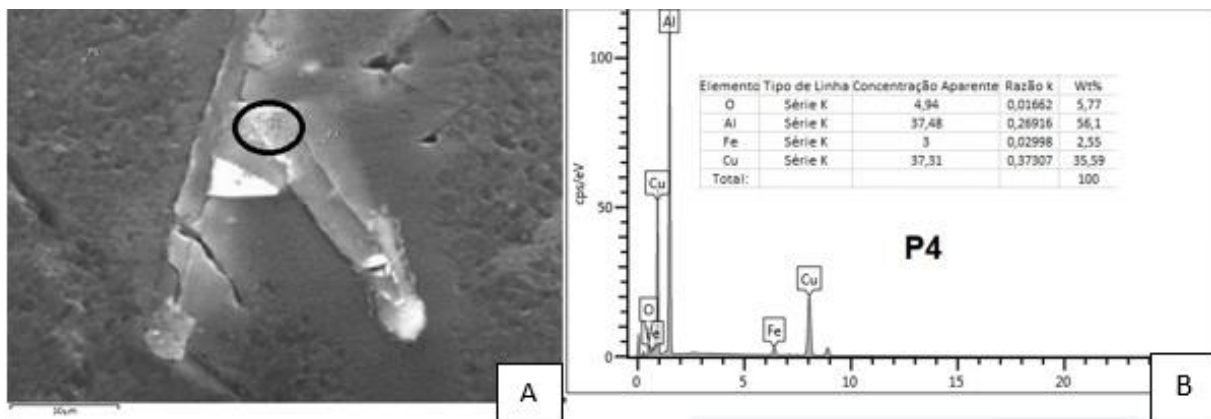
Figura 5 – A, B e C) Morfologia estrutural em termos de defeitos do material composto após o tratamento térmico.



Fonte: Autores, 2023

A figura 6 é uma análise qualitativa de uma região rica em cobre. A fase mostrada na figura é o intermetálico  $\text{Al}_3\text{Cu}$  que pode ser diluído na matriz por tratamento térmico e sua solubilização traz o aumento considerado da propriedade mecânica.

Figura 6 - Análise qualitativa de uma região rica em cobre mostrando a fase intermetálica  $\text{Al}_3\text{Cu}$

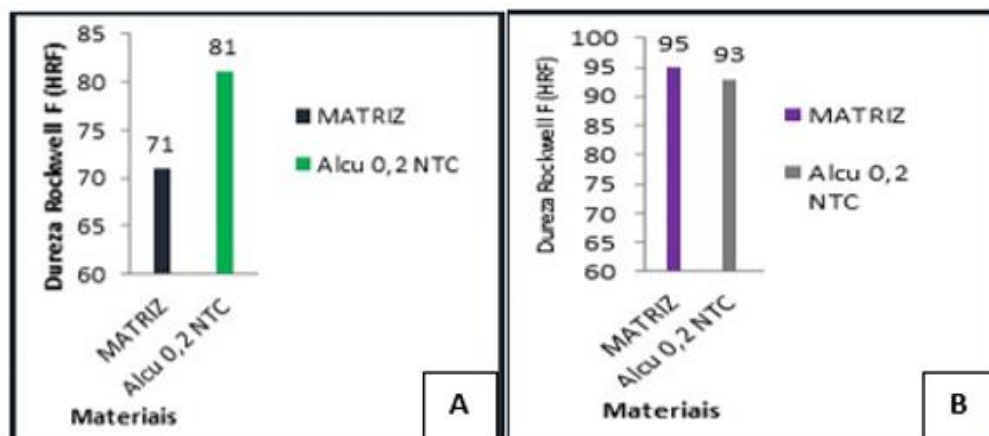


Fonte: Autores, 2023

### Ensaio de Dureza

Os gráficos a e b da figura 7 A e 7B mostram que a inserção de nanotubo aumenta a resistência da Matriz, isso acontece porque nanotubo é um forte refinador de grãos. Além disso ele funciona absorvendo as tensões impostas. Após o tratamento térmico houve uma elevação da dureza tanto da Matriz como do material compósito, devido ao reajo da estrutura e precipitação de fases de  $\text{Al}_3\text{Cu}$ . A matriz ela aumentou em relação ao seu valor, mas que o composto, isso está relacionado a grande quantidade de defeitos que apresentou este material após o tratamento térmico, defeitos oriundos da aglomeração de nano tubos e dos mesmos não se dispersaram adequadamente na matriz.

Figura 7– A) Dureza antes do tratamento térmico T6, B) Dureza antes do tratamento térmico



Fonte: Autores, 2023



## CONCLUSÕES

A matriz possui intermetálicos que se solubilizam durante o tratamento térmico aumentando a resistência. Os nanotubos interagem com a matriz e os intermetálicos aumentando a resistência do material. Foram observados defeitos pela falta de distribuição dos NTC que estiveram agregados em pontos no material e que geraram muitos defeitos. Os nanotubos também se localizam nos defeitos O que possibilita o aumento de resistência. O tratamento térmico aumentou a dureza dos materiais processados, mesmo com defeitos observados no composto.

## REFERÊNCIAS

- [1] GAMA, L.G.O.; BRAGA, R.R.; NASCIMENTO, L.G.S. Caracterização Macro e Microestrutural de um Material não ferroso a base de Alumínio. In: III CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Evento Online, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/167942.3-170>. Acessado em 19 de outubro de 2023
- [2] HERBST, M; MACÊDO, M; ROCCO, A. Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar. Departamento de Física dos Sólidos, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CP 68528, 21945-970 Rio de Janeiro – RJ, 2004.
- [3] NASCIMENTO, L. INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA LIGA AL- 2%NI SOLIDIFICADA DIRECIONALMENTE, Tese doutorado, PRODERNA - Programa de PósGraduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – UFPA, R. Augusto Corrêa - Guamá, Belém – PA. 2015
- [4] SCHULZ, P. A. B.; LEIVA, D. R.; MILANEZ, D. H. Engenharia de Materiais para Todos. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2020. 134 p
- [5] MAKAR, J; MARGESON, J; LUH, J. Carbon nanotube/cement composites – early results and potential applications. 3<sup>rd</sup> International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, 2005.
- [6] ABNT NBR 15454:2007 Metalografia das ligas de ferro-carbono – Terminologia.
- [7] NBR 6671 (ABNT) e a norma internacional mais utilizada é a ASTM E18-94.