

## 6. CONCLUSÕES.

1. O nanocompósito Cu-CNT (2%) foi obtido através de uma rota química alternativa, de acordo com os seguintes etapas consecutivas.
  - Dissociação do nitrato de cobre junto com os nanotubos de carbono e um tensoativo, para formar o precursor CuO-CNT.
  - Redução do precursor em atmosfera de Hidrogênio.
2. Tal como previsto nos estudos termodinâmicos o óxido formado no momento da dissociação foi CuO. A dissociação do nitrato de cobre pode ocorrer em tempos inferiores a 15 min, quando a temperatura é maior de 300°C.
3. O tamanho do cristalito de óxido de cobre formado no momento da dissociação na faixa de temperatura de 250 a 400 °C varia de 30nm a 50nm. Tamanhos de cristalito de 30nm são encontrados em condições de dissociação a 250°C, por 2 horas, os quais foram confirmados por microscopia eletrônica de transmissão.
4. A redução do óxido de cobre CuO, para cobre metálico, pode ser realizada a baixas temperaturas e tempos (250°C, 12 min). Entretanto, impurezas metálicas, como ferro associadas aos nanotubos, retardam o processo de redução. Confirmou-se por difração de raios X a redução total do óxido de cobre para cobre metálico na presença dos nanotubos de carbono a 350°C por 30 min, em atmosfera de Hidrogênio. Caracterização por microscopia eletrônica de transmissão indica uma boa dispersão dos nanotubos.
5. Medições realizadas por difração de raios X estimam que o cobre metálico apresenta um tamanho de cristalito maior que das partículas de óxido de cobre da ordem de 100nm. Medições realizadas por microscopia eletrônica de transmissão e por espalhamento dinâmico com laser de He-Ne confirmam este tamanho, o que indica que uma vez terminada a etapa de redução, o material apresenta-se como aglomerado de partículas decorrente de um processo competitivo entre sinterização e coalescimento destas.
6. A densidade do material nanocompósito em pó, uma vez terminada a etapa de redução foi de 8.1 gr/cm<sup>3</sup>. Já após a sinterização, a pastilha atingiu uma densidade de 7,4 gr/cm<sup>3</sup>. O material nanocompósito sinterizado, apresenta heterogeneidade no tamanho de grão de 100nm a 4µm. Isto pode ser interpretado como decorrente da própria heterogeneidade na deformação plástica que é transmitida durante a compactação e o procedimento convencional de sinterização envolvendo baixas taxas de aquecimento e resfriamento.

7. A resistividade na faixa de 80 K a 300 K mostra que o nanocompósito Cu-2% CNT é bem inferior ( $2 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$  a 80 K), ao cobre sem nanotubos de carbono ( $6 \times 10^{-6} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$  a 80 K), o que garante que a adição de nanotubos de carbono aumenta significativamente a condutividade elétrica do cobre.
8. O material nanocompósito apresenta um ganho de dureza pela adição dos nanotubos de carbono, para um valor médio de 70HV, comparado com a dureza do material de cobre sem nanotubos, processados em iguais condições (37HV). As medições de nanoindentação apresentam resultados coerentes com a medição de micro dureza Vickers. O material nanocompósito de Cu-2% CNT apresenta maior dureza (1,7GPa) comparado com o cobre sem nanotubos de carbono (1.2 GPa). No entanto, o módulo de elasticidade foi menor para o material nanocompósito (70GPa) comparado com o cobre (90GPa), o que sugeria alguns danos dos nanotubos no momento do processamento. Todavia, os dados para o cobre estão por abaixo dos reportados na literatura (110 GPa), possivelmente por não ter atingido 100% de densidade e uma grande heterogeneidade no tamanho de grão. (100 nm-4 $\mu\text{m}$ ).
9. Análise por mapeamento Elemental no MEV confirma a boa distribuição dos nanotubos de carbono na matriz de cobre, tanto nos limites de grão quanto ao interior dos grãos, o que verifica que o método proposto para a síntese do nanocompósito é efetivo e representa um bom aporte a nível científico.