



SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE TERMISTORES COM COEFICIENTE DE TEMPERATURA NEGATIVO A BASE DE CO_3O_4 E ESTIMAÇÃO DAS CURVAS DC VIA REDE NEURAL.

Italo Gusmão Fernandes⁽¹⁾, Lucius Vinicius Rocha Machado⁽²⁾, Ronaldo Ribeiro Correa⁽²⁾, Lucilene Ferreira Mouzinho⁽²⁾, Eliude Trovão Moraes⁽²⁾

¹Graduando do Curso de Engenharia Elétrica Industrial do IFMA-Campus Monte Castelo. Bolsista do CNPq. e-mail: italo_cksad@hotmail.com

²Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão- IFMA.. e-mails: luciusvinicius@ifma.edu.br, mouzinho@ifma.edu.br, trovao@ifma.edu.br

Resumo: O Termistor com coeficiente negativo de temperatura NTC foi processado por um moinho Spex, variando-se a concentração de Al_2O_3 nos óxidos, calcinada a $1100\text{ }^\circ\text{C}$ para formação das fases desejadas, depois compactada a 120 MPa em moldes de 10 mm^2 de diâmetro e espessura 3 mm, sinterizada a $1200\text{ }^\circ\text{C}$. As fases foram identificadas por meio da técnica de difração de raios X. Análises de espectroscopia por energia dispersiva EDS foram feitas, para verificação qualitativa da composição química das amostras. E por meio de uma caracterização elétrica de forma indireta, obteve-se as curvas DC dos NTC, com resistividade variando de $1016\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ a $5150\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$, a sensibilidade β ficou no intervalo de 1560 K a 1679 K e a energia de ativação E_a no intervalo de 0,13 eV a 0,15 eV. Uma estimativa das curvas DC do NTC foi realizada via Rede Neural com um erro máximo de 1%.

Palavras-chave: Cerâmicas Avançadas, Rede Neural, Termistores NTC

1. INTRODUÇÃO

As cerâmicas eletrônicas tipo NTC são largamente utilizadas, para medição de temperatura ou como elemento de controle nos eletroeletrônicos.

Os termistores do tipo NTC apresentam a diminuição da resistência elétrica com o aumento da temperatura de forma exponencial. Estas cerâmicas são sintetizadas com materiais classificados como semicondutores do tipo óxidos metálicos ou sulfetos (Scarrt,1960). As composições típicas de óxidos são: óxidos de cobalto, óxidos de níquel, óxidos de ferro e óxidos de manganês que apresentam uma estrutura do tipo espinélio. A fórmula típica do espinélio é AB_2O_4 , onde os cátions do elemento A preenchem os interstícios do sitio A com forma tetraédrica, enquanto que os cátions do elemento B preenchem os sítios B com forma octaédrica (Willian,2002). A condutividade nesta estrutura é interpretada como saltos de portadores dentro dos sítios disponíveis, chamado de *hopping* (Hrovat et al.,2006). Pode-se também apresentar a forma do espinélio invertido, onde todos os cátions do elemento A mais a metade dos cátions do elemento B ocupam o sítio octaédrico, enquanto a outra metade dos cátions do elemento B ocupa o sítio tetraédrico (Shackelford, 2008).

Segundo BRAGA, as redes neuronais são sistemas paralelos distribuídos compostos por unidades de processamento simples (nodos) que calculam determinadas funções matemáticas (não-lineares). Já em HAYKIN, tem-se que as redes neurais são máquinas projetadas para modelar a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou função de interesse; a rede é normalmente implementada utilizando-se componentes eletrônicos ou é simulada por programação em um computador digital. O uso das redes neurais oferece as seguintes propriedades úteis e capacidades: não-linearidade, mapeamento de E/S, adaptabilidade, resposta a evidência, informação contextual, tolerância a falhas, implementação em VLSI, uniformidade de análise e projeto e analogia neurobiológica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, a cerâmica eletrônica foi processada: por um moinho Spex, variando-se a concentração de Al_2O_3 nos óxidos, conforme a seguinte estequiometria $NiCo_3Al_{2x}O_{(3x+5)}$ onde x variou nos valores de $x=0,0; 0,6$ e $1,0$ denominadas A, B e C, calcinada a $1100\text{ }^\circ\text{C}$ para formação das fases desejadas, depois compactada a 120 MPa em moldes de 10 mm^2 de diâmetro e espessura 3 mm e sinterizada a $1200\text{ }^\circ\text{C}$ num forno resistivo, Linn Elektro Therm com um patamar de 4 h , com razão de aquecimento de $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. As fases foram identificadas por meio da técnica de difração de raios X que foram feitas em um difratômetro, Rigaku Rint 2000 com anodo rotatório de Cu. Análises de espectroscopia por energia dispersiva de raios X, EDS, foram feitas nas pastilhas fraturadas, para verificação qualitativa da composição química das amostras que foram previamente recoberta com uma camada fina de carbono, para fornecer um caminho condutor sobre a amostra. O instrumento utilizado nestas análises foi o Field Emission Scanning Electron Microscope, modelo: JSM-7500F marca JEOL. E por meio de uma caracterização elétrica em corrente contínua de forma indireta foram obtidas as curvas DC dos NTC, esta caracterização foi realizada com a utilização de uma fonte de corrente constante, montada no laboratório conforme a Figura 1. Mediu-se a diferença de potencial da amostra em relação a temperatura por meio de um forno resistivo, INTI FTR – 1100 com patamar de 10 min . e taxa de aquecimento $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. para o levantamento das curvas de resistividades entre $25\text{ }^\circ\text{C}$ a $200\text{ }^\circ\text{C}$.

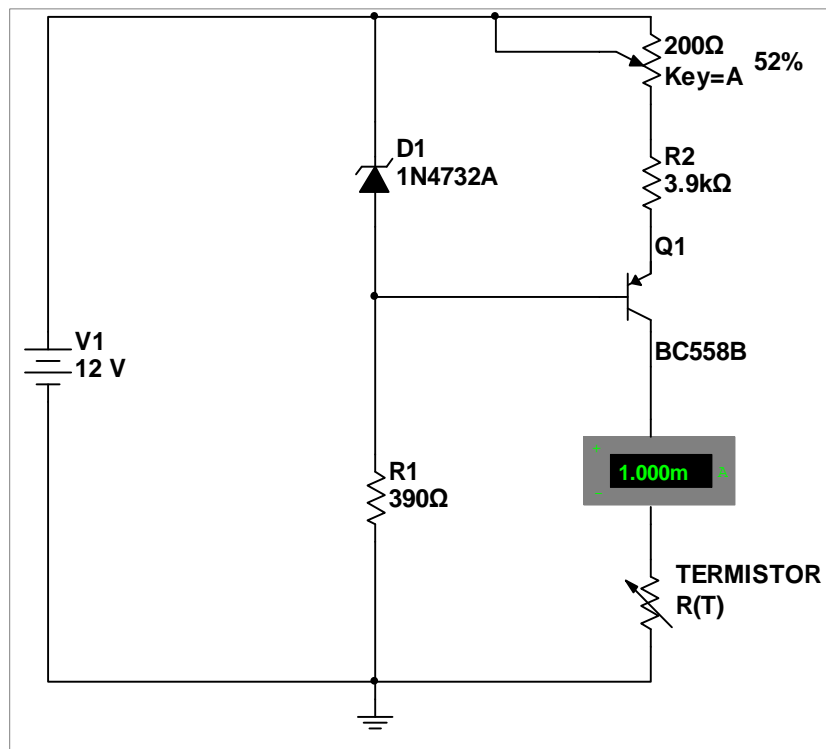


Figura 1 - Diagrama esquemático da fonte de corrente constante aplicada a um termistor $R(T)$.

A diferença de potencial (ddp) foi medida com um multímetro digital da Homis Controle e Instrumentação Ltda. e com a utilização das equações (1), (2) e (3), foram obtidas as resistividades de cada amostra.

$$V = R(T)I \quad (1)$$

$$R(T) = \rho(T) \frac{l}{s}, \quad (2)$$

$$\rho(T) = \rho_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (3)$$

A rede neural, Figura 2, foi utilizada para estimação das curvas do NTC, com a topologia *back propagation*, onde os pesos foram auto ajustados, para a obtenção da curva real do termistor.

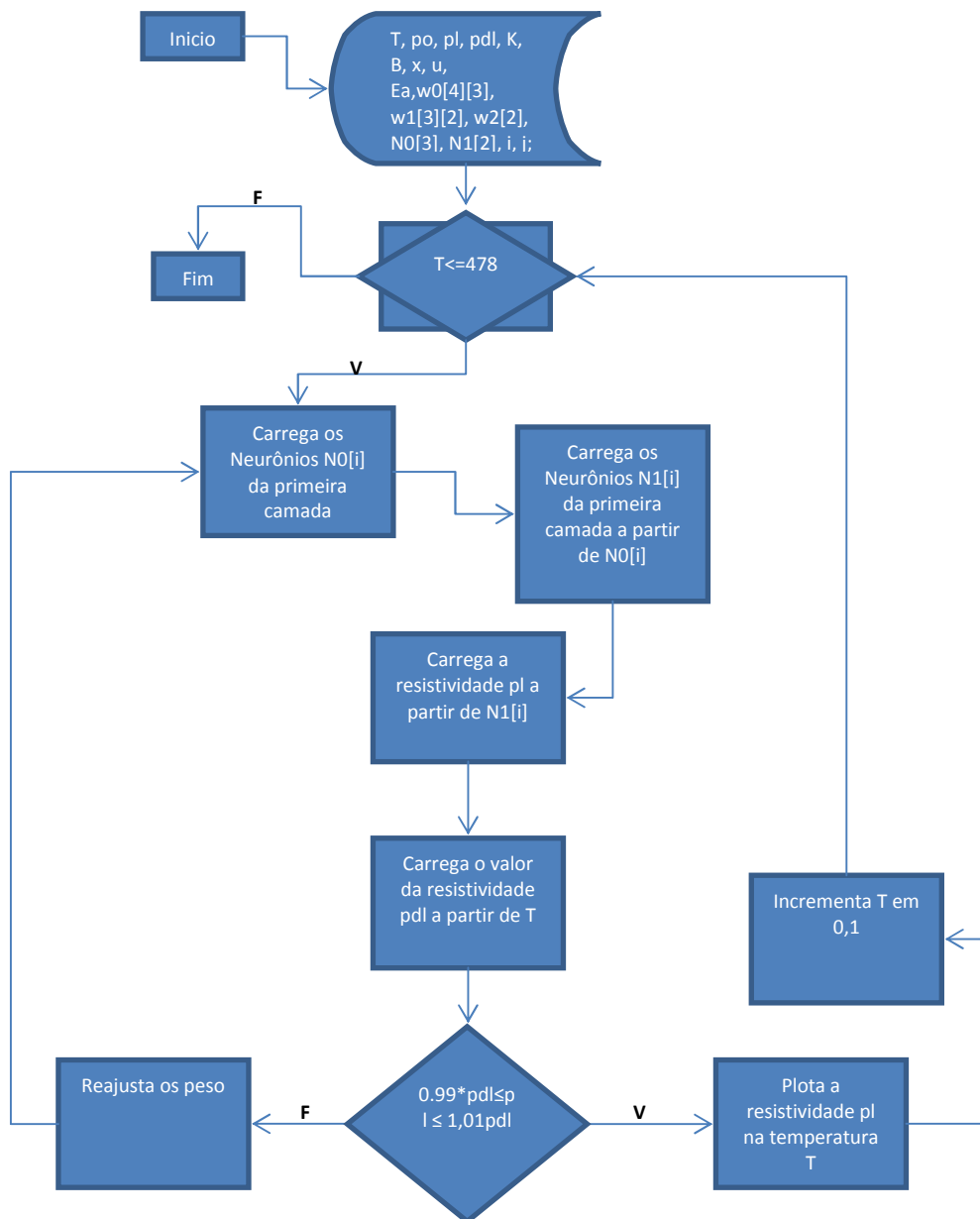


Figura 2 - Fluxograma do algoritmo de caracterização por RNA do NTC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 tem-se os difratogramas das amostras A, B e C

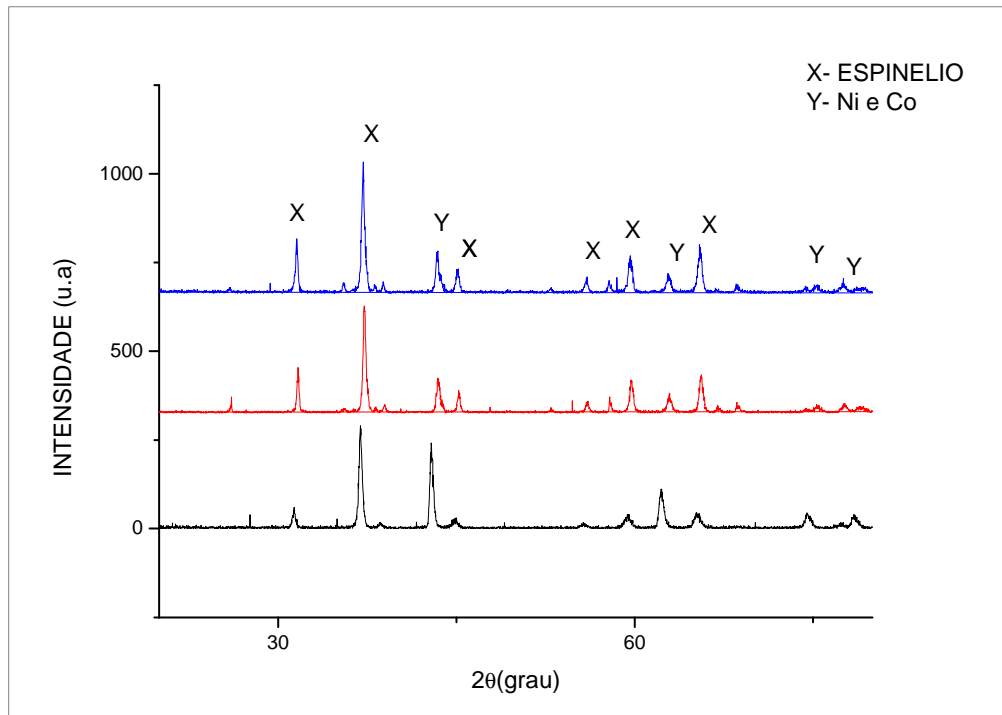


Figura 3- Difratogramas das amostras A (azul), B (vermelho) e C (preto) calcinada a 1100 °C.

Como todos os difratogramas ilustrados na Figura 3 têm o mesmo comportamento, observa-se a formação das fases espinélios, e das fases NiO e CoO, para todas as amostras. Estes espinélios formados podem ter as seguintes configurações NiCo_2O_4 , $\text{CoCoAl}_2\text{O}_4$, e NiAlCoO_4 .

Nas Figuras 4-6 têm-se as análises de EDS desta composição, grãos típicos das amostras foram escolhidos aleatoriamente.

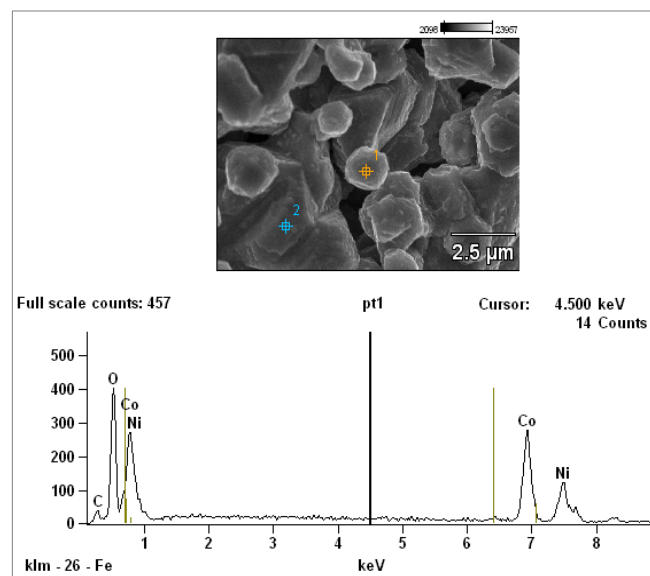


Figura 4 - Análise por EDS da amostra A sinterizada a 1200 °C no ponto um.

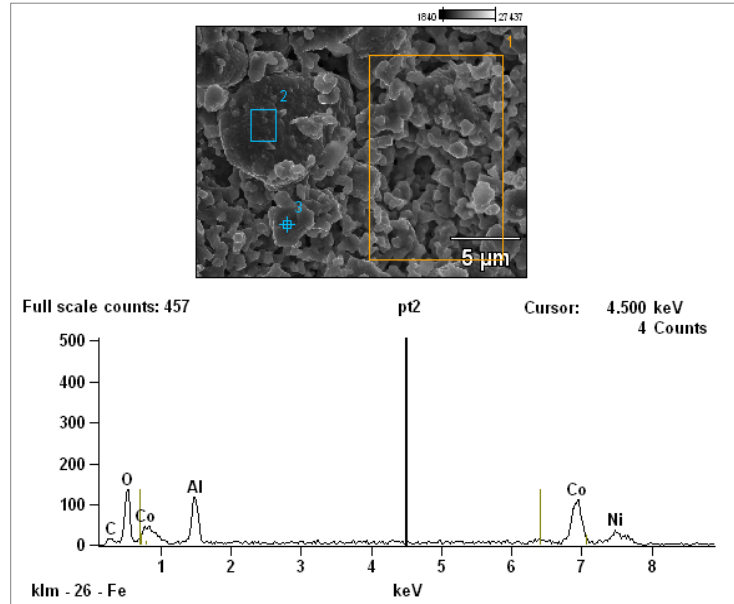


Figura 5 - Análise por EDS da amostra B sinterizada a 1200 °C no ponto dois.

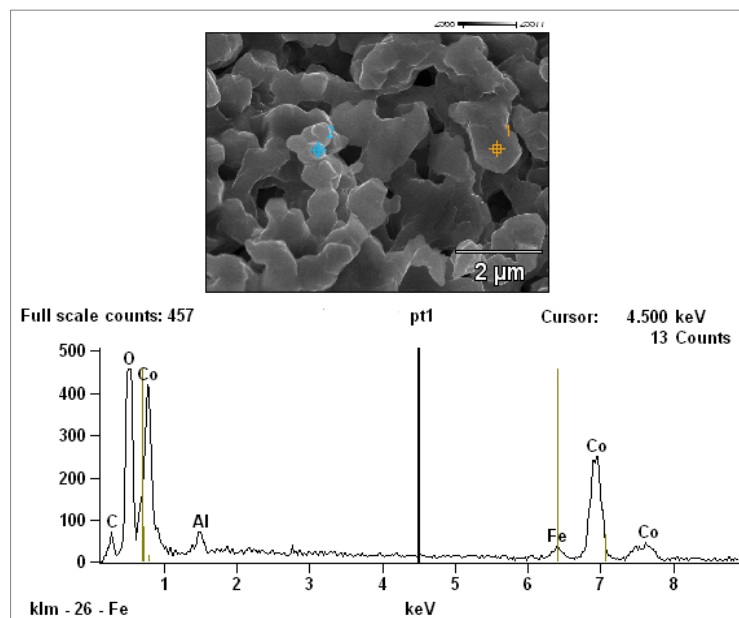


Figura 6 - Análise por EDS da amostra C sinterizada a 1200 °C no ponto um.

Pode-se verificar no ponto um da Figura 4, no ponto dois da Figura 5 e no ponto um da Figura 6, os elementos químicos Co, Ni, e O; Co, Ni, Al e O; e Co, Al e O, respectivamente, vindo a corroborar com o difratograma que sugeriu a formação de fases do tipo espinélio com estes elementos químicos.

Nas Figuras 7-9 tem-se as curvas das resistividades elétrica das amostras A, B e C medida de forma indireta, bem como, as curvas estimadas via rede neural para as mesmas amostras.

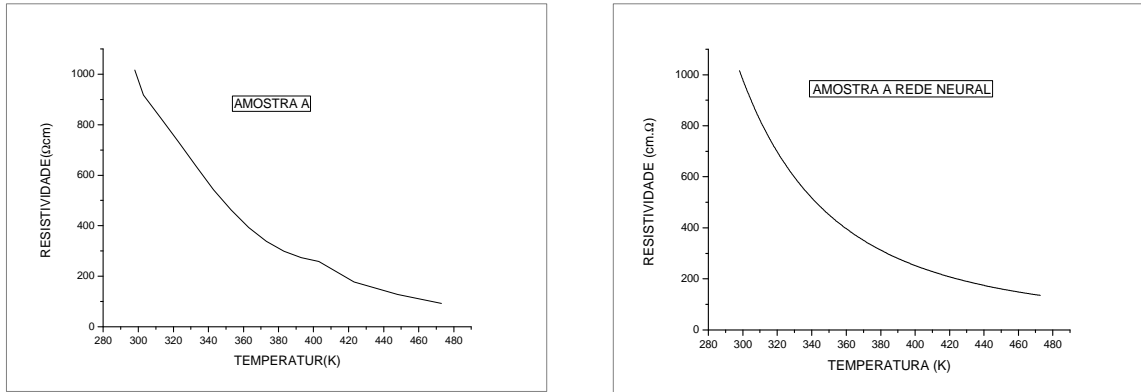


Figura 7 – Resistividade elétrica em função da temperatura para a amostra A sinterizada a 1200 °C.

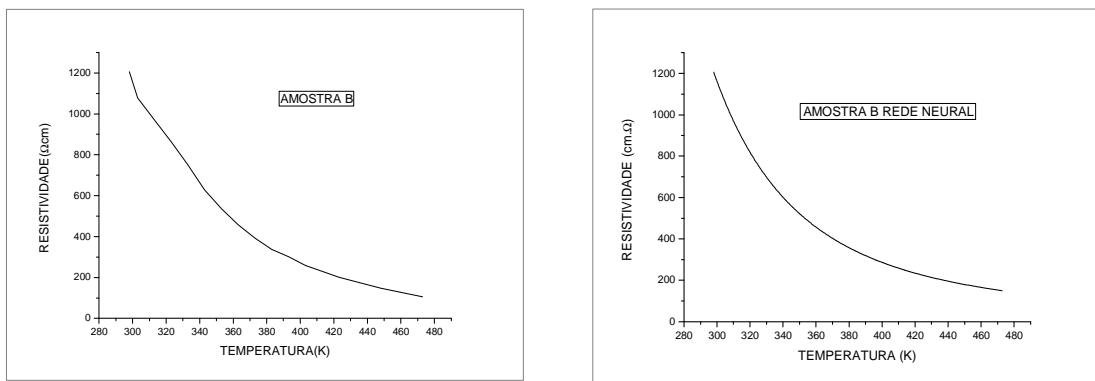


Figura 8 - Resistividade elétrica em função da temperatura para a amostra B sinterizada a 1200 °C.

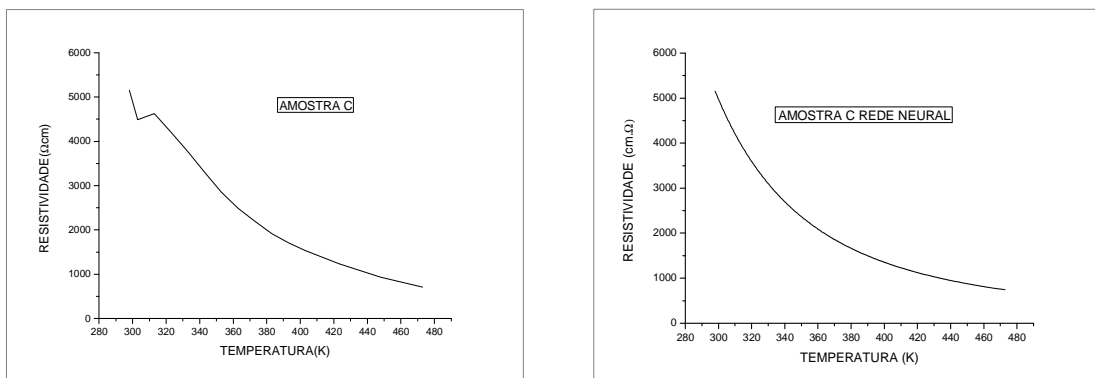


Figura 9 - Resistividade elétrica em função da temperatura para a amostra C sinterizada a 1200 °C.

Analisando estas curvas, verifica-se que o comportamento semicondutor foi verificado em todas as amostras sinterizadas a 1200 °C, e que a rede neural estimou os parâmetros da equação (C) com aproximação de 1%, bem como, corrigiu alguns dados medidos erroneamente, conforme comparação das curvas.



Na Tabela 1 têm-se os valores da resistividade, da sensibilidade β e da energia de ativação para estas cerâmicas semicondutoras.

Tabela 1 valores da resistividade, sensibilidade β e da energia de ativação E_a obtidos para as amostras sinterizada a 1200 °C.

AMOSTRAS	RESISTIVIDADE (Ω .cm) 1200 °C	β (K) 1200 °C	E_a (eV) 1200 °C,
A	1016	1628	0,14
B	1384	1679	0,15
C	5150	1560	0,13

Baseados nos valores lidos na Tabela 1, verifica-se que com o aumento de Al_2O_3 nas composições, os valores das resistividades aumentam e que as energias de ativação ficaram dentro do intervalo 0,01 eV a 0,4 eV, indicando que a condução nas cerâmicas semicondutoras com comportamento termistor, se deu predominantemente por *hopping*. Já os valores de β ficaram no limite inferior da faixa do β aceito para estas cerâmicas com características termistoras.

4. CONCLUSÕES

As análises dos difratogramas comprovaram o surgimento das novas fases, que apareceram na microestrutura e foram corroboradas por meio do EDS, três fases com a estrutura do espinélio foram identificadas, $CoNiCoO_4$, $CoCoAlO_4$ e $NiAlCoO_4$.

Verificou-se nas micrografias eletrônicas por emissão de campo que com aumento de Al_2O_3 fez com que os tamanhos médios dos grãos diminuíssem, influenciando diretamente nas propriedades elétricas das amostras, sugerindo que a condução foi feita pelos grãos.

Os dados da Tabela 1 comprovaram o comportamento termistor das amostras, pela avaliação do β obtido, bem como do processo de condução, que foi estabelecido para as cerâmicas semicondutoras, através dos valores da energia de ativação E_a , estas conduções baseadas no *hopping* foi constatadas pelos valores das energias de ativação, que se encontraram entre 0,13 eV e 0,15 eV.

Todas as amostras tiveram comportamento de cerâmica semicondutora do tipo Termistor NTC e suas propriedades elétricas foram influenciadas tanto, micro estruturalmente, quanto estruturalmente.

Nas figuras 7-9 confirma-se a proximidade entre as curvas reais (RNA) e medidas, o que prova a veracidade do NTC.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao CNPq, ao Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Maranhão-Campus Monte Castelo, Departamento de Eletro Eletronica.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A. de Pádua et alli. **Redes Neurais Artificiais: Teoria E Aplicações**. Rio de Janeiro – RJ. Editora LTC, 2000.

CARTER,C.B.; NORTON,M.G. **Ceramics materials. science e engineering**.2007.p 149-150.



EL. SAADAWY, M.D.C. **Conductivity for hexaferrites of the $Zn_{2x}Cu_xBa, Fe_{16}O_{27}$** . System Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2000. Vol. 219. p.69-72.

HAYKIN, SIMON. **Redes Neurais: princípios e prática**. 2 ed. Porto Alegre. Ed. Bookman, 2001.

MACHADO, L.V.R.; MORAES, E.T.; CORREA, R.R. **efeito da adição de Al_2O_3 em cerâmicas semicondutoras do tipo ntc, a partir de NiO e Co_3O_4 e caracterização indireta da condutividade elétrica através de fonte de corrente constante**, 55 Congresso Brasileiro de Cerâmica. 2011. P 2021-2010.

SCARRT, R.W.; SETTERINGTON, R.A. **Thermistors, their theory, manufacture and application**, Proc. IEEE. 107B, 1960. P.395-404.

WILLIAM, D.; CALLISTER, Jr. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. Quinta edição. LTC Editora, 2002. P 271.

YAMAMOTO, H.; SHIBATA, A.; HAJIM, K.; TAKAO, F.; SUGISAWA, K.;

NIWATSUKINO, Y.; SHISHIIBA, H.; TAKEDA, S. **The development of high sensitivity ntc thermistors**. IEEE, 1995.