

AVALIAÇÃO DAS FORMAS DE AQUECIMENTO PARA OBTENÇÃO DE FERRITAS Ni-Zn POR REAÇÃO DE COMBUSTÃO.

D. A. Vieira¹, V. C. S. Diniz¹, N. L. de Freitas¹, M. C. da Silva¹, R. H. G. A. Kiminami²,
A. C. F. M. Costa¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – Departamento de Engenharia de Materiais - Av. Aprígio Veloso, 882; 58109-970 Campina Grande – PB.

²Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia de Materiais - Rod. Washington Luís, km 235, 13565-905 São Carlos – SP.

deboralbq@hotmail.com

RESUMO

Várias técnicas de aquecimento vem sendo aplicada há vários anos no processamento de cerâmicas e observou-se que provocaram modificações significativas nas características finais dos pós obtidos. Assim, este trabalho avalia as forma de aquecimento para obtenção de ferritas Ni-Zn, por reação de combustão utilizando, forno mufla (FF), resistência elétrica em espiral embutida em uma base cerâmica (FP) e forno microondas (FM). Os pós obtidos foram caracterizados por difração de raios X (DRX), adsorção de nitrogênio (BET) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados mostram que para todas as metodologias utilizadas se obteve a fase desejada, $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$, com tamanho médio de cristalito variando de 15 a 23 nm. A área superficial foi de 67, 67 e 79 m²/g, para os pós obtidos na mufla, na resistência e no microondas, respectivamente. A característica morfológica mostra que todos os pós apresentaram aglomerados de formato esférico, e aspecto mol, constituídos de nanopartículas.

Palavras-Chave: Forno mufla, resistência espiral, forno microondas, ferrita Ni-Zn, reação de combustão.

INTRODUÇÃO

Atualmente, as cerâmicas possuem grande importância para o desenvolvimento da humanidade. Com o desenvolvimento cada vez mais apurado da indústria e da pesquisa, os materiais cerâmicos se tornaram uma categoria ampla de compostos empregados nas mais diversas áreas e com finalidades específicas, dentre estes, existem: cerâmicas eletroeletrônicas, ópticas, termomecânicas, magnéticas, na biomedicina, diagnóstico de imagem, biologia molecular, bioquímica, catálises, entre outras ^(1,2).

Dentre as cerâmicas cristalinas as ferritas vêm sendo estudadas de forma bastante detalhada nas últimas décadas e muito tem sido publicado a respeito destes materiais. Suas propriedades têm sido caracterizadas em função de diversos fatores e melhoradas com a aplicação das novas tecnologias que vêm surgindo ⁽³⁾.

Com relação a estrutura cristalina, estes materiais apresentam configuração cúbica do espinélio inverso, pertencente ao grupo espacial $Fd\bar{3}m$, e são materiais cerâmicos ferrimagnéticos, cuja composição química é formada por uma solução sólida dos óxidos de NiO, ZnO e Fe_2O_3 ⁽⁴⁾. As ferritas são um sistema de cristal muito informativo, que permite projetar as propriedades magnéticas de nanopartículas através de manipulações químicas ⁽⁵⁾. Nas últimas décadas a síntese dessas ferritas atraiu o interesse de muitos pesquisadores e inúmeros métodos para obtenção desse material foram desenvolvidos e aprimorados ⁽⁶⁾, tais como sol-gel ⁽⁷⁾, citrato precursor ⁽⁸⁾, síntese hidrotérmica ⁽⁹⁾ e síntese por reação de combustão ⁽¹⁰⁾.

A síntese por reação de combustão emergiu como uma técnica importante para a síntese e processamento de cerâmica avançada (estrutural e funcional), tais como: catalisadores, compósitos, supercondutores, dielétricos, semicondutores e nanomateriais de uma forma geral. A síntese por combustão em solução ou conhecida por líquida é um método de desenvolvimento eficiente e simples, de preparar materiais na forma de óxidos, e está sendo usada no mundo inteiro para preparar vários sistemas cerâmicos ⁽⁴⁾, incluído as cerâmicas magnéticas, para uma variedade de aplicações.

A síntese por reação de combustão consiste numa mistura contendo sais de metal apropriados (nitratos são geralmente preferidos por causa de sua boa solubilidade) e um combustível orgânico adequado, para combustão em temperaturas na faixa de 400–600°C. O resultado é um aglomerado seco,

normalmente cristalino. Uma característica da técnica é que a reação é exotérmica, em que ocorre uma auto-ignição dos reagentes após atingir a temperatura crítica, fazendo com que o calor exigido para a síntese seja por ela mesma provida, deste modo reduzindo o calor necessário que deva ser fornecido por uma fonte externa. Os nitratos metálicos também se decompõem, por calcinação simples, em óxidos metálicos quando atinge sua temperatura de decomposição, depois a reação destes óxidos pode levar a novas substâncias indesejadas. Para que não ocorra isso, uma provisão de calor externo constante é necessária para manter o sistema na temperatura suficiente adequada exigida para realizar a reação apropriada ⁽¹¹⁾. Deve-se salientar que em função de não necessitar de aparelhagem sofisticada, este método possibilita a montagem de uma escala piloto para a produção de pós de alto desempenho.

Na reação de combustão, tipicamente, o recipiente que contem a solução (metal-nitrato e combustível) é aquecido diretamente em uma placa quente em temperatura de $350^{\circ}\text{C}+10^{\circ}\text{C}^{(12-14)}$, e em seguida inserido em uma mufla (forno resistivo) pré-aquecida a $500^{\circ}\text{C}+10^{\circ}\text{C}^{(15,16)}$, ou em um forno de microondas ^(17,18). A forma de aquecimento mais utilizada na síntese por reação de combustão faz uso de um forno mufla convencional ⁽¹⁹⁾. Porém nos últimos anos pesquisadores tem relatado a utilização de placa quente e energia microondas como fonte de aquecimento externo para ativar este processo de forma a produzir a combustão ^(17, 20).

Neste contexto, o presente trabalho investiga a influência do uso de diferentes formas de aquecimento na síntese por reação de combustão visando a preparação de ferritas de Ni-Zn. As mudanças estruturais e morfológicas foram analisadas.

MATERIAIS E METODOS

O processo de síntese por reação de combustão envolveu uma mistura contendo íons metálicos, como reagentes oxidantes (nitratos), e um combustível (uréia), como agente redutor. Todos os precursores utilizados possuem pureza 98%. Para a mistura redox foram utilizados nitrato de níquel – $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Aldrich), nitrato de zinco - $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Aldrich), nitrato de ferro - $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Aldrich) e uréia – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (Vetec). A mistura dos reagentes obedeceu à composição estequiométrica com base nas valências dos agentes oxidantes e redutores,

segundo o conceito da teoria dos propelentes e explosivos ⁽²¹⁾. Todas as reações foram realizadas usando um cadinho de sílica vítrea com capacidade de 250 ml. A mistura dos reagentes foi submetida a três procedimentos para a reação ocorrer. I) a combustão ocorreu no interior de um forno elétrico, tipo mufla, modelo mufla3p inox, marca EDG, com temperatura máxima de 1200°C, pré-aquecido à temperatura de 500°C (FF); II) a combustão ocorreu sob aquecimento direto em resistência elétrica em forma espiral (com temperatura de aproximadamente 600° C) embutida em um inoculo de cerâmico esférico (FP); III) a combustão ocorreu em um forno microondas doméstico, ME27S, marca Eletrolux adaptado com exaustor para a evasão dos gases, pré-programado com potência de 900 Watts o que equivale a 100% da potência total do equipamento, e tempo de exposição as ondas eletromagnéticas de 10 minutos (FM).

Os pós resultantes das reações na forma de flocos porosos, foram desaglomerados em peneira ABNT n° 325 (abertura 44 µm), para posterior caracterização. A determinação das fases presentes e o tamanho de cristalito das amostras sintetizadas foram determinados a partir dos dados de difração coletados ⁽²²⁾ utilizando um difratômetro de raios-X SHIMADZU (modelo XRD 6000, radiação Cu K). Os parâmetros de rede foram obtidos por meio da rotina DICVOL91 for Windows, disponível no pacote de programas FullProff ⁽²³⁾. A área superficial dos pós foi determinada por adsorção de nitrogênio/hélio desenvolvido por Brunauer, Emmett e Teller (BET). Foi utilizado um equipamento modelo GEMINI – 2730 (Micromerictis). O tamanho de partícula foi calculado pela equação proposta por Reed ⁽²⁴⁾ a partir do valor da área superficial, e densidade teórica de 5,361m³/g. Os aspectos morfológicos dos pós de ferritas resultantes da reação de combustão foram analisados por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando um microscópio eletrônico de varredura, marca Philips, modelo XL30 FEG.

RESULTADOS E DICUSSÃO

A figura 1 ilustra os difratogramas de raios X dos pós de ferrita Ni-Zn obtidos por reação de combustão em forno mufla (FF), em resistência elétrica espiral (FP) e em forno microondas (FM).

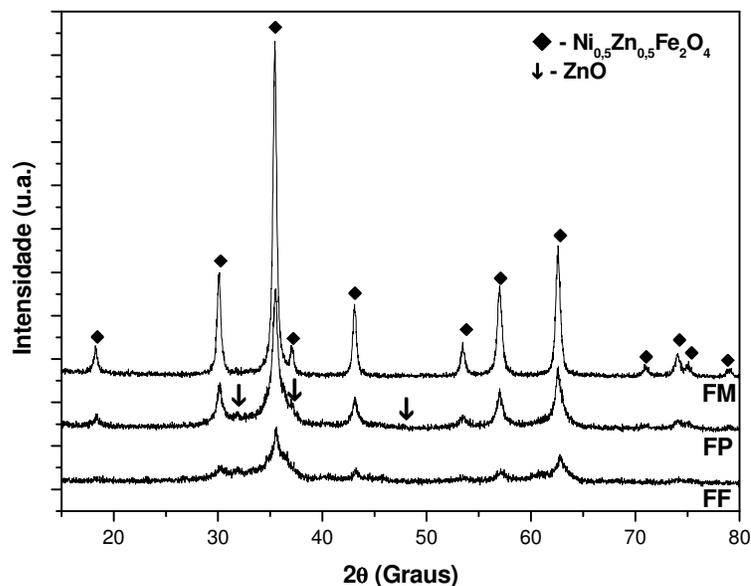


Figura 1. Difratomogramas de raios X dos pós de ferrita Ni-Zn obtidos por reação de combustão em forno mufla (FF), resistência elétrica espiral (FP) e em forno microondas (FM).

De acordo com o difratogramas observa-se que os pós obtidos em forno microondas (FM) e forno mufla (FF) apresentaram apenas a fase cristalina do espinélio inverso ferrita Ni-Zn. Porém, os pós produzidos no forno microondas apresentaram os 12 picos principais da fase espinélio bem definidos indicando uma boa cristalinidade (elevada intensidade) dos mesmos, enquanto os pós obtidos no forno mufla apresentaram apenas os seis primeiros picos do espinélio e com baixa cristalinidade, ou seja, baixa intensidade e bastante largo o espectro basal. Para o pó produzido na resistência espiral (FP) além da fase majoritária da ferrita Ni-Zn, observou-se traços discretos do óxido de zinco (ZnO), com baixa intensidade e uma elevada largura nos picos observados.

A maior intensidade dos picos e menor largura observada nos pós produzidos no forno microondas, é devido ao mecanismo de aquecimento, pois a radiação de ondas eletromagnéticas fornece uma maior temperatura externa, contribuindo para temperaturas possivelmente maiores durante a síntese. As temperaturas máximas de combustão medidas experimentalmente no forno mufla e da resistência elétrica espiral (verificados com o auxílio de um pirômetro de infravermelho Raytek, modelo RAYR31 $\pm 2^\circ\text{C}$), foram de aproximadamente 643°C e 719°C , respectivamente. Verifica-se, que a diferença de 76°C possibilitou a formação de traços de segunda fase, mesmo verificando-se que o material é aparentemente mais cristalino. Isto,

possivelmente se deve a maior perda de calor por convecção que ocorre durante o aquecimento na resistência espiral, além da maior quantidade de gases de combustão liberados durante a síntese. No forno microondas não foi possível verificar a temperatura de combustão devido a placa de Faraday protetora do forno microondas, impedir a penetração do laser do pirômetro impossibilitando a verificação da temperatura. Mas segundo Fu ⁽²⁵⁾, que sintetizou por reação de combustão ferrita Ni-Cu-Zn, em forno microondas, com potência de 650 Watts, obtendo a formação da fase do espinélio, mostrou que a solução atinge o ponto de combustão espontânea, e começa a queimar, liberando muito calor, evaporando toda a solução de imediato, e torna-se uma queima de sólidos na temperatura de 1000°C. Visivelmente, o pó de ferrita espinélio cúbico pode ser sintetizado em uma temperatura mais baixa no processo por combustão induzida no forno microondas do que aqueles preparados por reação de estado sólido, que utilizam temperaturas maiores que 1200° C.

A tabela 1 expõe os valores de tamanho médio de cristalito, parâmetros de rede, área superficial e tamanho de partícula dos pós de ferrita Ni-Zn obtidos por reação de combustão no forno mufla (FF), na resistência elétrica espiral (FP) e no forno microondas (FM).

Tabela 1. Tamanho médio de Cristalito, parâmetros de rede, área superficial e tamanho de partícula dos pós de ferrita Ni-Zn obtidos em forno mufla (FF), resistência elétrica espiral (FP) e forno microondas (FM).

Procedimento	Tamanho médio de Cristalito (nm)	Parâmetros de rede (Å)	Área Superficial (m ² /g)	Tamanho de partícula (nm)**
Forno Mufla (FF)	7	n.d.*	67	17
Resistência elétrica (FP)	15	8.39	67	17
Forno microondas (FM)	23	8.38	79	14

*n.d. – não determinado. ** Calculado a partir da área superficial; Densidade teórica (ficha JCPDF # 52-0278) = 5,361 g/cm³

Parâmetro de rede teórico (JCPDS 52-0278): a=b=c= 8.39 Å.

De acordo com os valores expostos na tabela 1, pode-se verificar que os pós obtidos no forno mufla apresentaram menor tamanho médio de cristalito em comparação aos pós de ferrita Ni-Zn obtidos em resistência elétrica espiral e em

forno microondas, enfatizando que esses pós são mais nanométricos em comparação aos pós obtidos em resistência elétrica espiral e forno microondas, cujo tamanho médio de cristalito foi aproximadamente 2 e 3 vezes maior, respectivamente. Gul⁽²⁶⁾ que sintetizou ferritas $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ (para $x = 0,25; 0,50; 0,75$ e 1 mol de Zn) pelo método de co-precipitação obteve em suas amostras tamanho de cristalito considerando apenas o pico mais intenso (311) variando de 15-7 nm, e observou que o tamanho de cristalito diminuiu com concentração de Zn^{2+} . Estes resultados são semelhantes aos obtidos na resistência espiral e no forno mufla. Pela temperatura de combustão era de se esperar que o forno mufla produziu-se pós com tamanho de cristalito superior ao da resistência espiral, o que foi observado ao contrário. Isto, possivelmente se deu pela presença da segunda fase de ZnO. O parâmetro de rede dos pós obtidos no forno mufla, devido sua baixa cristalinidade não pode ser determinado, enquanto que para os pós obtidos em resistência elétrica espiral e em forno microondas apresentaram valor semelhante ao valor do teórico da ficha padrão da $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (ficha JCPDS 52-0278) usada para identificação da fase que é de 8,39, indicando que a característica nanométrica dos pós não causou distorção da rede.

Quanto aos valores de área superficial verifica-se que para os pós obtidos em forno mufla, e na resistência elétrica espiral foram semelhantes, e aproximadamente o dobro do valor de área de superfície dos pós obtidos em forno microondas. O tamanho de partícula apresentou a mesma relação e foi aproximadamente semelhante para os valores do tamanho de cristalito determinado pelo DRX, indicando que cada partícula é aproximadamente constituída por um cristal, com exceção da amostra obtida no forno mufla, onde o tamanho de partícula é o dobro do tamanho de cristalito.

A figura 2 apresenta a morfologia dos pós de ferrita Ni-Zn obtidos por reação de combustão no forno mufla (FF), na resistência elétrica espiral (FP) e no forno microondas (FM).

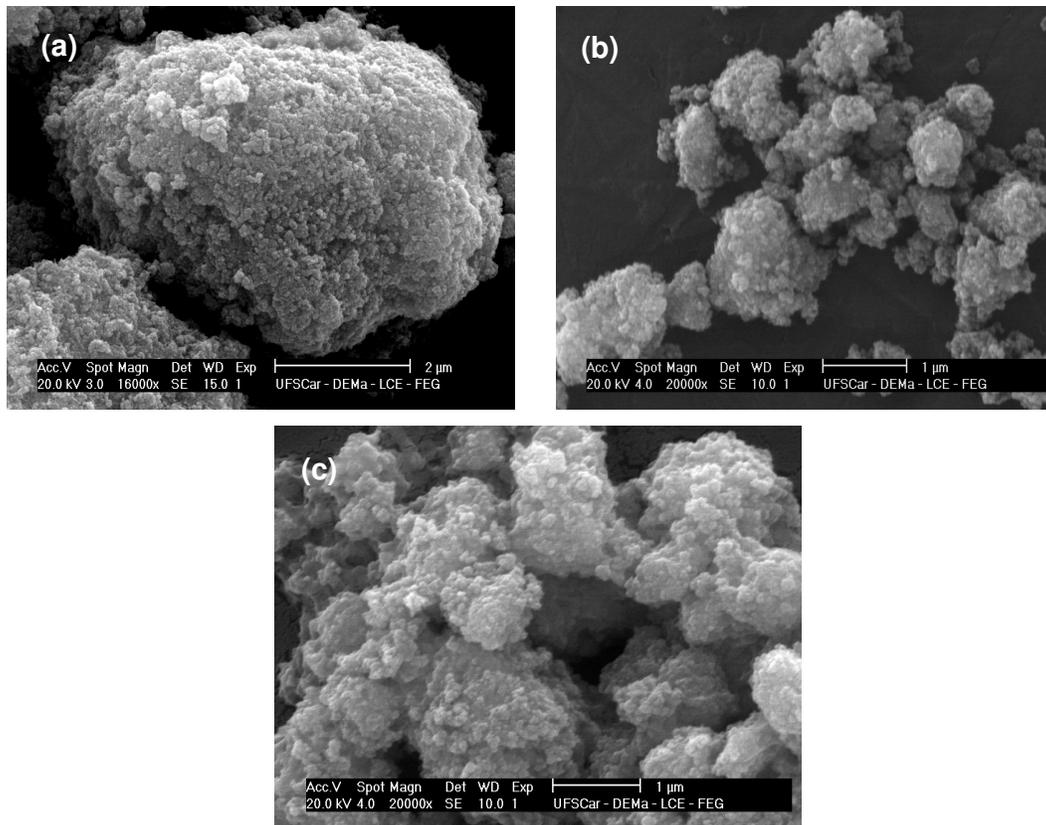


Figura 2. Micrografia dos pós obtidos por reação de combustão, (a) em forno mufla (FF), (b) resistência elétrica espiral (FP) e (c) forno microondas (FM).

De acordo com as micrografias apresentadas podemos observar que todos os pós apresentam morfologia regular, com a formação de aglomerados esféricos, nanométricos, com baixa porosidade e aspecto mole, ou seja, de fácil desaglomeração. Comparando os pós entre si, verifica-se que o pó produzido no forno mufla apresenta aglomerados maiores e constituídos de partículas mais fracamente ligadas. Os pós obtidos na resistência apresenta aglomerados esféricos com uma distribuição mais larga de tamanho quando comparado com os pós obtidos no forno mufla e no forno microondas.

CONCLUSÃO

De acordo com os dados expostos no trabalho, pode-se concluir que o método de reação de combustão, é eficaz e reproduzível, visto que se consegue obter pós em pouco tempo e com baixo custo, tendo em vista a facilidade do método de síntese. Os pós de ferrita Ni-Zn obtidos em forno microondas e forno mufla são

monofásico e nanométricos, porém os pós obtidos na resistência elétrica espiral, possibilitou a formação de pós nanométricos e com presença de traços da segunda fase ZnO, além da fase majoritária da ferrita. Os pós produzidos no forno microondas resultaram na formação de aglomerados constituídos de partículas maiores que os pós produzidos no forno mufla e na resistência espiral. De forma geral, a forma de aquecimento utilizada como aquecimento externo para a reação ocorrer influencia diretamente nas características finais dos pós, ou seja, na estrutura e na morfologia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PROCAD/NF-CAPES, RENAMI-CNPq, CAPES, CNPq/CTPETRO e CNPq pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. SOTTOMAIOR, J. C. S.; SANTOS, L. F. Cerâmica magnética ferrites e ferrimagnetismo. In: 41º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, São Paulo, SP, 1997 Anais 41º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Paulo, ABC, 1997, p. 1-4.
2. CAMILO, R. L. *Síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas de ferrita de cobalto recobertas pó 3-aminopropiltriétoxissilano para uso como material híbrido em nanotecnologia*. Tese (Doutorado em Ciências). 209f. 2006. Autarquia associada à Universidade de São Paulo, SP.
3. BRITO, V. L. O. *Seleção, Elaboração e Caracterização de Ferritas Ni-Zn para aplicação em Motores de corrente pulsada*. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) – Pós-graduação e Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.
4. PATIL, K. C.; ARUNA, S.T.; MIMAN, T. Combustion synthesis: an update. Elsevier, p.507-512, 2003.
5. RANE, K. S.; VERENKAR, V. S. M.; SWANT, P. Y. Hidrazine method of synthesis of γ -Fe₂O₃ useful in ferrites preparation. Part IV – preparation and characterization of magnesium ferrite, MgFe₂O₄ from γ -Fe₂O₃ obtained from hidrazinated iron oxyhydroxides and iron (II) carboxylato-hidrazinates. J. Mat. Sci. Mat. Elet., v. 10, p. 133-140, 1994.
6. XIAN-MING, L.; SHAO-YUN, F.; CHUAN-JUN, H. Magnetic properties of Ni ferrite nanocrystals dispersed in the silica matrix by sol-gel technique. J. Magnet. Magn. Mat., v. 281, p. 234-239, 2004.
7. YUE, Z. et al. Synthesis of nanocrystalline NiCuZn ferrite powders by sol-gel auto-combustion method. J. Magnet. Magn. Mat., v. 208, p. 55-60, 2000.
8. SILEO, E. E.; ROTELLO, R.; JACOBO, S. E. Nickel zinc ferrites prepared by citrate precursor method. Physica B, v. 320, p. 257-260, 2002.

9. DIAS, A.; MOREIRA, R. L. Chemical, mechanical and dielectric properties after sintering of hydrothermal nickel-zinc ferrites. *Materials Letters*, v. 39, p. 69-76, 1999.
10. COSTA, A. C. F. M.; MORELLI M. R.; KIMINAMI R. H. G. A. Ferritas Ni-Zn: síntese por reação de combustão e sinterização. *Cerâmica*, vol. 49, p. 133-140, 2003.
11. ANTONIO, S. G. *Aplicação do Método de Rietveld em caracterização estrutural e nanoestrutural do espinélio $Ni_{1-x}Co_xFe_2O_4$ preparado por Reação de Combustão*. 102p. (Dissertação - Programa de Pós-Graduação Institucional em Ciência e Tecnologia de Materiais). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2006.
12. KIMINAMI, R. H. G. A. Combustion synthesis of nanopowder ceramic powders. *KONA, Powder and Particle*, v. 19, p.156, 2001.
13. Costa, A. C. F. M.; Vieira, D. A.; Lula, R. P. T.; Kiminami, R. H. G. A.; Gama, L. Influência da uréia e glicina na síntese por reação de combustão do suporte catalítico $ZnAl_2O_4$. 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA e CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Foz do Iguaçu, PR, 2006. *Anais do 17º Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, 2006.
14. KEAR, B. H. and McCANDLISH, L. E.; *Journal Ad. Materials* v. 25, p.11, 1993.
15. DING, X.; FAN, Y.; XU, n.; A new route the fabrication of TiO_2 ultrafiltration membranes with suspension derived from a wet chemical synthesis. *J. Memb. Sci.* v. 270, p. 179-186, 2006.
16. KINGSLEY J.J. AND PATIL K.C. A novel combustion process for the synthesis of fine particle α -alumina and related oxide materials *Mater. Lett.*, v. 6, n. 11-12, p. 427-432, 1988,.
17. MENEZES, R. R., *Desenvolvimento de sistemas susceptores para sinterização de cerâmicas em microondas*. 2005. 166f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Coordenação de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
18. VIEIRA, D. A. *Síntese por energia de microondas de ferritas Ni-Zn*. 2009, 109p. Dissertação (Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.
19. PAIVA, A. C. L. A.; LEITE, A. M. D; GAMA, L.; LIRA, H. L.; KIMINAMI, R. H. G. A.; COSTA, A. C. F. M. Síntese de pós de ZrO_2 através do método de reação por combustão e sua caracterização, para preparação de membranas para separação óleo/água. In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005, Salvador. *Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, p-1-6, 2005.
20. BARROS, T. S.; BARROS, B. S.; COSTA, A. C. F. M.; GAMA, L. Preparação de ZnO via reação de combustão utilizando diferentes condições de aquecimento. In:17º CBECIMat – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2006, Foz do Iguaçu, PR. *Anais do 17º Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais* p. 2241-2250, 2006.
21. JAIN, S. R.; ADIGA, K.C.; VERNEKER, V. P. A new approach to thermochemical calculations of condensed fuel-oxider mixture. *Comb. Flame*, v. 40, p. 71-79, 1981.

22. KLUNG, H.; ALEXANDER, L. *X-ray diffraction procedures*. Wiley. New York. EUA. 1962, p.491.
23. LOUER, D.; ROISNEL, T.; DICVOL91 for Windows. Laboratoire de Cristalochimie, Université de Rennes I, Campus de Beaulieu, France, 1993.
24. REED, J. S. *Principles of ceramics processing*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
25. YEN-PEI FU, CHENG-HSIUNG LIN, CHUNG-WEN LIU. Preparation and magnetic properties of Ni_{0.25}Cu_{0.25}Zn_{0.5} ferrite from microwave-induced combustion. *J. Magnet. Magn. Mat.*, v. 283, p. 59–64, 2004.
26. I.H. GUL, W. AHMED, A. MAQSOOD. Electrical and magnetic characterization of nanocrystalline Ni–Zn ferrite synthesis by co-precipitation route. *J. Magnet. Magn. Mat.*, v. 320, p. 270–275, 2008.

EVALUATION OF THE FORM OF HEATING TO OBTAINED Ni-Zn FERRITES BY COMBUSTION REACTION

ABSTRACT

Several techniques of heating has been applied in the last years in the processing ceramics and it was observed that this can cause significant changes in the final characteristics of the powders. This study evaluates the way of heating for obtaining Ni-Zn ferrites by combustion reaction using, muffle furnace (FF), electric resistance spiral embebed in a ceramic base (FP) and microwave (FM). The powders were characterized by X-ray diffraction (XRD), nitrogen adsorption (BET) and scanning electron microscopy (SEM). The results show that for all methods used it was obtained the desired phase, NiO, 5ZnO, 5Fe₂O₄, with crystallite size ranging from 15 to 23 nm. The surface area was 67, 67 and 79 m²/g for powders obtained in the furnace, resistance and the microwave, respectively. The morphological characteristics of the powders shows that all powders have spherical shape, and presents soft agglomerates.

Keywords: Muffle Furnace, coil resistance, microwave, Ni-Zn ferrite, combustion reaction.