



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA - MEC**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - UFPI**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PRPPG**  
**Coordenadoria Geral de Pesquisa - CGP**  
*Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Bloco 06 - Bairro Ininga*  
*Cep: 64049-550 - Teresina-PI - Brasil - Fone (86) 215-5564 - Fone/Fax (86) 215-5560*  
*E-mail: pesquisa@ufpi.br; pesquisa@ufpi.edu.br*

**Estudo das propriedades físicas do modelo XX numa cadeia diamante**  
*Natanael de Carvalho Costa (bolsista do PIBIC/UFPI), José Pimentel de Lima (Orientador,*  
*Depto de Física – UFPI)*

### **Introdução**

Em Física da Matéria Condensada, novas perspectivas foram criadas para a manipulação de estados quânticos da matéria, como por exemplo átomos frios em redes ópticas. Os modelos propostos para estes fim são sistemas de íons aprisionados, que se dividem em duas categorias: (I) os modelos spin-efetivo, em que o movimento dos íons induz uma interação efetiva entre os níveis internos e (II) os modelos de bósons interagentes, em que as vibrações (fônons) desempenham o papel de interação das partículas. A realização de um potencial de confinamento periódico numa grade óptica é um método experimental padrão. Isto permite estudo de fases quânticas em sistemas de muitos corpos que surgem em tais configurações experimentais. Dentre os modelos que é possível simular, destaca-se o modelo de spins XY( $s=1/2$ ) [1].

Por outro lado, o magnetismo quântico de baixa dimensionalidade tem sido objeto de pesquisa desde o trabalho pioneiro de Bethe [2] que vem se perpetuando durante décadas devido às suas notáveis propriedades não convencionais em baixa energia [3]. Neste contexto spin ladders desempenham papel importante.

Neste trabalho, fizemos a análise das propriedades físicas em temperatura nula e não nula do modelo XX sobre a cadeia de spins (ladders) tipo diamante. O problema mostra-se factível por diferentes métodos: teoria de perturbação usual, DMRG, Hartree-Fock e Funções de Green. Esta cadeia, tem um apelo experimental, pois há materiais que podem ser modelados por ela, tal como a *azurita* ( $\text{Cu}_{\{3\}}(\text{CO}_{\{3\}})_{\{2\}}(\text{OH})_{\{2\}}$ ).

### **Metodologia**

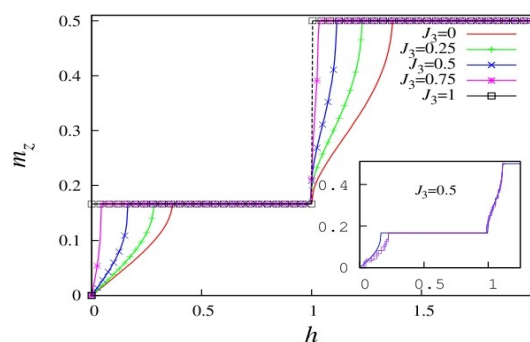
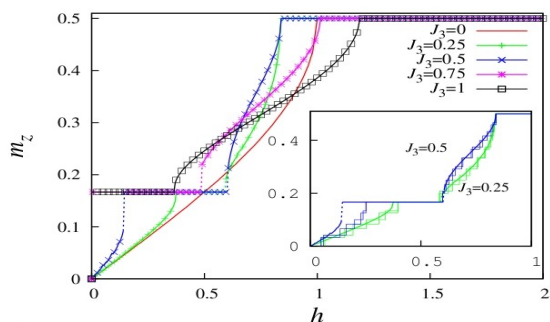
Iniciamos o trabalho introduzindo a aproximação de Hartree-Fock[4]. Esta aproximação é um método tipo campo médio, criado inicialmente para analisar as propriedades de átomos com muitos elétrons, mas que mostrou-se ser muito útil em problemas de muitos corpos, em geral. Todo o trabalho é desenvolvido sob o formalismo de segunda quantização, onde, buscando ser concisos, este último não foi introduzindo neste trabalho.

Em seguida, apresentamos o problema do modelo XX numa cadeia diamante[5], levantando a hamiltoniana do sistema e mostrando as dificuldades de solução analítica, devido aos termos quárticos envolvidos. Daí, para resolvemos o problema aproximadamente, usamos o método de Hartree-Fock, que via teorema de Wick[6], substitui os termos quárticos por termos quadráticos, deixando o problema factível.

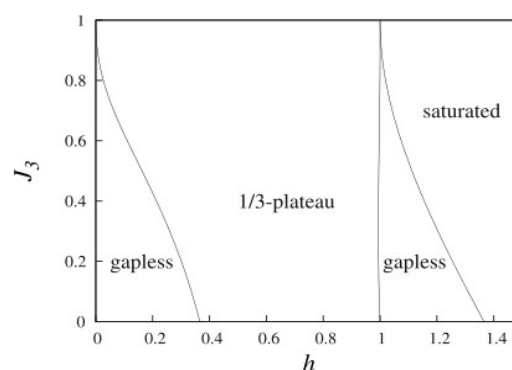
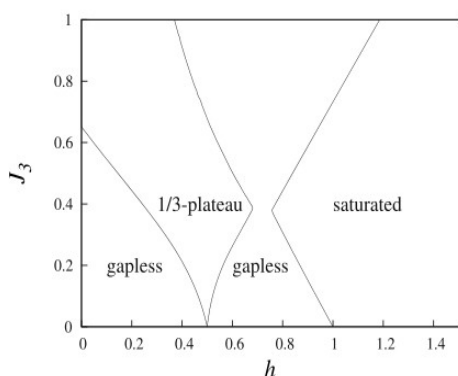
Devido o problema ter sido resolvido por um método aproximativo, não há garantias para saber se o resultado é aceitável. Desta maneira, resolvemos o mesmo problema por meio da técnica de diagonalização exata para poucos sítios, com a finalidade de podermos comparar os resultados obtidos com aqueles da técnica anterior.

### Resultados

Segue abaixo os resultados da aproximação de Hartree-Fock e da diagonalização exata para a magnetização por sítio, onde temos os seguintes parâmetros:  $J_1=1, J_2=1$  (fig1) e  $J_1=1, J_2=2$  (fig2).



Em seguida, levantamos um diagrama de fases e analisamos o calor específico.



### Conclusão

Concluindo este trabalho, interpretamos os resultados obtidos previamente, analisado a validade do método aproximativo de Hartree-Fock para a cadeia estudada. Finalizamos fazendo uma breve perspectiva acerca de possíveis resultados posteriores e da possibilidade do uso de campo médio em outras cadeias.

**Referências bibliográficas**

- [1] R Schmied, T Roscilde, V Murg, D Porras and J I Cirac, arXiv:0712.4073v2 [cond-mat.str-el] 13 Feb 2008
- [2] H. Bethe, Z. Phys. 71, 205 (1931)
- [3] *Quantum Magnetism*, Edited by U. Schollwöck, J. Richter, D.J.J. Farnell and R.F. Bishop, (Lect. Notes in Phys. 645, Springer, Berlin 2004.)
- [4] Nazareno, H. N., *Mecânica estatística e funções de green*, 2nd ed., Unb, 2010.
- [5] T. Verkholyak, J. Strecka, M. Jascur, J. Richter, *Magnetic properties of the quantum spin-1/2 XX diamond chain: The Jordan-Wigner approach*, arXiv:1004.0848v4 [cond-mat.str-el], 2011.
- [6] Mattuck, Richard D., *A guide to Feynman diagrams in the many-body problem*, 2nd ed., Dover, 1992.

Palavras-chave: Hartree-Fock. Spins ladders. Termodinâmica.