

RELATÓRIO DE ATIVIDADES: PROJETO LABORATÓRIO NUMÉRICO DE SCHRÖDINGER

Henrique Canêdo Lazzarini [hclazzarini@icloud.com]

Profa. Dra. Silvana Perez

Faculdade de Física

Universidade Federal do Pará (UFPA)

1. Pesquisa Bibliográfica e Problemática: A Lacuna na FMC

Seguindo a orientação de buscar trabalhos relacionados no Google Acadêmico, analisei o artigo de revisão de Ostermann e Moreira (2000), o qual oferece a fundamentação central para a problematização deste pré-projeto. A análise da literatura revela pontos cruciais que justificam a pertinência e a necessidade desta pesquisa:

- **O Preenchimento de uma Lacuna Aplicada:** Os autores apontam, de forma contundente, uma escassez histórica de pesquisas que relatem propostas de Física Moderna e Contemporânea (FMC) efetivamente testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem. Há uma forte concentração de publicações focadas apenas na divulgação científica teórica. Nesse sentido, o desenvolvimento do Laboratório Numérico em Python não é apenas mais um material ilustrativo, mas sim uma proposta aplicada (simulador + sequência didática) que visa intervir diretamente no ensino e gerar resultados reais, preenchendo essa demanda histórica da área.
- **Metodologia para Conceitos Críticos:** O estudo revisa propostas testadas que focam exatamente nos obstáculos epistemológicos que o simulador se propõe a resolver. Trabalhos citados no artigo evidenciam a dificuldade e a necessidade de se ensinar a interpretação probabilística, o princípio da superposição e, fundamentalmente, fazer com que o aluno abandone a ideia clássica de trajetórias bem definidas. Como o artigo conclui que o papel da Física Clássica no entendimento quântico é um grande ponto de divergência metodológica, a experimentação numérica interativa em Python surge como uma “nova metodologia” capaz de ajudar o aluno a transpor essa barreira conceitual.
- **A Simulação como Substituto do Equipamento Inacessível:** O artigo traz referências fundamentais que justificam o uso do software. Dado que as experiências da mecânica quântica lidam com escalas inacessíveis e não podem ser reproduzidas em situações reais de laboratório nas escolas, o uso de recursos computacionais justifica-se plenamente.

O simulador desenvolvido atua como um verdadeiro laboratório virtual, viabilizando a visualização e a experimentação ativa de fenômenos cuja realização empírica seria impraticável no ambiente escolar tradicional.

2. Análise da Dissertação (Coelho, 2025): Partícula Livre

Estudei o capítulo de física e o produto educacional da dissertação de Rodrigo Lima Coelho (2025), que estabelece a base epistemológica para diferenciar os paradigmas clássico e quântico:

- **Definição de Estado Físico:** A obra detalha que, na Mecânica Clássica (MC), o estado é descrito por um vetor posição $r(t)$ e trajetórias definidas. Na Mecânica Quântica (MQ), o conceito de trajetória deixa de existir, sendo o estado descrito pela Função de Onda $\Psi(r,t)$, onde a informação observável emerge da densidade de probabilidade $|\Psi|^2$.
- **Comportamento da Partícula Livre:** Enquanto na MC uma partícula livre segue a Lei da Inércia em linha reta com incerteza zero, na MQ ela é descrita por um pacote de ondas (Gaussiano). A análise crucial de Coelho (2025) foca na evolução temporal desse pacote: ele sofre espalhamento (*spreading*), aumentando a largura da distribuição e, conseqüentemente, a incerteza sobre a posição da partícula com o passar do tempo.
- **Transposição Didática via Cultura Pop:** O produto educacional “O que aconteceu com o Homem Formiga?” demonstra a viabilidade de introduzir esses conceitos no ensino fundamental utilizando analogias com a ficção e GIFs animados para substituir o formalismo das equações diferenciais. O objetivo é fazer o aluno abandonar a ideia de “caminho definido” em prol da “nuvem de probabilidades”.
- **Evolução para a Investigação Ativa:** O presente projeto eleva a proposta visual de Coelho (2025) ao permitir que o estudante atue como experimentador em tempo real. No simulador Python, o usuário manipula o nível de energia (n) para o poço de potencial e o vetor de onda (k) para a partícula livre, verificando numericamente o contraste entre o determinismo clássico e a dispersão probabilística descrita teoricamente.

3. Fundamentação Pedagógica: A Teoria de Vergnaud

Aprofundei os estudos sobre a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud, que agora serve como o principal marco teórico para a transposição didática do laboratório.

- **Ruptura Epistemológica:** Entendemos que a Física Clássica e a Quântica são campos conceituais distintos. O “objeto quântico” exige perguntas diferentes do clássico; o aluno muitas vezes falha ao tentar aplicar regras de trajetória e determinismo a um domínio onde elas não operam.
- **O Simulador como Situação-Problema:** O laboratório funciona como a “situação vergnaudiana” do projeto. Embora o objetivo final seja o uso de Diferenças Finitas para

ajustar funções de onda arbitrárias, a versão beta atual utiliza *sliders* sobre soluções analíticas (senoides e exponenciais complexas). Ao manipular essas variáveis, o estudante age diretamente sobre a situação-problema, conferindo sentido físico ao formalismo e evoluindo seus esquemas mentais.

- **Evolução dos Esquemas:** O simulador confronta os esquemas mentais clássicos do aluno (como a posição exata) com a densidade de probabilidade $|\Psi|^2$. Esse feedback visual força a reorganização cognitiva e o desenvolvimento de novos esquemas focados na interpretação estatística.
- **Processo Progressivo:** A apropriação de um novo campo é lenta e tortuosa. Desta forma, o simulador serve como ferramenta para que o aluno possa observar o comportamento quântico de forma menos abstrata, e assim, compara-lo com o comportamento clássico, de forma que sirva como um ambiente seguro onde o aluno refina seus conceitos através de tentativas e erros virtuais.

4. Progresso no Desenvolvimento (Kernel Python)

O protótipo inicial do simulador já integra as premissas físicas e metodológicas discutidas. Além disso, a aplicação já está no ar rodando através do *framework* Streamlit e acessível pelo link simulador.arkho.cloud. O código foi estruturado com as seguintes lógicas:

- **Modelagem Física e Matemática:** Utilizo a biblioteca NumPy para a criação dos vetores espaciais e cálculo simultâneo da função de onda, da densidade de probabilidade e da energia do sistema. O código calcula explicitamente o Poço de Potencial (usando funções senoidais) e a Partícula Livre (usando exponenciais complexas para representar as partes real e imaginária). Isso permite que o computador processe a base determinística da Equação de Schrödinger.
- **Feedback Visual Simultâneo:** Com a biblioteca Matplotlib, o painel exibe simultaneamente seis gráficos interligados (três para o Poço e três para a Partícula Livre). Esta escolha atende à premissa pedagógica de fornecer um retorno visual imediato das relações entre a abstração matemática da onda e sua interpretação física probabilística.
- **Interatividade e Transposição Didática:** A inclusão de controles interativos (Sliders) transforma o aluno em um experimentador ativo. Do ponto de vista da transposição didática, a própria programação dos botões incorpora conceitos físicos fundamentais:
 - Para o Poço de Potencial, o controle do nível de energia (n) possui o parâmetro restritivo `valstep=1`. Isso obriga o sistema a assumir apenas valores inteiros ($n = 1, 2, 3, \dots$), materializando na interface a premissa de **quantização da energia** em estados confinados.
 - Para a Partícula Livre, o controle do vetor de onda (k) é livre de restrições de passo (espectro contínuo). Isso evidencia fisicamente que partículas não confinadas podem assumir qualquer valor de energia.