

# SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DAS PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DO ZnO: Gd

Hermínia Veridiana dos Santos Pessoni<sup>1</sup>, Adolfo Franco Júnior<sup>2</sup>

Instituto de Física, Universidade Federal de Goiás, CEP 74001-470 Goiânia-GO, Brasil

[<sup>1</sup>herminiafis@hotmail.com](mailto:herminiafis@hotmail.com), [<sup>2</sup>franco@if.ufg.br](mailto:franco@if.ufg.br)

PALAVRAS-CHAVE: DMS, Óxido de Zinco, Hidrólise Forçada, ferromagnetismo.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 DMS – ZnO

Os materiais chamados Semicondutores vem ganhando cada vez mais espaço nas tecnologias para telecomunicação em geral. Principalmente depois da criação do dispositivo chamado Transistor, datada de 1947, estes materiais semicondutores ganharam destaque no processo de transporte e armazenamento de informações. As principais vantagens do Transistor na época de sua criação foram a maior eficiência e durabilidade em relação aos dispositivos que também funcionavam como controladores de fluxo elétrico.

Uma classe destes semicondutores que desperta bastante interesse entre pesquisadores que buscam aplicações na chamada Spintrônica são os Diluted Magnetic Semicondutores (DMS) ou Semicondutores Magnéticos Diluídos (SMDs). A Spintrônica (WOLF et al, 2001) se baseia, no spin e em seu grau de liberdade, e oferece maiores vantagens em comparação à eletrônica, que se baseia somente no elétron e na sua capacidade de transporte de informação.

Estes DMS são diferenciados, pois, permitem que propriedades magnéticas e ópticas de dopantes se aliem às propriedades semicondutoras da matriz, agregando maior versatilidade ao produto final. Como os íons magnéticos são diluídos na rede a deformação gerada pela introdução destes íons é tão pequena que não altera as propriedades elétricas do semicondutor.

A exigência para que estes DMSs sejam aplicáveis na Spintrônica é que apresentem propriedades de ferromagnetismo à temperatura ambiente (RTFM), pois, é importante que sejam evitados gastos maiores com outros dispositivos isolantes ou reguladores de

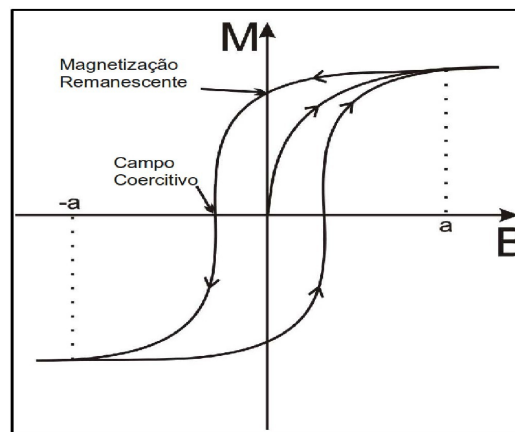
---

<sup>1</sup> Revisado pelo orientador

**Orientando** – Hermínia Veridiana dos Santos Pessoni / **Orientador** – Adolfo Franco Júnior

temperatura.

Para se verificar ferromagnetismo, é necessário que a amostra em análise apresente como resultado da aplicação de campos magnéticos variáveis (com valores negativos e positivos de diversos módulos) uma curva bem característica chamada curva de histerese. Esta curva nos mostra que não há uma linearidade de resposta da magnetização com o campo aplicado, mesmo porque, amostras ferromagnéticas possuem um coeficiente de permeabilidade magnética não linear. A curva de histerese pode ser vista na Figura 1.



**Figura 1** – Curva de histerese característica de materiais ferromagnéticos.

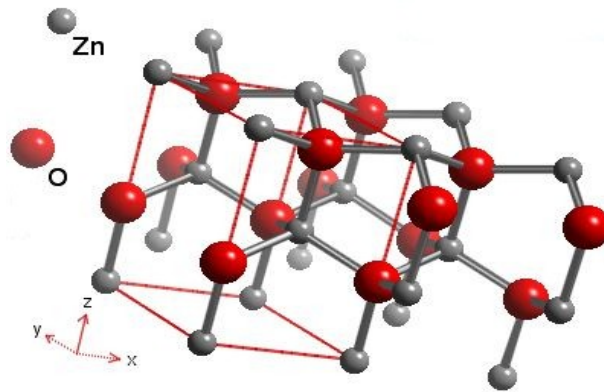
A origem deste comportamento vem da existência de spins desemparelhados na amostra que tendem a se direcionarem no sentido do campo magnético aplicado. Com o cessamento deste campo, ao contrário de amostras paramagnéticas e diamagnéticas, alguns spins ainda permanecem direcionados gerando assim uma magnetização remanescente.

Os DMS de maior destaque para este fim são os semicondutores II-VI. Estudos também foram realizados com semicondutores III-V que aceitavam muito bem metais de transição ou terras raras como dopantes mas que possuíam uma temperatura de Curie ( $T_c$ ), temperatura esta que determina a transição do Ferromagnetismo para o Paramagnetismo, muito baixa e assim sendo não aplicáveis à Spintrônica (OHNO, 1998).

O Óxido de Zinco (ZnO) pertence a estes DMS, é um material não-tóxico de bastante destaque não só pelas suas propriedades semicondutoras como também pelas suas propriedades ópticas. É utilizado há bastante tempo em fármacos, como bloqueador de raios UV, e como pigmento de tintas. O óxido de zinco é um semicondutor não estequiométrico do tipo n, devido à presença de defeitos nativos que podem ser gerados pela formação de vacâncias de oxigênios. O interesse pela dopagem se dá porque o ZnO é um semicondutor com band de gap de aproximadamente 3,4 eV, sendo que este valor pode ser afetado por

dopagem. (COLEMAN et al, 2006).

O ZnO é encontrado na forma cristalina wurtzita à temperatura e pressão ambientes. O arranjo é hexagonal, como pode ser visto na Figura 2, com parâmetros de rede ideais  $a=3,2495 \text{ \AA}$  e  $c=5,2069 \text{ \AA}$ . (ÖZGÜR Ü et al, 2005)



**Figura 2** - Estrutura cristalina wurtzita na forma hexagonal característica do ZnO a pressão e temperatura ambientes

O Gadolínio (Gd) é um elemento pertencente aos Lantanídeos, não abundante, classificado como terra-rara. Foi o terceiro material magnético a ser descoberto e assume estado de oxidação  $+3$ . Possui um raio iônico consideravelmente maior que do Zn, com valor de  $r=1.04 \text{ \AA}$ , sendo que o Gadolínio pode ocupar o lugar do Zn, distorcendo a rede cristalina do ZnO ou ocupar os interstícios da matriz semicondutora.

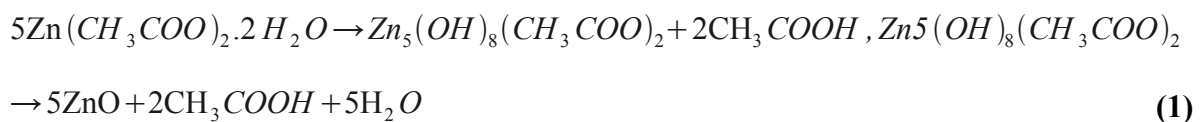
## 1.2 Reação de Hidrólise Forçada

A busca por ZnO com tamanho de partícula em escala nanométrica, que leva à obtenção de materiais de alta performance, tem incentivado o desenvolvimento de vários métodos químicos em escala de laboratório (ÖZGÜR et al, 2005). Entre os vários métodos de síntese química que estão sendo utilizados para a preparação de nanopós de ZnO pode-se citar o método sol-gel, reação por combustão via líquida, síntese hidrotérmica, spray-drying, método Pechini e o método de Hidrólise Forçada.

A precipitação de óxidos de metais em solução aquosa é um processo realizado por inúmeras reações em laboratórios e indústrias, como algumas destas citadas anteriormente. De maneira simples, na produção de um óxido de metal é suficiente a adição de uma base na solução aquosa do sal do metal (ÖZGÜR Ü et al, 2005). No entanto, a uniformidade esperada das dimensões das partículas é muito mais exigente. Fatores como: natureza do ânion do sal precursor, razão de hidrólise, temperatura de reação e quantidade de água por exemplo

podem interferir na composição e tamanho destas partículas. Uma reação que permite o controle destes parâmetros é a de Hidrólise Forçada.

A reação de Hidrólise Forçada consiste, a grosso modo, na hidrólise de um sal de metal dissolvido e aquecido em meio a um poliol de modo a favorecer a conversão de todo íon metálico no óxido deste metal, sendo que o meio poliol favorece o crescimento das partículas. A reação de Hidrólise Forçada consiste no Método Poliol já conhecido adicionado de uma etapa de hidrólise. A ausência de água no meio reacional ou seja o Método Poliol puro favorece a reação de redução, levando a formação de partículas metálicas. Por outro lado, a presença da água inibe a redução e promove a hidrólise, levando à formação de óxidos. A seguir pode ser vista parte das reações para formação de partículas de ZnO a partir do acetato de zinco dihidratado (WANG et al, 2005)



## 2 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo sintetizar nanopartículas de ZnO dopadas com íon terra-rara Gd com fase cristalina hexagonal compacta para a realização do estudo das propriedades magnéticas, visando materiais com propriedades de ferromagnetismo à temperatura ambiente para possíveis aplicações na Spintrônica.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Reação

Para a síntese do ZnO dopado com íons Gd nas proporções de 0, 3, 5, 7, 9 % de Gd foi utilizado o método de Hidrólise Forçada tendo como precursores para esta síntese os seguintes compostos:

- $Gd(NO_3)_3$  - Nitrato de Gadolínio Pentahidratado
- $Zn(CH_3COO)_2$  - Acetato de Zinco
- $Na(CH_3COO)$  - Acetato de Sódio

- 1,2 – propanodiol
- Água Deionizada

A seguir podem ser vistas as proporções utilizadas para o cálculo das massas e volumes dos reagentes, bem como a tabela com as massas pesadas. Estas proporções foram retiradas do artigo referente ao método Polioliol (POUL et al, 2003).

- 125 ml – 1,2-propanodiol
- 6,075 ml – Água Deionizada
- 0,3 mol/l – Metais (  $Gd(NO_3)_3$  e  $Zn(CH_3COO)_2$  )
- 0,9 mol/l – Base (  $Na(CH_3COO)$  )

**Tabela 1** – Massas dos sólidos pesadas para a síntese das amostras ZnO: Gd

<b>ZnO: Gd</b>						
	<b>Nº de mol/l</b>			<b>Massa p/ pesagem (g)</b>		
<b>%</b>	<b>Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub></b>	<b>Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub></b>	<b>Na(CH<sub>3</sub>COO)</b>	<b>Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub></b>	<b>Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub></b>	<b>Na(CH<sub>3</sub>COO)</b>
<b>0</b>	0,000	0,300	0,900	0,0000	8,2313	9,2284
<b>3</b>	0,009	0,291	0,900	0,4875	7,9843	9,2284
<b>5</b>	0,015	0,285	0,900	0,8124	7,8196	9,2284
<b>7</b>	0,021	0,279	0,900	1,1375	7,6551	9,2284
<b>9</b>	0,027	0,273	0,900	1,4629	7,4900	9,2284

A rota base e o arranjo experimental podem ser vistos na Figura 3:



**Figura 3** – Rota base da reação e arranjo experimental utilizado.

A reação é realizada em um sistema de refluxo, onde primeiramente todos os reagentes

são homogeneizados por agitação no balão e posteriormente levados à aquecimento. A temperatura máxima de reação é atingida após 20 min de aquecimento e tem valor 150° C. Esta temperatura é ditada pelo álcool utilizado.

A reação não exige tratamento térmico posterior. A existência da etapa de aquecimento à 100°C - 12h se dá unicamente para que os óxidos sejam separados dos hidróxidos que também são resultados da reação.

A lavagem das amostras foram efetuadas por processo de centrifugação adicionando água em quatro processos e acetona nos dois últimos.

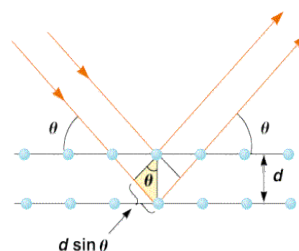
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Difração de raios-X (XRD)

A análise da estrutura cristalina foi realizada por meio de difração de raios-X.

O método de difração de raios-X corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos. Os raios-X ao atingirem um material podem ser espalhados elasticamente, sem perda de energia pelos elétrons de um átomo. Sob o ponto de vista da física ondulatória, pode-se dizer que a onda eletromagnética é instantaneamente absorvida pelo elétron e reemitida; cada elétron atua, portanto, como centro de emissão de raios-X. Deste imediatismo de resposta dos elétrons que surgiu a idéia de reflexão proposta pelos Bragg, pai e filho (1913). Se os átomos que geram este espalhamento estiverem arrançados de maneira sistemática, como em uma estrutura cristalina, apresentando entre eles distâncias próximas ao do comprimento de onda da radiação incidente, pode-se verificar que as relações de fase entre os espalhamentos tornam-se periódicas e que efeitos de difração dos raios-X podem ser observados em vários ângulos. (CULLITY, 1978)

A Lei de Bragg (eq. 1) descreve as situações de interferência construtiva e destrutiva do raio-X que passa por um material cristalino, onde  $d$  é a distância interplanar,  $\theta$  é o ângulo de incidência da onda,  $\lambda$  é o comprimento da onda utilizada (raios-X) e  $n$  é o número que identifica o plano. A figura a seguir é um desenho esquemático das reflexões em um cristal.



**Figura 5** – Difratometria de raios-X

$$n \lambda = 2d \sin(\theta) \quad (2)$$

Para materiais policristalinos existem algumas diferenças no método de caracterização estrutural por difração de raios-X. É utilizado o chamado método do Pó, ou também conhecido como método de Debye-Sherrer. A diferença é que deverão ser somadas as contribuições de todos os cristais que difrataram o raio. (CLEARFIELD et al, 2008)

O Difratorômetro de raios-X utilizado fornece um gráfico de análise que relaciona picos que representam as intensidades das ondas resultantes da difração que interferiram com os ângulos de incidência do raio que gerou aquela dada carta de difração. Quando o resultado da difração é comparado com cartas presentes na literatura, estabelecidas para grande número de materiais, pode-se inferir se o material obtido condiz com o esperado, ou seja, se a fase cristalina se formou corretamente, pois para cada pico do difratograma pode ser atribuído um número chamado de índice de Müller (CULLITY, 1978) que corresponde, cada um, à um plano cristalino onde ocorreu a reflexão. Estes índices estão relacionados a vetores presentes na rede recíproca do material. A Figura 6 apresenta os resultados das difratometrias das amostras de ZnO: Gd já catalogados os índices de Müller.

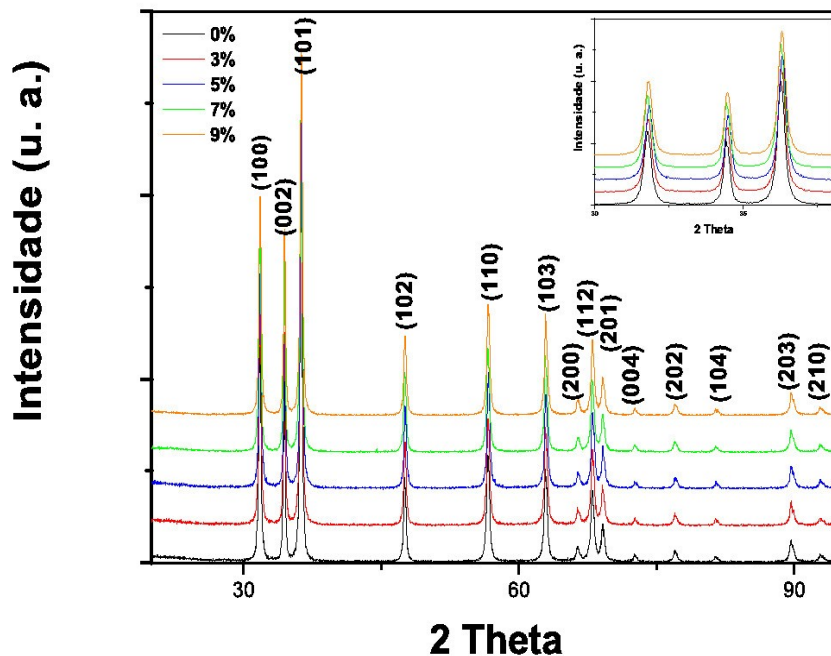


Figura 6 – Difratomogramas das amostras de ZnO: Gd

Com resultados de Difratometria foi possível, através de softwares de refinamento de

dados (Powder X e Unitt cell), obter os parâmetros de rede e o volume das células unitárias que correspondem às células de menor volume para o arranjo hexagonal descrito. Os diâmetros médios dos cristalitos das amostras foram calculados pela equação de Sherrer (eq. 3) (CLEARFIELD et al, 2008) onde  $D$  é o diâmetro médio das partículas,  $\lambda$  é o comprimento de onda da radiação utilizada ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$  para radiação  $K_{\alpha}$  do cobre),  $\theta$  é o ângulo da posição do pico mais intenso do difratograma e  $\beta$  é o valor da largura máxima do pico à meia altura, sendo esse valor corrigido para minimizar erros através da correção de Warren (eq. 4), onde  $\beta_{amostra}^2$  é a largura máxima à meia altura do pico de difração mais intenso da amostra e  $\beta_{padrão}^2$  é a largura máxima à meia altura do pico de difração mais intenso de um padrão, no caso deste trabalho o  $SiO_2$  foi utilizado como padrão (CLEARFIELD et al, 2008).

$$D = \frac{0.89 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

$$\beta = \sqrt{\beta_{amostra}^2 - \beta_{padrão}^2} \quad (4)$$

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de rede e volumes das células unitárias obtidos pelos softwares de refinamento e os diâmetros dos cristalitos obtidos pela equação de Sherrer.

**Tabela 3** - Parâmetros de rede, volume das células unitárias e diâmetros dos cristalitos.

<b>ZnO: Gd</b>					
<b>Gd (%)</b>	<b>a (Å)</b>	<b>c (Å)</b>	<b>c/a</b>	<b>Volume (Å<sup>3</sup>)</b>	<b>Diâmetro (nm)</b>
0	3,2492	5,2050	1,6019	47,5882	34
3	3,2503	5,2061	1,6017	47,6317	33
5	3,2486	5,2035	1,6018	47,5566	34
7	3,2495	5,2050	1,6018	47,5976	36
9	3,2496	5,2037	1,6018	47,5503	34

#### 4.2 Densidade (cálculo)

As densidades dos materiais foram calculadas de forma bastante simples, utilizando a equação a seguir, onde  $D_{ZnO:Gd}$  é a densidade a ser calculada, os  $M_s$  são as massas



atômicas de cada elemento indicado,  $V_{cel.unit.}$  é o volume da célula unitária obtido anteriormente com os resultados dos difratogramas mas que para este cálculo deverá estar em  $cm^3$ ,  $N_0$  é o número de Avogadro e x corresponde ao número de mols de Gd que está presente na amostra. O produto por 2 se dá pois cada célula unitária contém duas estruturas completas de ZnO: Gd.

$$D_{ZnO:Gd} = \frac{2 \cdot ((1-x)M_{Zn} + (x)M_{Gd} + M_O)}{V_{cel.unit.} \cdot N_0} \quad (5)$$

A Tabela 4 apresenta o resultado do cálculo da densidade, bem como as grandezas utilizados para este cálculo.

**Tabela 4** – Densidades calculadas das amostras de ZnO: Gd

<b>ZnO: Gd</b>			
<b>Gd (%)</b>	<b>Massa Atômica ( u.m.a. )</b>	<b>Volume ( <math>10^{-24} cm^3</math> )</b>	<b>Densidade ( <math>g/cm^3</math> )</b>
0	81,3900	47,5882	5,6821
3	84,1458	47,6317	5,8691
5	85,9830	47,5566	6,0067
7	87,8202	47,5976	6,1298
9	89,6574	47,5503	6,2642

### 4.3 Magnetometria (VSM)

Foram realizadas medidas de Magnetometria de Amostra Vibrante (VSM) em todas as amostras sintetizadas utilizando porta amostra de material polimérico acrílico para evitar interferências magnéticas. Os campos magnéticos aplicados variaram de -1200 à 1200 Oe nas amostras dopadas com 3, 5 e 9% de Gd, e de -2000 à 2000 Oe nas amostras de ZnO puro e dopada com 7% para que a magnetização de saturação fosse observada.

As Figuras 7 e 8 apresentam as curvas de Magnetização resultantes da magnetometria das amostras de ZnO: Gd já diminuídos da curva de ZnO puro.

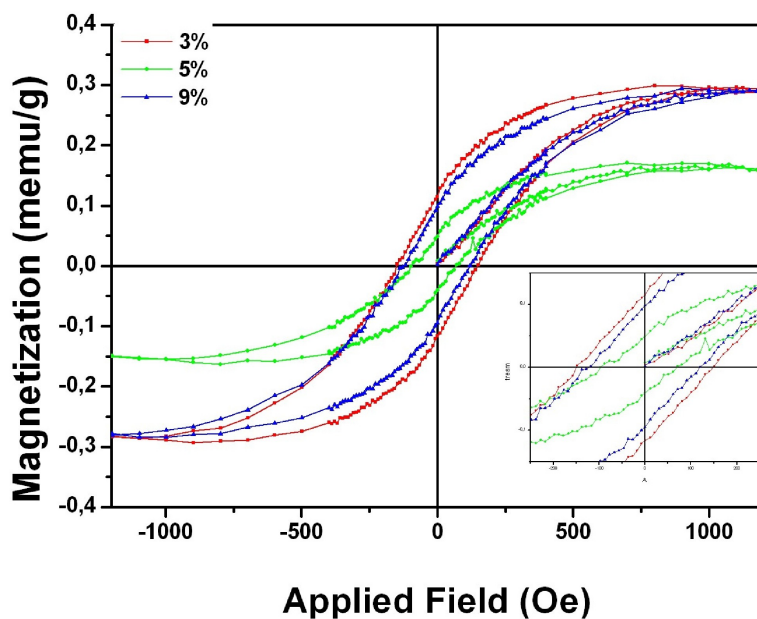


Figura 7 – Curvas de Magnetização referentes ao ZnO: Gd dopado nas proporções de 3, 5 e 9% de Gd

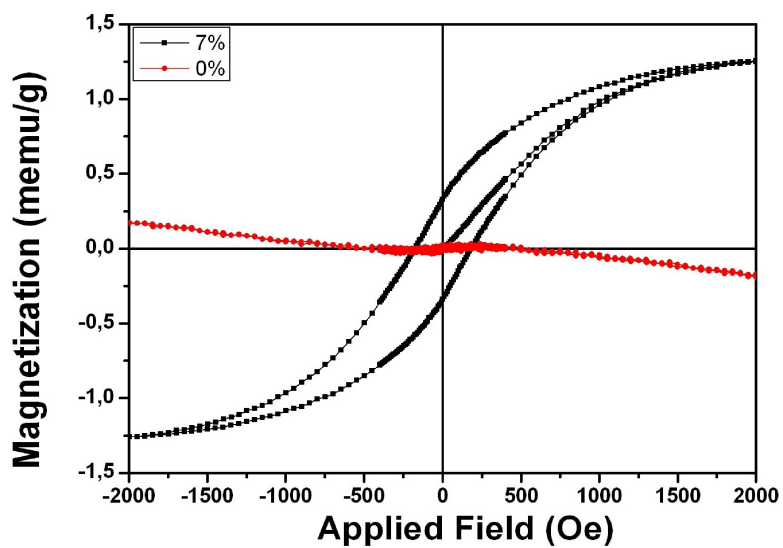


Figura 8 – Curvas de Magnetização referentes ao ZnO: Gd dopado nas proporções de 0 e 7 de Gd

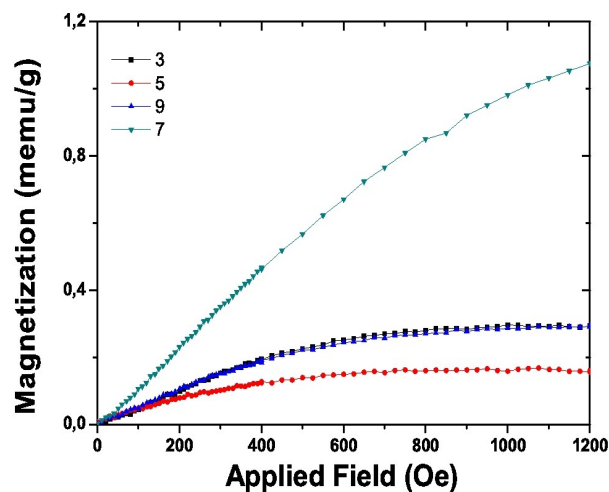
A Tabela 3 apresenta valores de Magnetização Remanescente ( $M_r$ ), que é aquela presente mesmo no cessamento do campo aplicado, e Campo Coercitivo ( $H_c$ ), que aquele necessário para desmagnetizar uma amostra que esteja magnetizada.

**Tabela 3** – Dados de magnetização de remanescência e campo coercitivo das amostras de ZnO: Gd

<b>ZnO: Gd</b>		
<b>Gd (%)</b>	<b>Mr (memu/g)</b>	<b>Hc (Oe)</b>
3	0,121	142,63
5	0,039	74,03
7	0,346	180,83
9	0,101	125,00

A Figura 9 apresenta as Curvas Virgens (VC ou Virgin Curve) que são os primeiros quadrantes das histereses das amostras saindo do zero.

A curva referente à amostra dopada com 7% de Gd não alcança a saturação no gráfico devido ao fato desta amostra necessitar de campos Magnéticos maiores para saturar.



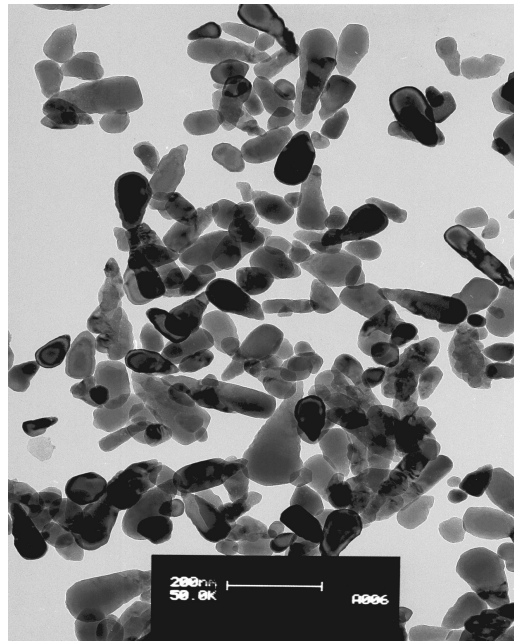
**Figura 9** – Curvas virgens de magnetização referentes as ZnO: Gd

#### 4.4 Microscopia Eletrônica de Transmissão

A Microscopia Eletrônica de Transmissão permite a observação de detalhes morfológicos de microestruturas e também da estrutura cristalina dos materiais.

A Microscopia foi realizada com o objetivo de verificar os contornos das partículas obtidas na sinterização. Como o material é nanométrico fez-se necessária a utilização da técnica de Transmission Electron Microscopy (TEM) ou Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET). A Figura 9 apresenta o resultado da Microscopia Eletrônica de

Transmissão da amostra dopada com 3% de Gd.



**Figura 10** – Microscopia da amostra dopada com 3% de Gd

De posse deste resultado é avalia-se a possibilidade da compactação das amostras para possíveis sinterizações no intuito de obter futuramente materiais cerâmicos

É importante ressaltar que as partículas observadas na Figura 10 não correspondem aos cristalitos, os quais foram calculados os diâmetros médios, e sim à partículas que são aglomerados destes cristalitos.

## 5 DISCUSSÕES

Pelo resultado da Difractometria (Figura 6) é possível afirmar a formação de nanopartículas com fase cristalina wurtzita, que apresenta célula unitária no sistema hexagonal compacto característica do ZnO a pressão e temperatura ambientes. Esta afirmação bem como a catalogação dos picos com dos índices de Müller foram feitos por meio de comparação com a carta referente ao ZnO puro (PCPDFWIN 36-1451).

Como não houve deslocamento dos picos com o acréscimo do material dopante, ou

seja, todos os picos no difratograma, mesmo variando a intensidade, apareceram nos mesmos ângulos de incidência, é possível inferir que o íon Gd esteja entrando nos interstícios da rede semicondutora, pois, se assim não fosse, a entrada do Gd no lugar do Zn (Gd- raio iônico 40% maior que Zn) promoveria uma distorção na rede ocasionando o deslocamento destas bandas no difratograma.

Com os resultados de magnetometria, foi identificada a presença de ferromagnetismo à temperatura ambiente em todas as amostras dopadas representado pelas curvas de histereses presentes nas Figuras 7 e 8, como o esperado. A magnetometria da amostra de ZnO puro resultou em uma curva característica de materiais diamagnéticos, que apresentam resposta de magnetização contrária e normalmente muito fraca em relação ao campo Magnético aplicado. Este resultado já havia sido obtido em outros trabalhos (KARMAKAR et al, 2007) confirmando a validade do método reacional escolhido.

Ainda não foi possível identificar o motivo pelo qual as repostas de magnetização de remanescência e campo coercitivo não seguem um padrão de crescimento com o acréscimo de material magnético dopante. Sabe-se que este não é um problema isolado devido a amostra, pois, estas amostras foram sintetizadas novamente e geraram os mesmos resultados. O fato da magnetização da amostra dopada com 5 % ser menor que da amostra dopada com 3 % de Gd é um resultado já conhecido de outro trabalho, onde foi utilizada outra rota de síntese. (DAKHEL et al, 2010)

Acredita-se que a origem do ferromagnetismo está na existência de defeitos da rede, pois, a valência +3 do Gd e os resultados do difratograma levam a crer que o Gd não substitui o Zn, possibilitando assim, a existência de spins desemparelhados dispersos na matriz semicondutora que são a fonte do ferromagnetismo.

Pelo resultado da Microscopia é possível concluir que os contornos das partículas observados favorecem a compactação e a sinterização das amostras, quando estes procedimento forem realizados.

#### **4 CONCLUSÕES**

O método reacional escolhido se mostrou eficiente para a obtenção de pós nanométrico de ZnO dopados com íons Gd na forma cristalina desejada à temperaturas

relativamente baixas em relação a outros métodos reacionais também utilizados para síntese desta matriz.

Como esperado, as amostras dopadas apresentaram ferromagnetismo à temperatura ambiente, mas não apresentaram linearidade de resposta de magnetização com o acréscimo de dopante na matriz.

Ainda que a magnetização destas amostras não apresente valores consideravelmente altos, é importante a observação dos valores de campo Coercitivo, principalmente das amostras dopadas com 3,7 e 9%, pois, estas apresentam valores que estão na faixa atualmente aplicável na tecnologia de gravação de Cds e fitas magnéticas.

Estudos começaram a ser realizados para a investigação da Tc (temperatura de Curie) da amostra dopada com 7% de Gd, mas ainda, por empecilhos experimentais, não foram concluídos. Sabe-se que esta temperatura ultrapassa os 300° C.

Muito estudo ainda deve ser feito quanto a origem das propriedades magnéticas e o comportamento das mesmas com a variação da temperatura. Investigações relacionadas às propriedades elétricas destes materiais também deverão ser realizados a fim de se concluir a possibilidade ou não de aplicação na Spintrônica. Trabalhos futuros de pós-graduação possibilitarão a melhor investigação destas novas propriedades.

## **BIBLIOGRAFIA**

CLEARFIELD, A.; REIBENSPIES, J.; BHUVANESH, N., **Principles and Applications of Powder Diffraction**, Blackwell Publishing Ltd, 2008.

COLEMAN, V. A.; JAGADISH, C. **Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures. s.l.:** Elsevier Limited, 2006. Cap. 1

CULLITY, B. D.; **Elements of X-ray diffraction**. 2 ed., Addison-Wesley, 1978.

DAKHEL, A. A.; EL-HILO, M., **Ferromagnetic nanocrystalline Gd-doped ZnO powder synthesized by coprecipitation**. J. Appl. Phys. 2010, Vol. 107 (123905), pp. 1 -6

OHNO, H. **Making nonmagnetic Semiconductors Ferromagnetic.** Science. 1998, Vol. 281, pp. 951-956

ÖZGÜR, Ü.; ALIVOV, YA.I.; LIU, C.; TEKE, A.; RESHCHIKOV, M. A.; DOĞAN, S.; AVRUTIN, V.; CHO, S.-J.; MORKOÇ, H. **A comprehensive review of ZnO materials and devices.** J. Appl. Phys. 2005, Vol. 98 (041301) , pp. 1 – 103.

POUL, L.; AMMAR, S.; JOUINI, N.; FIEVET, F.; VILLAIN, F., **Synthesis of Inorganic Compounds (Metal, Oxide and Hydroxide) in Polyol Medium: A Versatile Route Related to the Sol-Gel Process.** Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2003, Vol. 26, pp. 261-265.

KARMAKAR, D.; MANDAL, S. K.; KADAM, R. M.; PAULOSE, P. L.; RAJARAJAN, A. K.; NATH, T. K.; DAS, A. D.; PA, G. P., **Ferromagnetism in Fe-doped ZnO nanocrystals. Experiment and theory.** Physical Review. 2007, Vol. 75 (144404), pp. 1-14.

WANG, H.; XIE, C.; ZENG, D., **Controlled growth of ZnO by adding H<sub>2</sub>O.** Journal of Crystal Growth. 2005, Vol. 277, pp. 372-377.

WOLF, S.; AWSCHALOM, D. D.; BUHRMAN, R. A.; DAUGHTON, J. M.; VON MOLNÁR, S.; ROUKES, M. L.; CHTCHELKANOVA, A. Y.; TREGER, D. M.. **Spintronics: A Spin-Basead Eletronicas.** Science. 2001, Vol. 249, p. 1488-1495