

TEORIA DE CAMPO MÉDIO COM CLUSTERS CORRELACIONADOS APLICADA A SISTEMAS DESORDENADOS: COMPETIÇÃO ENTRE VIDRO DE SPIN, FERROMAGNETISMO E ANTIFERROMAGNETISMO

MATEUS SCHMIDT¹; FÁBIO MALLMANN ZIMMER²

¹Universidade Federal de Santa Maria – mateusing85@gmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria – fabiozimmer@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Na natureza é possível identificar diferentes fases da matéria, nas quais um dado sistema físico apresenta estados de agregação com propriedades distintas. Portanto, torna-se interessante estudar os fatores que levam um material à uma transição de fase (TF). Identificar em que condições uma TF ocorre permite otimizar a utilização de determinados materiais nas mais diversas áreas de atuação do homem, principalmente no desenvolvimento de novas tecnologias.

Exemplos interessantes de transições de fase são encontradas em uma classe de materiais que apresentam diferentes propriedades magnéticas abaixo de uma certa temperatura crítica (T_c) (KADANOFF, 2009). Estes materiais magnéticos destacam-se pelas suas aplicações em novas tecnologias, como os dispositivos utilizados para armazenamento de dados.

Uma das fases interessantes, que vem sendo alvo de muitos estudos recentes (MORAIS et al., 2013), é a fase vidro de spin (VS). O VS é um estado magnético caracterizado pelo congelamento aleatório dos spins abaixo de uma T_c . Acredita-se que o surgimento da fase VS está relacionado à desordem e a frustração, que podem ocorrer a partir da aleatoriedade das interações magnéticas (MYDOSH, 1996). Alguns materiais magnéticos apresentam não somente a fase VS, mas também as fases ferromagnética (FE) e antiferromagnética (AF) (MARCANO, 2010). Na fase ferromagnética os spins se alinham no mesmo sentido. Já a fase antiferromagnética é caracterizada pelos spins alinhados em sentidos opostos. Portanto, o estudo sobre a competição entre as fases VS, FE e AF torna-se muito interessante.

Do ponto de vista teórico, a modelagem de sistemas físicos tem auxiliado na compreensão do comportamento da matéria, especialmente em se tratando de sistemas magnéticos. Muitas vezes estes modelos não têm solução analítica conhecida e é necessário aplicar métodos aproximativos buscando obter resultados qualitativamente corretos e que estejam o mais próximo possível dos resultados exatos. Um exemplo para o estudo da fase VS é o modelo de van Hemmen (vH), que representa um sistema de spins de Ising (que podem assumir dois estados: +1 ou -1) com interações desordenadas, de modo que é possível encontrar as fases VS, FE ou AF, dependendo da intensidade da interação de acoplamento ferro e antiferromagnética e da desordem do sistema (ZIMMER et al., 2012). Entretanto, o estudo analítico desse modelo usa a Teoria de Campo Médio (TCM) usual, que pode produzir resultados qualitativamente bons, porém quantitativamente equivocados.

Como método aproximativo melhorado em relação à TCM tem-se a Teoria de Campo Médio com Clusters Correlacionados (TCMCC). A TCMCC, recentemente publicada por Daisuke Yamamoto (2009), considera a matéria dividida em aglomerados (clusters) correlacionados entre si e tem fornecido bons resultados para diferentes estruturas e dimensões em modelos clássicos de spins

com interações FE e AF. Portanto, um dos objetivos deste trabalho é estender a aplicação da TCMCC a sistemas desordenados, como o modelo de vH.

Neste trabalho analisamos em detalhes a TCMCC e, com isso, pretendemos aplica-la ao modelo vH de spins de Ising, com isso pretendemos estudar os resultados teóricos para esta competição entre fases magnéticas VS, FE e AF dos obtidos experimentalmente. Desta forma, buscamos compreender melhor o que ocorre nestes sistemas magnéticos, especialmente nas regiões de transição de fase.

2. METODOLOGIA

Estudamos o modelo de VH usando clusters correlacionados no lugar de spins canônicos, em que a TCMCC é adaptada ao sistema em questão. Através da análise da Teoria de Campo Médio com Cluster Correlacionados aplicada ao modelo de van Hemmen desenvolvemos programas em linguagem Fortran 95 para resolver auto-consistentemente as equações não lineares propostas pela TCMCC. Neste trabalho tratamos a estrutura de rede quadrada.

Na TCMCC, a particular análise do comportamento das redes de spins, que obtém o resultado exato no interior de um dado cluster, também considera as correlações entre aglomerados vizinhos e permite, por simetria, obter resultados muito bons sobre o comportamento da susceptibilidade magnética, calor específico, energia interna e magnetização para sistemas infinitos próximos da criticalidade. Através dos resultados obtidos com a aplicação da TCMCC ao modelo de vH, obtemos diagramas que permitirão uma compreensão dos efeitos das diferentes intensidades nas interações VS, FE e AF sobre as fases apresentadas pelo sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados iniciais demonstram que a TCMCC, aplicada ao tratamento das interações ferromagnéticas e antiferromagnéticas no modelo desordenado de vH com clusters, apresenta uma mudança na temperatura de transição para a fase vidro de spin (T_g) em comparação aos resultados obtidos com o tratamento utilizando a TCM usual. Estes resultados são discutidos a seguir.

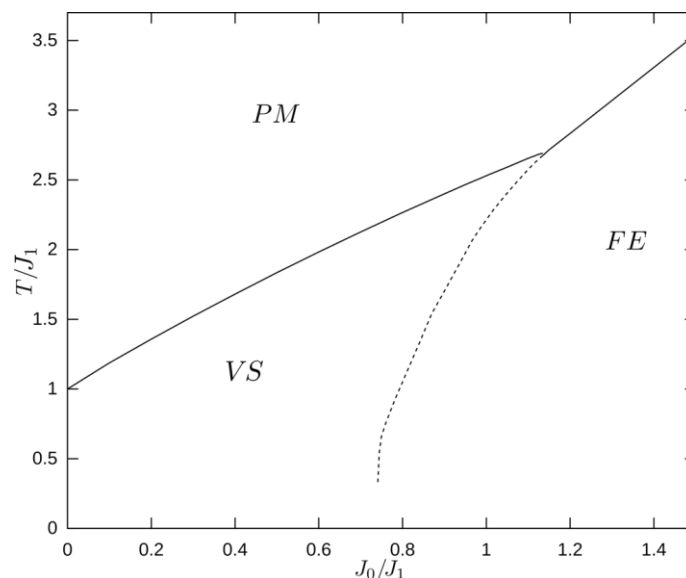


Figura 1 - Temperatura (T/J_1) versus interação ferromagnética (J_0/J_1).

A Figura 1 apresenta um diagrama de fases da temperatura (T/J_1) pela intensidade do acoplamento FE (J_0) para uma intensidade de desordem (J_1). O diagrama da competição entre ferromagnetismo e vidro de spin demonstram claramente que a fase VS tem sua temperatura crítica (T_g) aumentada pelas interações ferromagnéticas até um certo valor da razão J_0/J_1 , no qual a fase ferromagnética torna-se predominante no comportamento do sistema. Neste diagrama podemos perceber um comportamento padrão em sistemas com competição entre as fases FE e VS: para altas temperaturas o sistema apresenta a fase paramagnética (PM), caracterizada pela ausência de ordenamento magnético e, portanto, ausência de magnetização espontânea; para valores baixos da razão J_0/J_1 o sistema apresenta a fase VS; e ainda, quando a razão J_0/J_1 atinge um valor suficientemente alto, o sistema apresenta a fase FE.

Percebe-se também que o aumento na interação ferromagnética estimula a fase VS, o que torna-se claro com o aumento da T_g , até um certo valor de J_0/J_1 para o qual a intensidade da desordem é superada pela tendência de acoplamento FE do sistema.

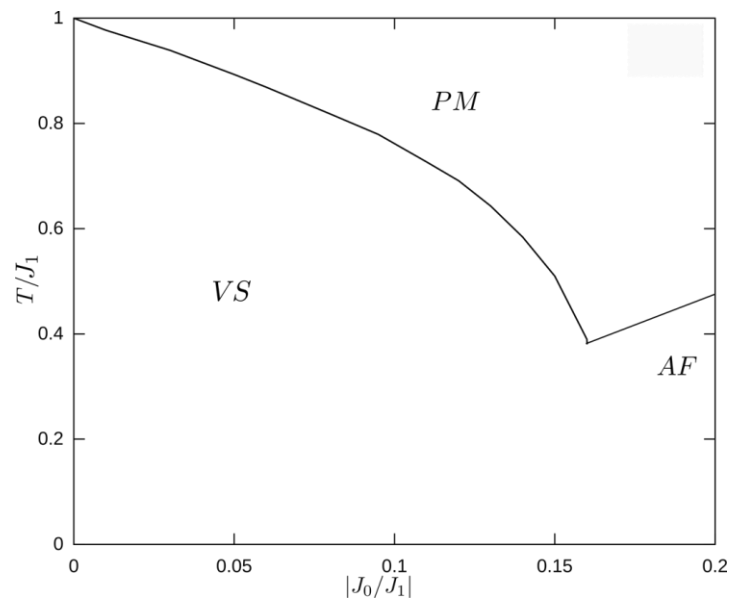


Figura 2 - Temperatura (T/J_1) versus o módulo da interação AF ($|J_0/J_1|$).

Na Figura 2 é apresentado um diagrama de fases da temperatura (T/J_1) pelo módulo da interação antiferromagnética ($|J_0/J_1|$). Neste diagrama podemos ver que para valores relativamente baixos da interação AF (menos de 20% do valor da interação VS) o sistema deixa de apresentar ordem VS e passa a apresentar ordenamento AF abaixo de uma certa T_c . Estes resultados são deveras interessantes pois a aproximação feita pela TCMCC, além de melhorar os valores para a T_c das fases ferromagnética e antiferromagnética, mostra que a T_g pode ser alterada pela variação nas interações de acoplamento J_0 . Estes são resultados que concordam com os obtidos experimentalmente (MICHEL, 2011).

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com este trabalho permitem concluir, primeiramente, que a TCMCC é um excelente método aproximativo para o tratamento de sistemas magnéticos, não somente em sistemas com interações ferromagnéticas,

como já comprovado por Yamamoto (2009). Estes importantes resultados demonstram que a TCMCC pode ser útil no estudo de sistemas com interações desordenadas, que é o caso dos sistemas representados pelo modelo de vH.

As figuras 1 e 2 demonstram que a fase vidro de spin tem sua temperatura crítica alterada pelo aumento da intensidade das interações J_0 , o que não é obtido com o modelo de vH puramente tratado com a TCM, mas que é obtido experimentalmente. Isso demonstra a utilidade destes resultados no entendimento do comportamento de sistemas físicos na região próxima da transição de fase.

Concluimos também que a TCMCC é uma poderosa ferramenta, cujas aplicações a sistemas magnéticos podem ser extendidas, por exemplo, para uma abordagem com clusters maiores e/ou outras geometrias de rede, sendo este o próximo objetivo deste projeto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KADANOFF, L. P. More is the same; phase transitions and mean field theories. **Journal of Statistical Physics**, v. 137, p. 777-79, 2009.

MARCANO, N.; MAGALHÃES, S. G.; COQBLIN, B., GÓMES SAL, J. C., ESPESO, J. I.; ZIMMER, F. M.; IGLESIAS, J. R. Theoretical models for a complex magnetic systems. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 200, n. 012111, 2010

MICHEL J. P. G.; HENELIUS, P. Collective Phenomena in the $\text{LiHo}_x\text{Y}_{1-x}\text{F}_4$ Quantum Ising Magnet: Recent Progress and Open Questions. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 320, n. 012001, 2011.

MORAIS, C.V.; LAZO, M.J.; ZIMMER, F.M.; MAGALHÃES, S.G. Inverse transitions in the Ghatak–Sherrington model with bimodal random fields. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 392, p. 1770-1775, 2013

MYDOSH, J. A. Disordered magnetism and spin glasses. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 157-158, p. 606-610, 1996.

YAMAMOTO, D. Correlated cluster mean-field theory for spin systems. **Physical Review B**, v. 79, p. 144427-144436, 2009.

ZIMMER, F. M.; BERGER, I. C.; MAGALHÃES S.G. Inverse freezing in the van Hemmen fermionic Ising spin glass with a transverse magnetic field. **Physics Letters A**, v. 376, p. 566-572, 2012.