
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):

Daniel Mendonça Valente (COTEO)

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

Título do Projeto:

Introdução à teoria de sistemas quânticos abertos

Palavra-chave:

dissipação de energia, bits quânticos, transição clássico-quântico

Área de conhecimento:

Informação Quântica

Pré-requisitos desejáveis (se houver):

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

Ter cursado e ter sido aprovado(a) em Cálculo I e em Física I

Possibilidade de orientação remota:

(X) Sim

() Não

Rio de Janeiro, 18 de junho de 2026

PROJETO: **(Máximo de 3 páginas)**

Resumo: De que formas o mundo clássico emerge a partir do mundo quântico? Esta pergunta norteia este projeto de Iniciação Científica (IC), que tange aspectos fundamentais (como o famoso problema da medida na mecânica quântica) e práticos (como o desenvolvimento de tecnologias quânticas). Buscaremos dar os primeiros passos nessa linha de pesquisa levando em conta o histórico da/do estudante: estabelecemos níveis (i) inicial, (ii) intermediário, e (iii) avançado. Este projeto é uma porta de acesso à área de informação quântica e suas aplicações em computação quântica, computação neuromórfica e computação termodinâmica.

Motivação: O sucesso da teoria quântica revela-se, em um primeiro momento, pela sua capacidade de explicar os átomos reais (os da tabela periódica, com seus espectros e ligações químicas explicados pela teoria quântica). Curiosamente, a mecânica quântica aplica-se também aos sistemas descobertos ou inventados após a sua formulação. Dentre eles, destacamos os chamados átomos artificiais semicondutores e supercondutores, sistemas nanoscópicos ou microscópicos formados por muitos átomos mas que se comportam coletivamente como se fossem um único átomo. Esse fato é surpreendente. Sabemos que, para sistemas macroscópicos, vale as leis da mecânica clássica. Então qual é a fronteira em que a descrição quântica perde espaço para a clássica? Os átomos artificiais habitam exatamente essa fronteira.

Tanto os átomos artificiais semicondutores (os pontos quânticos) quanto os átomos artificiais supercondutores (os SQUIDS – *Superconducting Quantum Interference Devices*) são dispositivos de grande aplicabilidade para tecnologias quânticas. Os átomos artificiais semicondutores, por exemplo, funcionam como fontes confiáveis de fótons únicos, que por sua vez tem aplicações em computação quântica fotônica e na distribuição quântica de chaves criptográficas. Os átomos artificiais supercondutores desempenham o papel de bits quânticos em diversos computadores quânticos comerciais. O Prêmio Nobel de Física de 2025 foi agraciado ao trio John Clarke, Michel Devoret e John Martinis por demonstrarem as propriedades quânticas macroscópicas de certos circuitos supercondutores. Aqui no CBPF, temos pesquisa experimental na área de tecnologias quânticas, em especial os bits quânticos supercondutores, além de diversas linhas de pesquisa teórica conduzidas por pesquisadores da instituição. Em particular, o Dr. Daniel Valente se dedica a compreender sistemas quânticos abertos, longe do equilíbrio termodinâmico.

Neste projeto, pretendemos compreender por que é tão difícil preparar e operar estados quânticos puros em átomos artificiais ou reais. Veremos que o mundo quântico é frágil, dando lugar ao clássico. Como isso acontece? Até que ponto é possível evitar que aconteça? É possível transformar essa aparente desvantagem em recurso energético e computacional? Essas são as perguntas motivadoras deste Projeto de Iniciação Científica (IC).

Objetivos: o objetivo central deste projeto de IC é servir de uma introdução à teoria quântica de sistemas dissipativos. O projeto vai além do que costuma ser estudado nos cursos de graduação, geralmente focados em sistemas quânticos isolados (não dissipativos). Propomos três níveis. A/o estudante poderá escolher um ou mais dos tópicos abaixo, a depender de seu conhecimento prévio, de suas preferências, bem como de seu ritmo natural de aprendizagem.

(i) Nível inicial: estudaremos um modelo matemático capaz de descrever o surgimento da irreversibilidade (dissipação de energia) a partir de um sistema clássico reversível. Este modelo é conhecido como “modelo sistema-mais-reservatório” e serve de base para o famoso modelo Caldeira-Leggett (que descreve dissipação em átomos artificiais supercondutores). O objetivo aqui é compreender como deduzir uma equação de Langevin clássica para uma partícula acoplada aos modos harmônicos de vibração do seu ambiente.

(ii) Nível intermediário: estudaremos a dinâmica quântica de sistemas isolados e compararemos com a dinâmica quântica para sistemas abertos, em particular as chamadas equações mestras quânticas na forma de Lindblad. O objetivo aqui é compreender o significado da coerência quântica, a diferença entre estados puros e misturas estatísticas, bem como o significado da unitariedade da equação de Schrödinger aplicada a um sistema simples de dois níveis de energia. Buscaremos comparar com as implicações fenomenológicas de uma equação mestra quântica na forma de Lindblad (sem precisar deduzir a equação, mas compreendendo seu significado).

(iii) Nível avançado: investigaremos a dinâmica de sistemas quânticos abertos com poucos níveis de energia sujeitos a gradientes térmicos, com foco em verificar a origem microscópica da lei de Fourier para o transporte de calor. A ideia aqui é buscar uma introdução elementar à termodinâmica quântica.

Em suma, este projeto teórico de IC representa os primeiros passos para temas da física contemporânea centrais para a linha de pesquisa do Dr Daniel Valente, tais como a computação neuromórfica quântica e a computação termodinâmica.

Métodos: o projeto é teórico, com ênfase em modelos matemáticos analíticos (sem necessidade de solução computacional). Métodos numéricos poderão ser empregados conforme necessidade ou interesse da/do estudante.

Bibliografia:

H. P. Breuer and F. Petruccione, **The Theory of Open Quantum Systems**, Oxford University Press (2002).

A. O. Caldeira, **An Introduction to Macroscopic Quantum Phenomena and Quantum Dissipation**, Cambridge University Press (2014).