

Press Release - Tese de Doutorado

Autor: Alexandre Silveira

E-mail: huyarius@gmail.com

Orientador: Rubem Erichsen Junior

Coorientador: Sérgio Garcia Magalhães

Transições de fases em sistemas magnéticos com frustração e desordem em grafos aleatórios

A Magnetita é um dos materiais magnéticos mais antigos descobertos. Pierre Curie observou que acima de certas temperaturas a magnetização de certos materiais desaparecia. Essa fase onde há ausência de magnetização é conhecida como paramagnética, e a fase onde ocorre magnetização a baixas temperaturas é denominada de ferromagnética. Lenz e seu aluno Ising propuseram um modelo para magnetismo. Porém, a solução de Ising para uma dimensão mostrava a ausência de uma transição de fase. Apesar desse fracasso, a proposta do modelo envolvendo interações entre momentos magnéticos microscópicos estava correta. A origem dos momentos magnéticos é dado por propriedade intrínseca do elétron, o spin. As interações de troca entre os spins são explicadas pela mecânica quântica e ocorrem pela existência do princípio de exclusão de Pauli. A mecânica estatística, desenvolvida por Ludwig Boltzmann e Josiah Willard Gibbs, estuda como fenômenos macroscópicos, como transições de fase, tem origem pelas complexas interações entre os constituintes microscópicos. Uma primeira tentativa de solução para o modelo de Ising em dimensões maiores é o método de campo médio. Esse método substitui as interações entre vizinhos da rede por um campo magnético efetivo, definido pelas flutuações da magnetização do próprio spin. Contudo, no campo médio, todos spins interagem entre si, o que constitui uma aproximação não realística de sistemas físicos reais. No modelo de Ising para o ferromagnetismo, as interações de troca são uniformemente positivas. Por volta de 1970, experimentos em ligas magnéticas apontavam a existência de uma transição de fase. Nas medidas experimentais, abaixo de uma certa temperatura uma cúspide na susceptibilidade magnética aparecia. Nessas ligas, os átomos que possuem momento magnético estão diluídos, localizados em posições aleatórias no metal hospedeiro. As interações entre essas impurezas magnéticas são indiretas, através dos elétrons de condução do metal. Essa interação é conhecida pelos nomes dos autores Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY). O sinal e o módulo dessas interações tem carácter oscilatório que depende da distância entre as impurezas. Essa desordem nas interações pode originar frustração, isto é, a impossibilidade de um spin de satisfazer simultaneamente todos seus acoplamentos com impurezas vizinhas. Essa frustração local é transferida ao longo do material resultando numa degenerescência nos níveis de energia. Abaixo de um certa temperatura, a fase termodinâmica em que essas ligas magnéticas encontram-se é denominada de *Spin Glass*. Nessa fase, os spins encontram-se *congelados* em direções aleatórias, sendo assim uma fase que não exhibe magnetização macroscópica. O primeiro modelo teórico para explicar esses *Spin Glasses* foi proposto por Edwards e Anderson em 1975. Ao invés da magnetização os autores propuseram como parâmetro de ordem a autocorrelação temporal dos spins. Para sua solução tentativa Edwards e Anderson utilizaram um *truque*, que envolve reescrever o logaritmo

através de uma identidade matemática. Então, o problema é resolvido utilizando réplicas do mesmo sistema. Esse truque viria a ser desenvolvido como um método e, juntamente com ele, um conjunto de ferramentas teóricas foram desenvolvidas. Essas ferramentas, criadas para estudar os *Spin Glasses* mostrariam ter utilidade em campos de pesquisa mais distintos, como por exemplo redes neurais. Uma das ferramentas desenvolvidas foi o estudo do problema em redes com conectividade finita. Esse é um método mais preciso que o campo médio usual porque número de interações entre sítios vizinhos é finito, que é uma característica de sistemas físicos reais. Nesta rede, os sítios são mapeados em pontos e as conexões entre esses sítios são dadas através de uma distribuição bimodal de probabilidades. Esse modelo de rede é conhecido como grafo aleatório e seu estudo teve início com Paul Erdős e Alfred Rényi. Grafos constituem um campo de pesquisa à parte, sendo utilizados para estudar a topologia de redes complexas, como por exemplo, redes de comunicações, estrutura de dados e até mesmo redes neurais.

Nesta tese, estudamos sistemas magnéticos com frustração e desordem em grafos aleatórios. Nesses grafos, no limite termodinâmico, a distribuição do número de vizinhos de um sítio é dada por uma distribuição de Poisson. O objetivo principal desse trabalho é analisar como a conectividade finita afeta o comportamento global de tais sistemas. Para esta análise traçamos, para diferentes valores de conectividade média, diagramas de fases nos planos referentes aos parâmetros macroscópicos relevantes, como por exemplo, temperatura, campo externo, campo cristalino.