

Memorial

Liliana Sanz de la Torre

Memorial Descritivo de Atividades Profissionais na Universidade Federal de Uberlândia (2008-2024)

Instituto de Física
Universidade Federal de Uberlândia



INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal de Uberlândia

2024

Liliana Sanz de la Torre

**Memorial Descritivo de Atividades Profissionais na
Universidade Federal de Uberlândia (2008-2024)**

Memorial Descritivo de Atividades Profissionais na Universidade Federal de Uberlândia (2008-2024), apresentado conforme a Resolução No. 03/2017 do CONDIR para a promoção da Classe D, nível IV para a Classe E.

Uberlândia - MG
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S238m Sanz de la Torre, Liliana, 1974-
2024 Memorial descritivo de atividades profissionais na Universidade Federal de Uberlândia (2008-2024) [recurso eletrônico] / Liliana Sanz de la Torre. - 2024.

Memorial Descritivo (Promoção para classe E - Professor Titular) - Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Física.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5222>

Inclui bibliografia.

1. Professores universitários - formação. I. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Física. II. Título.

CDU: 378.124

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408

Resumo

Este documento contém o relato das minhas atividades profissionais como docente do magistério do ensino superior na Universidade Federal de Uberlândia, cargo que ocupo desde 26 de setembro de 2008. Após um curto preâmbulo sobre minha formação acadêmica e atividade profissional prévios à minha contratação na Universidade Federal de Uberlândia, constam no documento minhas atividades no eixo de ensino, relatando as disciplinas ministradas, a metodologia usada, os resultados quanto aos coeficientes de rendimento e as avaliações dos discentes. No eixo de pesquisa, além de uma breve listagem de produções, orientações, participações em bancas e outros, faço um breve compêndio dos três principais assuntos de interesse sendo estes: fenômenos óptico-quânticos em moléculas quânticas semicondutoras; emaranhamento em pontos quânticos carregados e estados quânticos da luz. Falo sobre o eixo de extensão destacando a implementação do projeto “Tem Menina no Circuito” na nossa Instituição, além das atividades de divulgação científica desenvolvidas como pesquisadora do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica e finalizo com um relato de minhas atividades de gestão.

Palavras-chave: Memorial, Informação Quântica, Desigualdade de Gênero.

Conteúdo

Introdução Geral	2
1 Preâmbulo	4
1.1 Informações Pessoais	4
1.2 Formação Acadêmica	4
1.3 Atuação antes da UFU	7
2 Ensino na UFU	10
2.1 Física Básica	11
2.2 Disciplinas avançadas	14
3 Pesquisa	17
3.1 Óptica quântica em Moléculas	17
3.2 Emaranhamento em PQ carregados	19
3.3 Outros trabalhos	23
3.4 Orientações, projetos e outras informações	26
4 Extensão	31
4.1 Tem Menina - Minas	31
4.2 Divulgação no INCT	34
4.3 Extensão - outros	36
5 Gestão	37
5.1 Coordenação - BFMAT	37
5.2 CONINFIS 2017-2019	38
5.3 Gestão - outros	38
Considerações finais	39

Introdução Geral

Este documento contém o relato das minhas atividades profissionais como docente do mestrado do ensino superior na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), cargo que ocupo desde 26 de setembro de 2008. O formato não é linear, uma vez que devo separar as atividades em quatro eixos, a saber, ensino, pesquisa, gestão e extensão.

Cabe anotar que os três primeiros sempre estiveram presentes na minha carreira enquanto o quarto, a importante labor da extensão universitária, só surgiu após a minha maturidade como docente e focado em duas questões muito específicas: a falta de mulheres trabalhando na área das exatas e os problemas da desinformação sobre mecânica quântica no público geral.

Assim, organizei o texto da seguinte forma: no Capítulo 1, faço um compilado de informações pessoais além de um breve resumo da minha formação acadêmica e atuação profissional antes da minha contratação na UFU. No capítulo 2, falo sobre minhas atividades relacionadas ao ensino, seguido do Capítulo 3 onde relato as minhas atividades de pesquisa ao longo dos dezesseis anos na Instituição. O trabalho desenvolvido no âmbito da extensão universitária é exposto no Capítulo 4 e as atividades de gestão universitária desenvolvidas são compiladas no Capítulo 5. Faço posteriormente umas breves considerações finais para concluir o documento.

Capítulo 1

Preâmbulo: informações pessoais, formação acadêmica e atuação profissional antes do ingresso na Instituição.

Neste capítulo reuni algumas informações pessoais e um breve relato da minha formação acadêmica e atuação profissional anterior ao meu ingresso na Universidade Federal de Uberlândia.

1.1 Informações Pessoais

- Nome Completo: Liliana Sanz de la Torre.
- Gênero: Feminino.
- Naturalidade: Pasto, Nariño, Colômbia.
- Mãe: Alicia de la Torre de Sanz.
- Pai: Oscar Ricardo Sanz Erazo.
- Data de Nascimento: 13 de julho de 1974.

1.2 Formação Acadêmica

- **Graduação: *Universidad del Valle* (1990-1996):**

Iniciei os estudos de graduação na idade de 16 anos em 1990, através do processo seletivo que me exonerava de prestar a prova de vestibular geral devido a minha nota alta no que era o equivalente ao exame nacional do ensino médio da época. Tive a oportunidade de ter uma formação experimental de primeira linha, uma vez que minha instituição, a *Universidad del Valle*, tinha aberto um dos primeiros programas de pós-graduação do

pais na área de física e tinha como meta a primeira defesa de doutorado do País.

Concluí o curso em cinco anos e meio, seis meses a mais do correteiro, como resultado da minha decisão de participar da representação estudantil. A minha passagem no cargo coincidiu com um período intenso de movimentação estudantil que fez reivindicações por melhorias nos laboratórios didáticos e na reformulação do regimento interno da Universidade, o que resultou em uma paralisação. Participei ativamente de ambas as discussões, no segundo caso redigindo o primeiro rascunho sobre as diretrizes dos centros de estudos (o análogo aos diretórios acadêmicos brasileiros na minha instituição) da universidade. Formei na colação oficial de grau de abril de 2016.

Após uma breve passagem no laboratório de controle de qualidade durante a qual realizei treinamento na calibração de massas e balanças, desenvolvi meu trabalho de conclusão de curso sob a orientação do Prof. Juan Carlos Granada. O objetivo era descrever os efeitos da susceptibilidade vestida pelo material na ligação de um éxciton formado dentro de um material semiconductor. Usamos o método variacional para calcular o mínimo de energia do estado fundamental do éxciton dentro de um ponto quântico esférico usando o sistema de coordenadas Hylleraas, que resultava conveniente na descrição do problema. Apresentamos o trabalho em alguns eventos científicos, em particular *The School on Advances and Methods in the Study of Atomic Doubly Excited State* em Medellín-Colômbia em abril de 1995 e publicamos um artigo com os resultados da nossa pesquisa na Revista Colombiana de Física no mesmo ano.

- **Mestrado em Física: *Universidad del Valle* e *Universidad de Los Andes* (1996-1999):**

Após uma pausa de três meses, ingressei em julho de 1996 no programa de mestrado acadêmico da *Universidad del Valle*. Já no primeiro semestre, iniciei conversas com a Profa. Angela Camacho Beltrán¹, da *Universidad de Los Andes*, para desenvolver pesquisa sob sua orientação. Na época, essa instituição não possuía ainda programa de pós-graduação aprovado. Uma vez oficializado o cadastro da Profa. Camacho como docente do programa de pós-graduação, desenvolvi um total de sete disciplinas obrigatórias do mestrado até o mês de junho de 1997, para mudar para a cidade de Bogotá, onde fica a sede da Universidade de Los Andes.

Também apliquei e ganhei a bolsa da *Fundación Mazda para el Arte y la Ciencia* em 1997, que apoiava meus estudos de mestrado e podia ser renovada por mais um ano (renovei em 1998). Como a bolsa não me impedia de trabalhar, fui contratada como assistente de pesquisa na Universidade de Los Andes, com contrato por dezoito meses (julho 1997 - dezembro 1998), além de puder atuar, com um contrato adicional, como docente *hora-cátedra* (semelhante a um professor substituto), o que fiz no primeiro semestre de 1998.

¹A Profa. Angela Camacho foi a primeira mulher colombiana a concluir um doutorado em Física na Alemanha em 1977.

Durante esses dezoito meses, desenvolvi minha dissertação de mestrado que foi focada no estudo dos efeitos da temperatura sobre a interação éxciton-fônon em poços quânticos de simetria retangular ZnSe/Zn(Cd,Se). Dois dos dezoito meses foram investidos em estágios separados de um mês no *International Centre for Theoretical Physics* em Trieste, Itália, que me trouxeram uma experiência de internacionalização importante, além de muitas lições de vida. Defendi minha dissertação no dia 29 de fevereiro de 1999, obtendo a distinção de meritória, e embarquei para o Brasil no dia 31 de janeiro seguinte para iniciar o doutorado.

- **Doutorado em Física: Universidade Estadual de Campinas (1999-2003)**

Cheguei ao Brasil em 1 de fevereiro de 1999 com o aceite como discente do programa de doutorado em ciências no Instituto de Física ‘Gleb Wataghin’ da Universidade Estadual de Campinas. Apliquei na Instituição em razão ao alto prestígio acadêmico e ao fato de colegas de graduação e outros conhecidos já estarem lá. Através da Profa. Karen Fonseca Romero na Colômbia, tomei conhecimento do trabalho da Profa. Kyoko Furuya, que na época se interessava pelas assinaturas do caos, presente em sistemas clássicos, na dinâmica dos análogos quânticos de ditos sistemas. Na minha tese, analisamos a dinâmica do emaranhamento de sistemas bipartites ideais através do cálculo da entropia linear reduzida e de diversas funções de quase-probabilidade no regime semiclássico dos sistemas físicos abordados, sendo estes o oscilador quártico bidimensional e o máser de Dicke. O primeiro descreve a interação de dois condensados de Bose-Einstein e o segundo descreve a interação de um modo do campo eletromagnético com uma coleção de N átomos de dois níveis não interagentes entre si. No primeiro modelo, além da interação não linear, biquadrática, consideramos a interação bilinear dipolo-dipolo na aproximação de onda girante. Encontramos as condições nas quais o emaranhamento entre os dois modos é reversível, onde o instante no qual o estado se torna separável depende do tipo de estado inicial escolhido. Quando o estado inicial dos osciladores é um produto de estados de Fock, ou um produto de estados de Fock e um estado coerente, o responsável pelo emaranhamento é a interação bilinear. Entretanto, se o estado inicial é um produto de estados coerentes, a interação não linear é a principal responsável pela não separabilidade dos subsistemas. No modelo de Dicke, analisamos a evolução temporal da função de Wigner atômica no limite de muitos átomos para estados iniciais onde os dois subsistemas são preparados em estados coerentes e aprofundamos no conhecimento da dinâmica da perda de pureza baseados nas informações da dinâmica clássica. Os nossos resultados indicam que existe uma relação clara entre a localização e deslocalização do estado atômico em cada uma das variáveis angulares da esfera de Bloch, nos mínimos e máximos sucessivos da entropia linear reduzida.

Durante o período de doutorado, participei de uma conferência internacional, a *7th International Conference on Squeezed States and Uncertainty Relations*, realizada em Boston, USA, onde fiz uma apresentação oral intitulada “*A joint Wigner function of an atom-field system with dissipation*”. Um artigo com os resultados deste trabalho foi publicado em 2002 em uma edição especial da revista *Journal of Optics B: Quantum and Semiclassical Optics* [1]. Oriundas da tese, teve mais três publicações, todas sobre o modelo de oscilador quártico [2, 3, 4].

1.3 Atuação Profissional - 2003 a 2008

A minha atuação profissional nos cinco anos seguintes ao término do meu doutorado compreendem estágios em três instituições, a saber:

- **Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2003-2005)**

Apoio financeiro:

- Bolsa de pós-doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- Edital MCT/CNPq/CT INFRA/FAPESP, Projetos de apoio à infra-estrutura de CT&I para jovens pesquisadores: Programa Primeiros Projetos.

Atividades desenvolvidas.

Durante o período, foi desenvolvido o projeto de pesquisa intitulado “Dinâmica do emaranhamento em Condensados de Bose-Einstein compostos”, além de continuar com trabalhos oriundos do doutorado relacionados com a dinâmica do máser de Dicke. Os principais resultados obtidos no período são descritos a seguir:

- *Geração de estados coerentes generalizados em condensados de Bose-Einstein acoplados*: dentro da aproximação de dois modos, demonstramos que um estado tipo gato de Schrödinger pode ser gerado dinamicamente e, ao controlar a força de acoplamento tipo Josephson, o número de estados coerentes na superposição pode ser variado. Posteriormente, analisamos numericamente a dinâmica de todo o sistema quando as colisões entre átomos que populam modos distintos são inibidas. Variáveis como população fracionária, parâmetro de Mandel e variâncias dos operadores de aniquilação e número são usadas para mostrar que o estado evoluído está emaranhado e exibe estatísticas sub-Poissonianas [4].
- *Transição de ponto crítico quântico no modelo de Dicke*: Através da mesma ferramenta computacional usada no doutorado para estudar a dinâmica das funções de Wigner, fizemos um estudo das propriedades de emaranhamento do estado fundamental do Hamiltoniano que descreve a interação de N átomos com um modo

bosônico, ou máser de Dicke. Variando os parâmetros do Hamiltoniano, calculamos a entropia linear do subsistema atômico no estado fundamental. Nossos cálculos apontaram diferenças entre a transição de fase nos casos integrável e não integrável: enquanto no primeiro caso a transição é de primeira ordem, no caso não integrável a transição é de segunda ordem. Além da entropia linear, foram estudados o comportamento do análogo clássico do sistema e a forma das funções de Wigner atômicas [5].

- *Controle da fase geométrica e da dinâmica de pseudospin em condensados de Bose-Einstein acoplados*: neste trabalho descrevemos o comportamento de dois condensados de Bose-Einstein acoplados em potenciais de armadilha dependentes do tempo e frequência de Rabi (ou tunelamento) dependente do tempo, usando a abordagem de dois modos. A partir dos estados de Bloch, conseguimos obter soluções analíticas para a equação de Schrödinger dependente do tempo e apresentamos uma análise detalhada das fases relativas e geométricas adquiridas pela função de onda dos condensados, bem como seu desequilíbrio populacional. Também estabelecemos uma conexão entre as fases geométricas e as constantes de movimento que caracterizam a dinâmica do sistema. Além de analisar os efeitos da temporalidade em condensados que diferem por graus de liberdade hiperfinos (efeito Josephson interno), também apresentamos uma breve discussão sobre um condensado de uma única espécie em um potencial de poço duplo (efeito Josephson externo). Os resultados foram parte da tese do então doutorando Eduardo Duzzioni (atualmente professor na Universidade de Santa Catarina) e foram publicados na revista *Physical Review A* [6].

Durante minha passagem pela UFSCar participei de dois eventos internacionais. O primeiro, a escola *PASI 2003: Physics of Information*, organizada pelo Prof. Luiz Davidovich na cidade de Búzios, onde tive a oportunidade de ter aulas e conhecer a pesquisa de primeira mão de pesquisadores na crista da onda na área de óptica quântica e informação quântica de nível nacional e internacional. Serge Haroche, Peter Zoller, Rainer Blatt, Carlton Caves, Atac Imamoglu e Charles Bennet foram os destaques internacionais. Amir Caldeira, Belita Koiller, Carlos Monken, Vanderlei Bagnato, são alguns dos nomes dos pesquisadores que ministraram mini-cursos e palestras nas duas semanas do evento. O segundo evento foi a *International Conference of Atomic Physics*, em 2004, que foi sediada no Rio de Janeiro. Em ambos os eventos, apresentei trabalhos nas seções de *posters* com resultados da minha pesquisa. Uma terceira atividade desenvolvida foi a organização dos seminários do grupo de pesquisa, que me permitiu entrar em contato e receber tanto pesquisadores experientes como jovens cientistas na instituição.

- Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo - IFSC-USP

(2006)

Apoio financeiro:

- Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial do CNPq.

Atividades desenvolvidas.

Durante o período de um ano, desenvolvi atividades no Grupo de Óptica coordenado pelo Prof. Vanderlei Bagnato como bolsista de desenvolvimento tecnológico e industrial do CNPq. A minha tarefa era trabalhar em uma proposta teórica junto ao mestrando Edmir Ravazzi Franco Ramos que buscava a criação de condensados de Bose-Einstein em estados diferentes ao estado fundamental de uma armadilha magneto-óptica. A ideia se baseia na possibilidade de que em um condensado de Bose-Einstein armadilhado sujeito à ação de um campo eletromagnético externo alternado, modos coerentes topológicos podiam ser excitados. Os modos coerentes são soluções das equações de Gross-Pitaevskii que descrevem a física dos condensados e o tratamento dinâmico dos efeitos do campo externo foi feito seguindo a teoria de perturbação dependente do tempo. Dois conjuntos de resultados foram obtidos: o primeiro foi a análise da transferência de população após a aplicação de um e dois pulsos, com a subsequente obtenção da ressonância de Rabi e franjas de interferências de Ramsey [7, 8] e o segundo foi o estudo de uma transição de fase dinâmica caracterizada por um parâmetro de ordem que depende da média temporal da fração da população transferida de um modo para outro [9].

• **Universidade Federal de Uberlândia - UFU (2007-2008).**

Recurso financeiro:

- Bolsa de pós-doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

Atividades desenvolvidas.

Solicitei uma bolsa de pós-doutorado em 2007 com o objetivo de finalmente reunir minha família, separada desde 2004, em Uberlândia enquanto continuava com minhas atividades profissionais. Durante o primeiro ano, continuei com os assuntos de pesquisa iniciados no IFSC-USP. Já em 2008, iniciei as atividades de pesquisa em problemas relacionados com molécula quânticas semicondutoras que serão relatadas em maior detalhe no Capítulo 3. Outra atividade foi uma participação menor em trabalhos relacionados com dinâmica de spin em pontos quânticos via interação elétron-fônon [10].

Capítulo 2

Atuação Profissional na Universidade Federal de Uberlândia: Ensino

Apresento neste capítulo um relato das minhas ações no âmbito do ensino. Durante os dezesseis anos de atuação profissional na Universidade Federal de Uberlândia exerci minha missão de docente ministrando dois conjuntos de disciplinas. No primeiro conjunto contam-se as de física básica, tanto nos cursos de serviço para unidades externas ao Instituto de Física quanto para os nossos cursos de graduação. Minha experiência me habilita para ministrar qualquer uma das disciplinas, tanto de ementa teórica ou experimental, ofertada pelo Instituto, dentro e fora da Unidade Acadêmica. São poucos os docentes que oferecem essa versatilidade no nosso quadro atualmente. Com relação a minha contribuição ao ensino em disciplinas do ciclo profissionalizante e do Programa de Pós-graduação em Física, minha experiência se concentra nas disciplinas de Mecânica Clássica dos cursos de graduação e na Mecânica Quântica, em todos os níveis. A atuação no segundo assunto é explicado pela afinidade da minha área de pesquisa, Informação Quântica, com as ementas das disciplinas ofertadas.

Ao longo dos anos, coloquei a disposição das turmas de discentes um conjunto de [notas de aula](#) em um repositório público, e sempre me preocupei por facilitar o acesso à materiais extras usando páginas dentro da UFU (agora extintas), o *Google Sites* e, após a pandemia, o ambiente *Moodle*. Finalmente, é importante mencionar a questão das avaliações sobre a qualidade do ensino. O sistema de avaliação docente da UFU é, infelizmente, pouco usado pelas turmas. Desta forma, não sempre obtemos retorno com relação ao nosso desempenho, e as avaliações, quando feitas, são poucas se comparadas ao tamanho das turmas. Nesse cenário, as notas obtidas nas avaliações ao longo dos dezesseis anos de carreira estão acima de 9/10, como pode ser corroborado nos [documentos comprobatórios anexos](#) como link a este memorial [11].

2.1 Ensino de Física Básica

A formação em física básica nos três cursos de graduação do INFIS-UFU segue os moldes tradicionais dos quatro semestres seguindo a divisão por assuntos dos livros-textos disponíveis no mercado. Já o leque de disciplinas ofertadas pelo Instituto de Física para unidades externas tem sido menos rígido, uma vez que os pedidos específicos de cada curso são levados em consideração na elaboração das ementas. No formato mais comum, encontrado nos cursos de engenharia, o conteúdo de mecânica (costumeiramente chamado de física 1 ou alguma variante) e eletricidade e magnetismo (chamada em geral de Física 2 ou semelhante) é ofertado em duas disciplinas de 60 horas, enquanto uma terceira disciplina (física 3) podia discutir seja o conteúdo de termodinâmica, ondas e óptica ou, mais recentemente, oscilações, ondas e óptica. Os laboratórios didáticos acompanham a ementa das disciplinas teóricas. Detalharei a didática seguida tanto nos cursos que chamarei de serviço, ofertados em outras unidades acadêmicas do INFIS, quanto nos nossos cursos de graduação.

Na tabela 1 são listadas as disciplinas dos cursos de serviço ministradas durante a minha atuação profissional. Nestas disciplinas sigo uma metodologia de avaliação frequente, com testes aplicados a cada duas ou três semanas para avaliar o andamento dos estudos e três provas. Embora seja de praxe na UFU a aplicação da prova chamada de substitutiva (que troca a pior nota do aluno) considero que essa possibilidade faz com que a turma tenha um rendimento baixo no início do semestre em contraposição ao rendimento mais regular ao observado com a implementação de avaliações frequentes. Os livros-textos usados são os volumes 1 ao 4 da série do Sears-Zemansky [12] e Resnick-Halliday [13]. Listas de exercícios escolhidos dos livros-textos são sugeridas e os testes e duas perguntas da prova são feitas baseadas nessas listas. Uma terceira pergunta da prova consiste sempre em um problema mais desafiador, fora da lista de problemas, e também é incluída uma pergunta sobre conceitos teóricos gerais, demonstrações simples e problemas simples de conceito. O rendimento das turmas tem sido bom ao longo dos anos, com uma média de aprovação de 81,29% ¹, antes da aprovação das novas normas de graduação de 2022 que preveem a realização das atividades de recuperação para discentes com menos de 25% de faltas no semestre [14], quando o rendimento passou para o 100% dos discentes que não reprovaram por faltas.

A metodologia de ensino que venho usando é o tradicional, com aulas expositivas, sempre procurando fazer definições de conceitos muito concretas para passar para discussões mais aprofundadas desses conceitos na resolução de problemas. O foco na resolução de problemas sempre foi maior nas disciplinas ministradas electromagnetismo básico, pois ao longo do tempo de docência verifiquei as grandes dificuldades das turmas em conectar nesse caso a teoria com

¹Os documentos comprobatórios, fornecidos pela Diretoria de Registro Acadêmico da UFU, podem ser solicitados para a autora.

o uso prático. As alterações dos calendários na volta às aulas presenciais em 2022, que previam semestres mais curtos, trouxeram como consequência a mudança de apresentação de conteúdo com o uso corriqueiro de apresentações de *PowerPoint*, de forma que o conteúdo pudesse ser discutido de forma mais eficiente, além de facilitar o recurso da aula gravada caso houvesse necessidade de fazer reposição de aula, uma vez que não haveria a disponibilidade de tempo habitual dos semestres de 18 semanas². Quanto ao uso de pedagogias diferentes ao das aulas expositivas, usei o método de aula invertida em duas oportunidades: as disciplinas de Física 1 para o Bacharelado em Biotecnologia e Física Geral 1 para a Licenciatura em Química. A justificativa principal foi devido a organização da grade horária, pois ambas as disciplinas eram oferecidas no formato de quatro horas em um único dia. Assim, o modelo padrão de aula expositiva não garantia um bom rendimento.

Com relação a formação em Física Experimental, tive a oportunidade ao longo da carreira de trabalhar nos quatro laboratórios didáticos do INFIS. O trabalho nestas disciplinas é feito de forma coordenada, com um conjunto de experimentos e apostilas pré-definidas [15, 16, 17, 18]. A avaliação destas disciplinas é padronizada, onde os grupos de trabalho devem elaborar um relatório semanal do experimento realizado e tem duas provas individuais. O percentual de aprovação nestas disciplinas é de 100%, excluindo discentes que efetuaram trancamento. Uma contribuição pessoal foi a elaboração de seis apostilas dos experimentos de oscilações e ondas, que são usados por docentes do Instituto. Como foram construídas dentro da disciplina de Laboratório de Física Básica 2 dos cursos de Bacharelado do INFIS, falarei sobre o processo de elaboração destas apostilas mais adiante.

Com relação as disciplinas de formação básica nos cursos de graduação do INFIS, tive o privilégio de participar da formação de discentes nas seguintes disciplinas

1. Introdução ao Eletromagnetismo - currículo antigo do Bacharelado da Física de Materiais extinto em 2010/1, de 60 horas. Ministrada nos semestres 2009/2 e 2010/2.
2. Física Básica 1 - currículo 2010-2023 do Bacharelado da Física de Materiais, de 90 h. Ministrada nos semestres de 2013/1, 2014/1 e 2015/1.
3. Física Básica 2 - currículo 2010-2023 dos Bacharelados em Física de Materiais e Física Médica, de 90 h. Ministrada nos semestres de 2010/2, 2011/1, 2011/2 e 2012/2.
4. Laboratório de Física Básica 2 - currículo 2010-2023 dos Bacharelados em Física de Materiais e Física Médica, de 30 h. Ministrada nos semestres de 2011/2 e 2012/2.

²Uma hora/aula da UFU tem duração de 50 minutos e é necessário o aumento de semanas para o cumprimento de carga horária sendo 72 horas/aula equivalente às 60 horas de carga de um curso de 4 horas semanais.

Tabela 2.1: Disciplinas ministradas em cursos fora do INFIS

Nome da Disciplina	Curso(s)	Semestre(s)/Ano(s)
Física Geral 2 (anual)	Eng. Química	2008/2, 2009, 2013
Eletricidade e Magnetismo (laboratório)	Eng. Biomédica	2012/1
Eletricidade e Magnetismo (laboratório)	Eng. Elétrica	2012/1
Física Geral Experimental	Eng. Química	2013, 2014
Física Experimental III	Eng. Civil	2012/1, 2012/2
Física Experimental 1	Química Industrial	2014/2
Experimental de Física 1	Eng. Elétrica	2014/2, 2015/2
Física Experimental 1	Eng. Ambiental	2015/2
Física Geral II	Eng. Mecânica	2016/2
Experimental de Física II	Eng. Elétrica	2016/2
Física 1	Biotecnologia	2017/2
Física II	Eng. Elétrica	2018/2
Física II	Eng. Biomédica	2019/2
Física Geral 1	Licenciatura em Química	2018/2

5. Física Básica 4 - currículo 2010-2023 dos Bacharelados em Física de Materiais e Física Médica, de 60 h. Ministrada nos semestre de 2017/2.

A bibliografia usada foram os volumes 1 e 2 da série de livros do Sears-Zemansky [12], Resnick-Halliday-Walker [13] e Moysés Nussezeig [19]. Na Física Básica 4 foi usado também o livro de Eugene Hecht [20].

Embora o sistema de avaliação que usei nas disciplinas teóricas seja semelhante àquele usado nos cursos de serviço (testes e provas), mudanças importantes na metodologia de ensino foram feitas especificamente nas disciplinas de Física Básica 1 e 2. Nos nossos cursos de graduação, essas disciplinas são cursadas no primeiro ano, e particularmente a primeira era parte da grade dos ingressantes, conjuntamente com Cálculo 1 e Geometria Analítica. A carga horária de 90 horas das duas disciplinas facilitava uma abordagem mista, onde a turma era orientada a fazer leituras prévias para enriquecer as discussões das aulas teóricas das segundas e quartas, enquanto a terceira aula da semana, das sextas, era inteiramente focada na resolução de problemas. Embora não foram usadas técnicas da aprendizagem ativa no ensino destas disciplinas, buscou-se um diálogo intenso com a turma ao longo da apresentação dos conceitos, estimulando as perguntas e refazendo muitas vezes alguns problemas por caminhos de resolução diferentes, particularmente no conteúdo de mecânica, para fixar conceitos importantes como o de sistemas de referência, dentre outros. O rendimento das turmas de física básica costuma ser muito baixo (no caso das minhas turmas combinadas, a média é de aproximadamente 56%), embora seja interessante observar que a abordagem pedagógica usada na Física Básica 1 ajudou no combate da retenção. A turma de 2013/1 tinha 26% de repetentes e 74% de ingressantes e nenhum dis-

cente de outros cursos. Em contraste, a turma de 2015/1, a composição da turma era de 66,2% de discentes ingressantes, 16% de repetentes, além de 17,8% de discentes de outros cursos. O rendimento também aumentou, passando de uma aprovação de 34% em 2013/1 para 42,86% em 2015/1. Cabe anotar que todas estas disciplinas foram ofertadas antes da pandemia.

Um desafio importante na minha carreira foi assumir a disciplina de Laboratório de Física Básica 2. Após uma avaliação da apostila e equipamentos disponíveis no laboratório, achei necessária a elaboração de novas apostilas das seis experiências de oscilações e ondas com potencial realização dentro da disciplina sendo estas: a medida de aceleração da gravidade usando um pêndulo simples, a oscilação de um pêndulo físico, cuba de ondas, a lei de Hooke, cordas vibrantes e geração de harmônicos e batimentos e figuras de Lissajous. As apostilas podem ser conferidas no repositório de [notas de aula](#). Nas apostilas, além do procedimento experimental, é sugerido um caminho para a análise que deve ser incluído no relatório. Nas turmas de discentes da Física, fiz a exigência de um relatório escrito seguindo um formato de artigo científico (um modelo era sugerido), orientando o trabalho dos grupos usando um barema quanto à realização de cada aspecto desse artigo. Sendo discentes do segundo período do curso, verifiquei uma grande dificuldade na hora de organizar a escrita, mesmo após a passagem pela disciplina de Laboratório de Física Básica 1. Lembrando da minha experiência como docente do laboratório didático de Mecânica no IFGW-UNICAMP, onde na época os discentes tinham a oportunidade de corrigir e fazer novas entregas dos relatórios, abri essa oportunidade para as minhas turmas, obtendo resultados muito satisfatórios quanto a melhora tanto da escrita quanto das análises e confecção de gráficos.

2.2 Ensino no ciclo profissional dos cursos de física e no Programa de Pós-graduação em Física

Nesta seção detalho meu trabalho como docente em disciplinas do ciclo profissional dos cursos de Física e no programa de Pós-graduação em Física, do qual sou docente desde 2008. Dada a minha experiência profissional em problemas teóricos das áreas de Informação Quântica, Óptica Quântica, Física Atômica e Sistemas Dinâmicos, estou qualificada para atuar em praticamente todas as disciplinas obrigatórias de formação em Física dos cursos de Bacharelado de Física de Materiais, Física Médica e Física: Licenciatura. Dentre esse leque amplo de disciplinas obrigatórias e optativas, até o momento tive a oportunidade de ministrar uma variedade restrita de disciplinas sendo estas:

1. Mecânica Clássica - currículo versão 2011 da Física: Licenciatura, de 60 h. Ministrada nos semestres 2019/1, 2020/2o período especial, 2020/1 e 2021/1.

2. Mecânica Clássica 2 - currículo 2010-2023 do Bacharelado em Física de Materiais, de 60 h. Ministrada nos semestres 2016/1, 2017/1 e 2024/1.
3. Mecânica Quântica 1 - currículo antigo do Bacharelado da Física de Materiais extinto em 2010/1, de 90 h, com ementa contendo assuntos de Física Moderna. Ministrada nos semestres 2009/1, 2010/1 e 2011/1.
4. Mecânica Quântica - currículo versão 2011 da Física: Licenciatura, de 60 h. Ministrada nos semestres 2020/2 2021/1.
5. Mecânica Quântica 1 - currículo 2010-2023 dos Bacharelados em Física de Materiais e Física Médica, de 60 h. Ministrada nos semestres de 2021/2 e 2022/2
6. Mecânica Quântica 2 - currículo 2010-2023 do Bacharelado da Física de Materiais, de 60 h. Ministrada nos semestres 2018/1, 2019/1, 2020/1o período especial, 2020/1, 2021/1, 2022/1 e 2023/1.
7. Tópicos Especiais de Física: Introdução à Computação Quântica - optativa dos Bacharelados em Física de Materiais e Física Médica, de 60h. Ministrada no semestre 2020/2.
8. Mecânica Quântica 1 - Mestrado em Física, de 60 h. Ministrada nos semestres 2016/1, 2017/1 e 2018/1.
9. Mecânica Quântica 2 - Doutorado em Física, de 60 h. Ministrada no semestre 2019/2.
10. Tópicos Especiais III: Introdução à Informação Quântica - Mestrado em Física, de 60 h. Ministrada no semestre 2015/1.

Na preparação das aulas das disciplinas de Mecânica Clássica 1 e 2 usei principalmente o livro “Dinâmica clássica de partículas e sistemas” de Stephen Thornton e Jerry Marion [21], apoiado pelo livro “*Classical Mechanics*” de John R. Taylor [22] e as [notas de aula de Alessandro Villar](#) [23]. Para as aulas de Mecânica Quântica foi usada uma bibliografia mais diversa, discriminada a seguir:

- O livro “Física Moderna - Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos” de Francisco Caruso e Vitor Oguri [24] para o conteúdo da ementa da primeira parte da antiga disciplina de Mecânica Quântica 1 (item 3 na listagem acima), em conjunto com o livro “*Introduction to Quantum Mechanics*” de David J. Griffiths [25] para a segunda parte do curso.
- O livro “*Quantum Mechanics, concepts and applications*” da autoria de Nouredine Zettili [26] na nova versão do curso de mecânica quântica para a Física: Licenciatura e o novo currículo dos Bacharelados de Física de Materiais e Física Médica (itens 4 e 5 na listagem).

- Na disciplina de Mecânica Quântica 2 da graduação foram usados os livros “*Introduction to Quantum Mechanics*” de David J. Griffiths, os volumes 1 e 2 do “*Quantum Mechanics*” do Cohen-Tanoudji, Bernard Diu e Frank Laloë [27] e o livro “*Quantum Physics*” de Stephen Gasiorowicz [28].
- Nas disciplinas da Pós-graduação foram usados os livros “*Modern Quantum Mechanics*” e “*Advanced Quantum Mechanics*” de Jun John Sakurai [29, 30] e “*The Principles of Quantum Mechanics*” de Paul Dirac [31].

Nas disciplinas de tópicos ofertadas foram usados os livros “*Quantum Computation and Quantum Information*” de Michael A. Nielsen e Isaac L. Chuang [32], “*Quantum computing: from linear algebra to physical realizations*” de Mikiyo Nakahara e Tetsuo Ohmi [33] e as notas de aula da V Escola do CBPF sobre computação e informação quântica do Prof. Ivan de Oliveira.

A avaliação das disciplinas da graduação consistia, com a exceção das disciplinas de ministradas durante a pandemia e após, da aplicação de três provas além da entrega de listas extensas de exercícios. A distribuição dos pontos costumava ser de 80 pontos para as provas e 20 pontos para as listas, com algumas atividades propostas ao longo do semestre para ganho de pontos extras sem ultrapassar o limite de cinco pontos. Na pandemia, na dificuldade de aplicação de provas abertas em horário de aula, o que foi proposto foi a realização de trabalhos em grupo para entregas, resolução de testes de conceitos fundamentais e problemas simples preparados em questionários de múltipla escolha com mais de uma resposta e provas com o mesmo formato. Assim, a avaliação mais frequente garantia que a turma não perdesse o interesse no conteúdo, pois basicamente toda semana acontecia alguma das atividades programadas. Com a abertura da consulta, aumentei o nível de dificuldade das provas e testes. O rendimento das turmas das disciplinas obrigatórias dos cursos de graduação é de 78,51%. Nas disciplinas de tópicos, a avaliação foi feita pela entrega de listas e apresentação de trabalhos.

Capítulo 3

Atuação Profissional: Pesquisa

Neste capítulo farei um relato sucinto do meu trabalho de pesquisa durante meu tempo de docente na UFU, a maior parte envolvendo discentes do nosso Programa de Pós-Graduação em Física, do qual formo parte do corpo docente desde 2008. Na Seção 3.1, a pesquisa em moléculas quânticas forma parte da tese de doutorado da Profa. Halyne Silva Borges (IFTM-Patrocínio) [34], defendida em 2014. Na Seção 3.2, onde relato nossos estudos sobre emaranhamento em pontos quânticos carregados, a pesquisa foi desenvolvida como parte da iniciação científica [35], mestrado [36] e doutorado [37] da Dra. Patrícia A. Almeida de Oliveira e o mestrado do José Nogueira de Castro Neto [38]. Na Seção 3.3, falo sobre os trabalhos do efeito da coerência em moléculas quânticas na conversão fotovoltaica e a produção de luz quântica em um ponto quântico estimulado com um laser de bombeio no regime dispersivo, que foram parte da tese do Prof. Jefferson Lira Santos [39] (UniFTC), além de outros trabalhos de destaque. Finalmente na Seção 3.4 descrevo brevemente outras informações relacionadas com a pesquisa como as orientações, o uso dos recursos advindos de diversos projetos de pesquisa aprovados em órgãos de fomento, minha participação em eventos e minha atuação como revisora de periódicos.

3.1 Fenômenos óptico-quânticos em moléculas quânticas semicondutoras

Nesta seção descreverei brevemente a pesquisa realizada sobre fenômenos óptico-quânticos em moléculas quânticas semicondutoras. O trabalho foi resultado das pesquisas realizadas no contexto da iniciação científica, mestrado e doutorado da agora Profa. Halyne Silva Borges (IFTM-Patrocínio), sob a orientação do Prof. Augusto M. Alcalde Milla, em colaboração com o Prof. José Maria Villas-Bôas e minha participação. No período de pós-doutorado, iniciei minha interação com a então aluna de iniciação científica com o objetivo de explorar o comportamento de uma molécula quântica. Este sistema é formado por dois pontos quânticos acoplados, e utilizamos modelos da área de óptica quântica, nos quais eu já possuía experiência

desde o meu doutorado.

O sistema físico específico que consideramos consiste em dois pontos quânticos assimétricos acoplados por tunelamento. Os parâmetros físicos usados nos nossos modelos correspondem a pontos construídos com InAs/GaAs. Elétrons e buracos podem ser confinados em qualquer um dos pontos e podemos usar um pulso óptico quase ressonante para promover elétrons da banda de valência para a banda de condução, criando um éxciton óptico. Elétrons ou buracos podem então tunelar para o outro ponto, criando um éxciton indireto. Um campo elétrico externo, aplicado na direção do crescimento, manipula os níveis energéticos individuais de elétrons ou buracos sintonizando (ressonância) ou dessintonizando os mesmos, favorecendo ou não o tunelamento. No entanto, em estruturas de moléculas quânticas assimétricas, é possível controlar qual dos tipos de portador tunela. Além do tunelamento e da excitação óptica, consideram-se processos dissipativos, principalmente a recombinação do éxciton (emissão espontânea). Uma vez que se tratava de um sistema dinâmico aberto, resolvemos numericamente uma equação de Liouville-von Neumann-Lindblad, após a aplicação de uma transformação unitária para tratar a dependência temporal do Hamiltoniano no termo relacionado com a descrição do termo de interação radiação-matéria.

O primeiro problema que tratamos era a procura de estados robustos neste sistema. Nosso principal objetivo era saber se existia um regime de parâmetros físicos que, combinados, permitissem a proteção do chamado estado de éxciton indireto: enquanto o elétron tunela para o segundo ponto na molécula, o buraco fica confinado na banda de valência do primeiro ponto. Demonstramos que a população desse estado aumenta significativamente ao manipular a dessintonia entre os níveis dos éxcitons direto (no primeiro ponto) e indireto, além de encontrar uma condição ideal da razão entre o acoplamento (do campo elétrico aplicado e o dispositivo) e a taxa de emissão espontânea. Estes resultados foram publicados na revista *Physical Review B* em 2010 [40].

Na sequência pensamos em uma extensão relacionada com a resposta óptica do mesmo sistema. Sistemas atômicos onde é possível ter uma configuração de três níveis acoplados com dois lasers, um de bombeio e um de sonda, podem ser preparados em um regime chamado de transparência eletromagneticamente induzida [41]. Nesse fenômeno, há interferência quântica de forma que o médio, sendo este o sistema atômico, passa de ser opaco a transparente ao laser de sonda, devido à ação do campo de bombeio. Assim, a absorção óptica cai para zero. No nosso trabalho, o papel do campo de bombeio é preenchido pelo acoplamento de tunelamento, o que nos levou a rebatizar o fenômeno para nosso caso como transparência induzida por tunelamento. O nosso principal resultado foi a identificação do valor limite da razão entre o tunelamento e a taxa de emissão espontânea de éxciton direto para a transição entre a aparição

da transparência induzida e um dubleto de Autler-Townes. Os resultados foram publicados na revista *Physical Review B* em 2012 [40], sendo o meu trabalho mais citado até o momento.

No terceiro trabalho da série, publicado na revista *Applied Physics Letters* em 2013 [42], exploramos um sistema ligeiramente modificado, onde consideramos a ação de dois laser distintos, que conseguiam criar éxcitons nos dois pontos quânticos separadamente. Desta forma, o sistema físico tem quatro estados quânticos acessíveis. Demonstramos que os lasers criam uma configuração de níveis que pode ser descrita como dois sistemas opticamente ativos de três níveis, cada um dos quais apresenta os regimes de transparência induzida e um dubleto de Autler-Townes. Adicionalmente, encontramos uma condição favorável para a formação de um tripleto de Mollow, neste caso dependente não só da razão entre o tunelamento e a taxa de emissão espontânea, como também da razão entre o primeiro e o laser de controle.

O último trabalho neste assunto focou-se na geração de emaranhamento e foi publicado na revista *Physics Letters A* em 2016 [43]. O objetivo era investigar o grau de emaranhamento entre pares de elétrons e buracos criados na molécula quântica, desta vez em condições onde o tunelamento do buraco deve ser considerado. Assim, o sistema agora tem seis níveis acessíveis, considerando o vácuo e os estados de éxcitons direto e indireto, além de estados ocupados por elétrons e buracos individualmente. Além da emissão espontânea, consideramos o processo de *dephasing* dos níveis excitônicos. Para quantificar o grau de emaranhamento, usamos a negatividade como função dos parâmetros do sistema, à procura de condições que maximizem seu valor. Nossos resultados mostram que o sistema evolui para estados assintóticos induzidos pelos mecanismos dissipativos, sendo estes estados superposições de estados de éxcitons indiretos.

3.2 Emaranhamento em Pontos Quânticos Carregados

O segundo conjunto de trabalhos está focado no estudo da criação de estados maximamente emaranhados em sistemas de pontos quânticos carregados. Este tipo de nanoestrutura se diferencia daquela descrita na Seção 3.1 por construção: os portadores envolvidos são elétrons, pertencentes originalmente a um mar de partículas confinadas inicialmente em duas dimensões, com um grau de confinamento extra que é proporcionado pela adição de contatos metálicos. Esse novo ingrediente permite a criação de um perfil de potencial elétrico ajustável de forma que um único elétron ocupa um único nível energético, confinado em uma região restrita, o que configura um ponto quântico. Contatos extras, chamados de *gates*, são usados para acoplar pontos vizinhos por um mecanismo de tunelamento coerente. O maior processo de decoerência do sistema é causado pelos elétrons de fundo do mar de partículas que criam ruído e dessintonizam o nível discreto do ponto (*dephasing* neste contexto). É possível, controlando o valor do potencial dos *gates* que ligam os pontos com reservatórios de partículas, retirar e colocar um

elétron por vez em cada dispositivo. A nossa motivação para procurar por estados emaranhados neste sistema foram os resultados experimentais reportados por Hayashi *et al.* [44] e Shinkai *et al.* [45], sobre a dinâmica coerente dos elétrons neste contexto e a possibilidade de codificar um e dois bits quânticos, ou *qubits* neste sistema físico, respectivamente. Um segundo artigo do mesmo grupo de pesquisa [46] apontava a possibilidade de criar estados emaranhados mas não fazia uma descrição detalhada do fenômeno. Estes e outros trabalhos foram desenvolvidos em colaboração com o Prof. Fabrício Macedo de Souza, do INFIS-UFU. A seguir detalho brevemente os trabalhos realizados.

O primeiro trabalho no assunto, com os resultados do trabalho de conclusão de curso [35] e a dissertação de mestrado [36] da Dra. Patrícia A. Almeida de Oliveira e publicados na revista *Annals of Physics em 2015* [47], focava na análise das condições físicas para a criação de estados de Bell em um sistema de quatro pontos quânticos carregados. A codificação dos *qubits* era feita ao considerar um único elétron preso em um subsistema de dois pontos quânticos localizados lado a lado, onde o estado $|0\rangle$ era definido quando o elétron ocupa o ponto quântico da direita e $|1\rangle$ se ocupa o da esquerda. As energias dos níveis eletrônicos de cada ponto podem estar em dessintonia ou ressonância, situação que pode ser controlado experimentalmente por *gates* extras. Fazendo a mesma codificação para o segundo par de pontos, ainda é considerado que os quatro pontos quânticos são configurados de tal forma que há interação eletrostática entre os portadores em diferentes subsistemas. Assim, os dois *qubits* estão acoplados entre si. Resumindo, a dessintonia entre os níveis e o tunelamento garantiam as operações dentro de cada *qubit*, enquanto o acoplamento entre os mesmos era de responsabilidade da interação de Coulomb. Nossa análise numérica e analítica mostrou que é possível a geração dinâmica de estados de Bell, uma vez que estes são autoestados do Hamiltoniano em condições específicas de tunelamento e dessintonia do sistema. Ao mesmo tempo, é necessário o ajuste da razão entre o tunelamento e a interação de Coulomb para cumprir uma relação ideal para garantir a formação do estado em uma escala de tempo que é proporcional com o inverso dessa razão. O sistema é preparado em uma condição inicial realista, e evolui de forma periódica para um estado maximamente emaranhado a cada período de evolução.

A questão natural que surge ao trabalhar com a geração de emaranhamento é sobre a escalabilidade do processo. Este foi o assunto do trabalho de conclusão de curso e dissertação de mestrado [38] de José Nogueira de Castro Neto, agora doutorando no Instituto de Física Gleb Wataghin na Unicamp. Os resultados, publicados na revista *Physical Review A em 2021* [48], apontaram um cenário promissor, uma vez que após a codificação de três *qubits* neste sistema físico, a dinâmica do sistema permite a formação dos estados de Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) e estados FLIP, ambos estados emaranhados. Estes estados sempre estão definidos independentemente do número de *qubits*, e desta forma podemos checar sua formação em sistemas

acima de três *qubits* não com quantificadores de emaranhamento mas com o cálculo de fidelidade. Os nossos resultados mostraram que com o aumento do número de *qubits* ao mesmo tempo que a fidelidade com o estado GHZ cai, a escala temporal de formação aumenta, o que pode constituir um desafio em termos experimentais. Uma curiosidade, que é o assunto principal de um projeto de iniciação científica em andamento, é como muda o grau de emaranhamento do estado de energia mais baixa deste sistema. Isto porque verificamos que este estado é sempre um estado semelhante ao estado GHZ (da forma $|00\dots 0\rangle - |11\dots 1\rangle$, ainda sem considerar a constante de normalização), com fidelidade que decresce com o aumento da dimensão do sistema.

Paralelamente, foi do nosso interesse explorar o acoplamento de pontos quânticos carregados com outros sistemas (nanoressonadores, supercondutores, etc.). Nestes sistemas híbridos, um dos nossos trabalhos consistiu na exploração da interação entre elétrons dos pontos quânticos carregados com modos de cavidades bosônicas. A motivação experimental foi o trabalho com nanotubos de carbono reportado por Gof *et al* [49]. A curiosidade que surgiu na época era se a interação elétron-bóson, descrita pelo Hamiltoniano de Fröhlich [50], podia acoplar efetivamente os elétrons em *qubits* separados e, de acoplar, se era possível emaranhar os portadores. Em um tratamento teórico inicial, aplicamos a transformação de Lang-Firsov sobre o hamiltoniano do sistema, com um resultado promissor: a aparição de um termo de acoplamento efetivo entre os elétrons, com um formato semelhante à interação coulombiana. Também obtemos um termo que assinala uma interação efetiva entre os modos bosônicos, que não exploramos na época mas que faz parte de um projeto de iniciação científica em andamento. Os nossos resultados numéricos mostram que de fato acontece a geração dinâmica de estados maximamente emaranhados em um regime bastante amplo de valores de acoplamento elétron-bóson. A dinâmica, de forma semelhante ao caso usual que considera a interação Coulombiana, é oscilatória, embora a frequência aumenta e diminui mostrando uma dimensão adicional no controle da geração do emaranhamento, pois é possível manipular a escala temporal de formação do estado. Um modelo efetivo de dois níveis, obtido usando teoria de perturbação que leva em consideração processos de transições de ordens altas, fornece uma expressão geral da frequência característica das oscilações e a escala temporal. O nosso trabalho, que forma parte da tese de doutorado da Dra. Patrícia de Oliveira [37], foi publicado na revista *Physical Review A* em 2019 [51].

Outro sistema híbrido de nosso interesse foi o de pontos quânticos acoplados com supercondutores. Sobre este, desenvolvemos duas pesquisas separadas em 2017 e 2024, desta vez envolvendo colaboradores externos à instituição, embora a primeira autora de um dos trabalhos desenvolveu a tese no Programa de Pós-graduação em Física no INFIS-UFU. No trabalho publicado na revista *Physical Review B* em 2018 [52], feito em colaboração com Marizaura Assunção, o Prof. Gineton Diniz (Universidade Federal de Jataí) e o Prof. Fabrício Macedo de Souza

(INFIS-UFU), exploramos a detecção de um dubleto de Autler-Townes através de transporte eletrônico. Em vez do tunelamento, o papel do acoplamento entre os dois pontos quânticos é de responsabilidade de um dispositivo supercondutor que coloca ou retira elétrons aos pares em cada ponto, com estados de spin contrário. Para lidar com a degenerescência de spin do problema, assumimos o uso de campos magnéticos locais que quebram essa degenerescência por efeito Zeeman, e seleciona-se opticamente uma das componentes do spin para as subseqüentes manipulações do sistema. Primeiro, considerando a competição entre o acoplamento óptico e a ação do supercondutor, verificamos as condições da aparição do dubleto de Autler-Townes no sistema fechado. Após essa verificação, o sistema é acoplado com reservatórios e calculadas as fotocorrentes provenientes do sistema. Os nossos resultados mostram assinaturas da formação do dubleto nas medidas de fotocorrente, mesmo no regime estacionário.

Na segunda pesquisa, no mesmo sistema, retiramos todos os campos eletromagnéticos de cena e nos concentramos nas possibilidades da produção de elétrons emaranhados. A tarefa consistia em quantificar o emaranhamento dos elétrons que eram depositados no reservatório vindos dos pontos quânticos, que provinham do supercondutor, e procurar por alguma grandeza física clássica que assinala-se a presença desse emaranhamento. Este trabalho foi publicado recentemente na revista *Physical Review A* [53], feito em colaboração com a Dra. Sharmila Balamurugam (University of Warwick), a Profa. Hilma Macedo de Vasconcelos (UFC) e o Prof. Fabrício Macedo de Souza (INFIS-UFU). Nossa proposta consiste em explorar a dinâmica quântica combinada do supercondutor como um divisor de pares de Cooper, em conjunto com o cotunelamento entre os pontos, para encontrar as condições de formação de estados emaranhados de dois elétrons que por sua vez seguem seu caminho para fora do dispositivo alimentando dois reservatórios. Para quantificar o grau de emaranhamento, usamos diversas medidas como a entropia de von-Neumann, a negatividade, a informação mútua e a concorrência, a fim de comparar os seus diversos comportamentos com os das covariâncias. Estas são quantidades que podem ser calculadas a partir dos resultados de medidas experimentais de detecção de cargas vindas dos pontos quânticos, que, de ter dinâmica semelhante às medidas de emaranhamento, funcionariam como indicadores da existência dessas correlações. De fato, nossos resultados mostram que a covariância apresenta uma dinâmica que acompanha as oscilações características da formação de estados emaranhados no sistema, particularmente no que se refere aos máximos da função. Exploramos no trabalho os efeitos do *dephasing* sob a dinâmica do sistema e descobrimos que seria necessário manter esse mecanismo de decoerência com uma taxa com um valor de ao redor 1 GHz para a nossa proposta ser experimentalmente viável.

Cabe anotar o nosso trabalho em um interesse paralelo que surgiu uns anos atrás com relação ao estudo da formação de estados emaranhados neste sistema, com relação à procura de um tratamento semelhante ao encontrado em sistemas abertos bosônicos mas aplicado a reserva-

tórios fermiônicos. Usando como motivação os resultados do trabalho de 2015 [47], iniciamos a construção de um modelo de interação que resultasse em equações para sistemas abertos semelhantes à equação de Lindblad. O nosso formalismo oferece uma alternativa no estudo da dinâmica de uma configuração geral de um sistemas abertos fora do equilíbrio. Usando um mapeamento de férmion para *qubit*, providenciamos uma receita para a construção de hamiltonianos e lindbladianos fermiônicos multipartites. Para explorar o formalismo, exploramos os efeitos de um sensor de carga sobre a dinâmica do sistema estudado no trabalho de 2015. O sensor consiste em um ponto quântico aberto, acoplado e uma fonte e dreno de carga, que permitem um fluxo de corrente. O artigo com os nossos resultados foi publicado na revista *Physical Review A* em 2017 [54].

As nossas perspectivas de pesquisas futuras são a continuação da exploração do problema da escalabilidade e da exploração dos sistemas híbridos. Com o auxílio da entropia de von-Neumann, que pode ser definida independente da definição do sistema, pretendemos explorar as propriedades do emaranhamento do estado de mais baixa energia de um sistema com um número cada vez maior de *qubits*, além de quantificar a sua fidelidade com um estado GHZ. Esse é o projeto da discente de Engenharia Mecatrônica Ana Luiza Varela Pereira de Moraes, bolsista de Iniciação Científica da cota CNPq. As características dos estados criados nos modos bosônicos acoplados aos pontos quânticos no sistema híbrido com pontos quânticos são o assunto de pesquisa do projeto de Iniciação Científica Voluntária de Lucas Dias Rodrigues, discente do curso de Bacharelado em Física.

3.3 Interação de pontos quânticos com radiação incoerente, produção de luz quântica e outros trabalhos

Nesta seção relatamos dois trabalhos da tese do Prof. Jefferson Lira Santos (UniFTC) [39], dentro de uma linha de pesquisa liderada pelo Prof. Augusto Miguel Alcalde Milla (INFIS-UFU) que tem como assunto a exploração do mecanismo de tunelamento coerente de uma molécula quântica nas propriedades fotovoltaicas do dispositivo. Os resultados das nossas pesquisas foram publicados em 2022 nas revistas *Physics Letters A* [55] e *Journal of the Optical Society of America B* [56]. Também relatamos dois trabalhos sobre a produção de luz quântica: o primeiro, também parte da tese de doutorado do Prof. Jefferson Lira, trata de uma cavidade acoplada com um ponto quântico sob os efeitos de reservatórios de vários tipos, publicado em uma edição especial comemorativa dos sessenta anos do modelo de Jaynes-Cummings do *Journal of the optical Society of America B* neste ano [57]. O segundo é um trabalho de destaque sobre a produção do estado de Gottesman-Kitaev-Preskill, ou estado GKP, usando estados comprimidos interagindo através de interferômetros, publicado na revista *Optics Letters* em 2011 [58].

Sobre a conversão fotovoltaica [56, 55], o modelo usado considera como dispositivo uma molécula quântica como aquela descrita na Seção 3.1. Aqui a fonte de luz que excita os portadores é a luz do Sol, descrita como radiação incoerente. O sistema é aberto e os elétrons relaxam da banda de condução para a banda de valência com uma certa taxa, produzindo o que é denominado de fotocorrente. O processo de conversão fotovoltaica é analisado considerando diferentes larguras de barreiras e taxas de recombinação dos pares elétron-buraco que a luz do Sol cria ao iluminar o nanodispositivo. Diversas grandezas físicas são calculadas, em particular a variação da fotocorrente comparada com aquela fornecida por uma fotocélula de um único ponto quântico, a relação corrente-tensão no dispositivo, a eficiência e a potência fornecida. O nosso resultado mais importante foi a demonstração de que o ganho na potencia, ao comparar com um dispositivo de um único ponto quântico, é de até 30%. Também mostramos que a molécula quântica excede o limite de Chambadal-Novikov-Curzon-Ahlborn ao estudar o comportamento do sistema como uma máquina térmica.

O terceiro trabalho da tese está inserido no assunto de produção de luz quântica. Aqui, o interesse é a geração de estados de gato de Schrödinger considerando um cenário onde um ponto quântico interage com um modo de cavidade, nos mesmos moldes dos sistemas atômicos bem conhecidos dos trabalhos do grupo de Serge Haroche [59]. No [nosso artigo](#) [57], o papel do átomo é preenchido por um éxciton que interage com um modo confinado em uma cavidade nano-fotônica, acoplamento descrito pelo modelo Jaynes-Cummings no limite dispersivo. Mais do que a geração, focamos em discutir os efeitos do reservatório sobre o estado bosônico na nano-cavidade. O reservatório é representado como um oscilador harmônico ligado linearmente a N osciladores, e consideramos dois tipos: um finito, com um valor máximo de modos, e o segundo é estruturado, no qual as interações entre o sistema quântico e o banho não é uniforme para todas as frequências dos modos do reservatório. Para caracterizar os nossos sistemas calculamos a função de Wigner do estado na nano-cavidade, medidas de correlações quânticas como a entropia mútua e concorrência, além de uma medida para estabelecer a não-markovianidade no sistema. No primeiro caso, acompanhamos a criação e morte do estado de gato na cavidade, com a subsequente evolução das correlações entre o sistema quântico e o reservatório. A média normalizada da informação mútua exibe um platô, o que é sinal de que fragmentos do reservatório de tamanhos variados fornecem informações equivalentes sobre o sistema físico de interesse. No caso do reservatório estruturado, observamos que a dinâmica neste último cenário desvia-se significativamente do limite Markoviano, exibindo oscilações não apenas na contagem média de fótons, mas também no defeito de idempotência. Essas oscilações afetam o fluxo de informações entre o sistema e seu ambiente, como evidenciado pelas medidas de não-Markovianidade calculadas.

Embora relatado por último, talvez o trabalho de maior relevância da minha carreira seja aquele publicado na revista *Optics Letters* em 2010 [58], produto de uma colaboração com a Profa. Hilma M. de Vasconcelos (Departamento de Engenharia de Teleinformática-UFC) e o Dr. Scott Glancy (NIST-Boulder), onde exploramos uma proposta para a geração dos estados de Gottesman-Kitaev-Preskill, ou estados GKP [60]. A proposta se inicia com a produção de estados de gato de Schrödinger nos braços de vários divisores de feixe. Considerando inicialmente um par desses estados em um único interferômetro, eles passam pelo divisor que é preparado com uma transmissividade de 50%, e mede-se a quadratura de momento linear de um dos modos. O outro estado sofre um processo de compressão na quadratura de posição para encontrar um estado semelhante, criado por outra sequência das operações divisor de feixe-medida-compressão. Após muitas iterações, um estado GKP aproximado é criado, em um processo onde só operações ópticas foram usadas. Após anos permanecendo como uma proposta teórica, o método foi implementado experimentalmente, com adaptações, em 2019 [61], no grupo de Olivier Pfister na Universidade de Virgínia.

Outros trabalhos publicados durante minha carreira na UFU foram:

1. *Coherent control of the dynamics of a single quantum-dot exciton qubit in a cavity* em co-autoria com o discente de doutorado Antônio de Freitas e o Prof. José Maria Villas-Bôas, publicado na revista *Physical Review B* em 2017 [62]. A nossa proposta consiste em usar um laser externo de bombeio para controlar o estado excitônico dentro de um ponto quântico que codifica um *qubit*.
2. *Implementation of quantum logic gates using coupled Bose-Einstein condensates* em co-autoria com o discente de mestrado Fabrício de Souza Luiz e o Prof. Eduardo Duzzioni (DF-UFSC), na data ainda docente do INFIS-UFU. No trabalho, propomos a codificação de um *qubit* em dois condensados de Bose-Einstein de átomos em estados hiperfinos diferentes acoplados com luz e encontramos as condições da dinâmica das operações de um *qubit*, necessárias em qualquer protocolo de computação quântica. O trabalho foi publicado na revista *Brazilian Journal of Physics* em 2015 [63].
3. *Atom-mediated effective interactions between modes of a bimodal cavity* em co-autoria com o Dr. Fabiano Oliveira Prado, o discente de mestrado Fabrício de Souza Luiz e os Profs. José Maria Villas-Bôas, Augusto Alcalde e Eduardo Duzzioni. Publicado na revista *Physical Review A* em 2011 [64], o foco do trabalho era mostrar um procedimento para construir interações efetivas entre dois modos da cavidade que inicialmente não estavam acoplados. Isso era feito através de interações desses modos com um ou vários átomos.

3.4 Orientações, Projetos de Pesquisa, Participação em eventos e Atuação como Revisora de Periódicos

Ao longo dos dezesseis anos da minha carreira docente orientei duas teses de doutorado, três dissertações de mestrado, quatro trabalhos de conclusão dos cursos de Bacharelado de Física de Materiais e de Licenciatura em Física e treze projetos de iniciação científica como estão discriminados na lista a seguir:

- Teses de Doutorado:

1. Jefferson Lira Santos. Aplicações da dinâmica de portadores de cargas semicondutores em sistemas quânticos abertos [39]. Defendida no ano de 2021.
2. Patrícia Aparecida Almeida de Oliveira. Emaranhamento em moléculas de pontos quânticos semicondutores [37]. Defendida no ano de 2019.

- Dissertações de Mestrado:

1. José Nogueira de Castro Neto. Geração Dinâmica de estados GHZ [38]. Defendida em 2021.
2. Patrícia Aparecida Almeida de Oliveira. Dinâmica, emaranhamento e decoerência em moléculas quânticas acopladas [36]. Defendida em 2013.
3. Fabrício de Souza Luiz. Portas lógicas e Condensados de Bose-Einstein [65]. Defendida em 2008.

- Trabalhos de Conclusão de Curso:

1. Juliana Zanatta Finotti, discente do Bacharelado em Física de Materiais. Teletransporte quântico usando *qubits* híbridos [66]. Finalizado em 2022.
2. José Nogueira de Castro Neto, discente do Bacharelado em Física de Materiais. Conceitos Gerais sobre o Emaranhamento com Aplicação em Moléculas Quânticas [67]. Finalizado em 2018.
3. Lucas Henrique de Oliveira, discente do Bacharelado em Física de Materiais. Introdução à Informação Quântica e *Qbits* fotônicos. Finalizado em 2015.
4. Patrícia Aparecida Almeida de Oliveira, discente do curso de Licenciatura em Física. Dinâmica e emaranhamento em moléculas quânticas acopladas [35]. Finalizado em 2013.

- Projetos de Iniciação Científica:

1. Bianca Almeida Corrêa, discente do Bacharelado em Física de Materiais. Criptografia Quântica: das primeiras propostas às implementações recentes. Ano 2021. Modalidade: Programa de Iniciação Científica Voluntária.
2. Juliana Zanatta Finotti, discente do Bacharelado em Física de Materiais. Conceitos Fundamentais da Mecânica Quântica e Teletransporte quântico usando *qubits* híbridos. Anos 2019-2021. Modalidade: Bolsa de Iniciação Científica - Cota CNPq.
3. Eduardo Guimarães Lino de Paula, discente do Bacharelado em Física de Materiais. Aplicação dos conceitos fundamentais de mecânica quântica em computação quântica. Anos 2017-2018. Modalidade: Bolsa de Iniciação Científica - Cota CNPq.
4. Mardey Santana Silva, discente do Bacharelado em Física Médica. Estudo dos fundamentos das áreas de Computação e informação quântica. Ano 2013. Modalidade: Programa de Iniciação Científica Voluntária.
5. Andressa Monteiro Rosini, discente do Bacharelado em Física Médica. Implementação de métodos numéricos para o estudo de propriedades quânticas da luz. Anos 2011-2013. Modalidade: Bolsa de Iniciação Científica - Cota FAPEMIG.
6. Patrícia Aparecida Almeida de Oliveira, discente do curso de Licenciatura em Física. Dinâmica e emaranhamento em moléculas quânticas acopladas. Anos 2009-2011. Modalidade: Bolsa de Iniciação Científica - Cota CNPq.
7. Rafael Fabri Macena de Jesus, discente do curso de Engenharia Química. Implementação no laboratório de física básica de análogos clássicos da transparência eletromagneticamente induzida. Ano 2009. Modalidade: Bolsa de Iniciação Científica - Cota FAPEMIG.

No momento, co-oriento a tese de doutorado do discente Caio Matheus Fontinele dos Santos intitulada "Fonóritons em nanoestruturas semicondutoras" e oriento dois projetos de iniciação científica:

- Lucas Dias Rodrigues, discente do Bacharelado em Física. Emaranhamento bosônico em um sistema de pontos quânticos acoplados com cavidades bosônicas. Início: 2024. Modalidade: Programa de Iniciação Científica Voluntária.
- Ana Luiza Varela Pereira de Moraes, discente do curso de Engenharia Mecatrônica. Escalabilidade do emaranhamento em sistemas de pontos quânticos carregados. Início: 2024. Modalidade: Bolsa de Iniciação Científica - Cota CNPq.

Uma questão importante são os projetos de pesquisa aprovados em agências de fomento dos quais fui coordenadora ou participante. Segue abaixo a relação:

1. Tomografia e análise de dados de estados quânticos em sistemas fotônicos e dispositivos semicondutores - Chamada CNPq/MCTI/FNDCT N^o 18/2021 - Faixa A - Grupos Emergentes. Início: 2022 (em andamento). Papel: participante. Recursos aplicados na UFU: R\$ 14.194,00 em material permanente e R\$ 500,00 em serviços à terceiros, além de pagamento de diárias e passagens para participação de eventos dos docentes e discentes do grupo de pesquisa.
2. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica -CHAMADA INCT – MCTI/CNPq/CAPES/FAPs n^o 16/2014. Início: 2022 (em andamento). Papel: participante. Recursos aplicados na UFU: R\$ 67.163,22 em material permanente e R\$ 700,00 em serviços à terceiros.
3. Emaranhamento e decoerência em moléculas quânticas e *qubits* fotônicos - Edital 01/2014 - Demanda Universal - FAPEMIG. Vigência: 2014 - 2017. Papel: coordenadora. Recursos aplicados na UFU: R \$11.025,00 em material permanente.
4. Colaboração UFU-USP-UFMG-IPEN: Estrutura eletrônica, Informação Quântica e Caracterização de Biomateriais - Chamada Pública MCTI/CNPq/MEC/Capes – Ação Transversal n^o 06/2011 – Casadinho/Procad. Vigência: 2012 - 2016. Os recursos consistiam em diárias e passagens para visitas.
5. Informação Quântica em sistemas ópticos e de estado sólido - Edital MCT/CNPq 14/2008 - Universal - Faixa A. Vigência: 2010 - 2012. Papel: Coordenadora. Recursos aplicados na UFU: R\$ 10.361,40 em material permanente.
6. Dinâmica do emaranhamento, operações lógicas e criação de estados robustos em sistemas ópticos e de estado sólido - Chamada FAPEMIG Edital 01/2010 - Demanda Universal. Vigência: 2010 - 2012. Papel: Coordenadora. Recursos aplicados na UFU: R\$ 19.047,00 em material permanente.
7. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica (INCT-IQ) - Chamada INCT - MCTI/ CNPq/ CAPES/ FAPs n^o 16/2014. Vigência: 2009 - 2015. Papel: participante. Recursos aplicados na compra de dois netbooks, uma impressora laser colorida e um projetor, além de pagamento de diárias e passagens para participação de eventos dos docentes e discentes do grupo de pesquisa.
8. Computação Quântica em Nanoestruturas Semicondutoras - Edital 04/2009 - Programa Especial de Apoio a Recém-Doutores da Universidade Federal de Uberlândia. Vigência: 2008 - 2010. Papel: participante.

Ao longo da minha carreira, participei de eventos nacionais e internacionais sempre com apresentação de trabalho como consta no meu [currículo Lattes](#). Dentre estes destaco os seguintes:

- *II Paraty Quantum Information School and Workshop*. Trabalho apresentado: *Obtaining a non-linear effective Hamiltonian by using a bimodal cavity*. Paraty-RJ (2009).
- *12th international conference on squeezed states and uncertainty relations*. Trabalho apresentado: *All-optical generation of states for "Encoding a qubit in an oscillator"*. Foz de Iguaçu-PR (2011).
- *7th International conference on quantum dots*. Trabalho apresentado: *Dynamics and entanglement properties of electrons in coupled quantum molecules*. Santa Fe - Estados Unidos (2012).
- *23th International Conference on Atomic Physics*. Trabalho apresentado: *Effective Hamiltonians and entangled coherent states in a bimodal cavity*. Massy - França (2012).
- *XII International Conference on Squeezed States and Uncertainty Relations*. Trabalho apresentado: *Entanglement Dynamics of Charged Quantum Molecules*. Nuremberg - Alemanha (2013).
- *8th International Conference on Quantum Dots*. Trabalho apresentado: *Bell states and entanglement dynamics on coupled quantum molecules*. Pisa - Itália (2014).
- *V Paraty Quantum Information School and Workshop*. Trabalho apresentado: *Quantum phenomena in quantum molecules*. Paraty-RJ (2015).
- *VII Paraty Quantum Information School and Workshop*. Trabalho apresentado: *Quantum dynamics in Charged Quantum Dots*. Paraty-RJ (2019).

Uma informação que considero relevante, quando se fala do meu papel como pesquisadora, é o meu trabalho como parecerista de revistas especializadas. Segue a lista das revistas, junto com o QUALIS CAPES na área de Astronomia/Física (2017-2020) e, entre parênteses, o ano de início da minha atividade como parecerista:

1. *Brazilian Journal of Physics*. Qualis A3 (2019).
2. *Entropy*. Qualis A2 (2024).
3. *European Physical Journal D*. Qualis A2 (2018).
4. *Journal of the Optical Society of America B*. Qualis A3 (2017).
5. *Physica A*. Qualis A1 (2016).
6. *Physical Review A*. Qualis A1 (2020).
7. *Physical Review E*. Qualis A1 (2009).

8. *Physical Review Letters*. Qualis A1 (2006).
9. *Physics Letters A*. Qualis A3 (2016).
10. *Quantum Information Processing*. Qualis A3 (2014).
11. *Optics Express*. Qualis A2 (2019).

Capítulo 4

Atuação Profissional: Extensão

Neste capítulo relato meu trabalho no eixo de extensão que se iniciou no ano de 2018 com o estabelecimento de uma colaboração com as fundadoras e coordenadoras do projeto “Tem Menina no Circuito”, Profas. Elis Sinnecker, Tatiana Rappoport e Thereza Paiva, da Universidade Federal de Rio de Janeiro (UFRJ). O objetivo na data era criar uma filial mineira do projeto, objetivo que foi cumprindo em 2019 e que continua até os dias de hoje.

Uma segunda atuação em extensão é minha participação como membro da comissão de atividades de divulgação científica do INCT de Informação Quântica, entre março de 2019 até maio de 2023. Como membro da comissão, realizei diversas funções que incluíram a criação e manutenção de redes sociais, a organização de eventos presenciais e virtuais, além da preparação de diversos materiais em colaboração com pesquisadores do INCT-IQ. Produtos paralelos desse trabalho são as palestras proferidas e participação em *podcasts* em prol do combate à desinformação sobre assuntos de Mecânica Quântica.

4.1 Tem Menina no Circuito - Minas

Desde a sua criação pelas Profas. Elis Sinnecker, Tatiana Rappoport e Thereza Paiva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2014, o projeto “Tem Menina no Circuito” vem se destacando no cenário nacional. A missão do projeto é incentivar meninas e jovens mulheres a gostar de ciências exatas e tecnologia, através de ações executadas em escolas de ensino fundamental e médio e atividades abertas ao público geral. A iniciativa é regida por um conjunto de valores que norteiam essas ações sendo estes a equidade, o acesso à educação de qualidade, o compromisso com o letramento científico, o respeito à diversidade e o exercício da ética no tratamento tanto aos colaboradores quanto aos recipientes do projeto. O leque de atividades varia, sendo o mais importante a formação de grupos de meninas dentro das escolas participantes, que realizam atividades semanais com monitoras, estas sendo discentes de graduação de cursos de física ou áreas das ciências exatas e de tecnologia. Paralelamente,

incentivam-se as visitas a espaços de ciência e universidades, além da realização de palestras de pesquisadoras dentro do ambiente escolar [68].

Acompanhei o projeto quase desde sua fundação, e fui participante da oficina que a fundadora, Profa. Thereza Paiva, realizou durante a X Semana da Física no INFIS-UFU em setembro de 2017. Em 2018, o CNPq abre a Chamada CNPq/MCTIC N^o 31/2018 - Meninas nas Ciências Exatas, Engenharias e Computação e entrei em contato com as fundadoras para desenvolver uma “filial mineira” do projeto em Uberlândia, uma vez que a abordagem desenvolvida no Rio de Janeiro tinha eficácia comprovada, e não fazia sentido dar um nome diferente a um projeto de extensão que se basearia na missão e nos valores do Tem Menina no Circuito. Após algumas consultas internas dentro do INFIS, a Profa. Sorandra Corrêa de Lima manifestou o desejo de formar parte da equipe de docentes, trazendo duas escolas da cidade de Monte Carmelo que se interessaram em participar da proposta do CNPq. Embora a proposta teve seu mérito reconhecido, os recursos não foram aprovados. Mesmo assim, decidimos iniciar trabalhos em Uberlândia, após um treinamento recebido em novembro de 2018 em oficinas desenvolvidas pelo projeto no Museu do Amanhã.

O trabalho se inicia de fato com o cadastro como projeto de extensão dentro da Pró-reitoria de Extensão e Cultura da Universidade Federal de Uberlândia no ano de 2019, sendo esse cadastro renovado anualmente de forma ininterrupta desde essa data até o presente. Além da formação do primeiro grupo de meninas do projeto em Uberlândia, do qual falarei mais adiante, trabalhamos em conjunto com a equipe principal do Rio de Janeiro e o Museu Iterativo do Instituto de Física da UFRJ (LADIF-UFRJ) no evento de extensão “Paraty Quantum na Escola”, promovido pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica e do qual fui a coordenadora geral. As técnicas pedagógicas usadas no evento, que viabilizaram o atendimento do 13,6% da população escolar do município de Paraty além de atendimento ao público geral em dois eventos abertos em uma praça da cidade, foram reportadas em uma publicação na revista *Latin-American Journal of Physics Education* [69]. Falarei mais detalhadamente do evento na próxima seção.

Na realização das nossas atividades presenciais, atuamos em três escolas públicas sendo estas a Escola Estadual Professor Vicente Lopes Perez (Monte Carmelo-MG), a Escola de Educação Básica da Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia-MG) e a Escola Estadual Segismundo Pereira (Uberlândia-MG). Em Monte Carmelo as atividades foram de caráter pontual, focando particularmente no auxílio ao docente em atividades como participação em olimpíadas e apoio com experimentos de circuitos com massinha para contextualizar conceitos de eletricidade em sala de aula. Em 2023, com o auxílio de uma bolsista financiada com recursos do edital PEIC 2023 da Pró-reitoria de Extensão e Cultura, um grupo de meninas de escolas públicas da

cidade realizou um conjunto de visitas ao campus da UFU em Monte Carmelo para a realização de oficinas, conversas com pesquisadores e visitas a laboratórios.

Já em Uberlândia, um grupo de sete meninas da Escola de Educação Básica da UFU (ESEBA-UFU) foi formado e as atividades foram iniciadas em junho de 2019. Em termos da história do projeto é de se destacar que essa foi a formação da primeira turma de alunas do ensino fundamental II do projeto Tem Menina no Circuito como um todo. As atividades da escola foram planejadas e desenvolvidas em parceria com a Profa. Maísa Gonçalves da Silva, do Departamento de Matemática da ESEBA-UFU. No período compreendido entre os meses de junho a dezembro de 2019 aplicamos um conjunto de atividades separando e juntando os grupos de meninas e meninos. O assunto escolhido foi a condutividade elétrica em circuitos e dividimos as atividades em três etapas: introdução ao assunto, discussão e fixação de conceitos chaves e, finalmente, divulgação do conhecimento adquirido em atividades planejadas e executadas pelo grupo de participantes.

Duas experiências se destacam como as mais marcantes do trabalho nessa primeira etapa na ESEBA. A primeira foi a visita à universidade, não na condição de espectadores e sim em um rol semelhante a estudantes universitários, com acesso aos equipamentos (fontes de tensão constante, multímetros, componentes elétricos etc.) usados nas aulas da graduação em ciências e engenharia. A segunda foi a experiência no papel de monitores das oficinas, onde o grupo de meninas e meninos tiveram a oportunidade de discutir estratégias de trabalho com faixas etárias diferentes e crianças com necessidades especiais (uma por turma). Estas oficinas foram realizadas em duas semanas (final de novembro e início de dezembro de 2019) atendendo 60 crianças do 1º ano e 75 crianças do ensino fundamental I. Essas experiências foram relatadas em um capítulo do livro “Exatas é com elas - Tecendo redes no estado de Rio de Janeiro” [70]. Um segundo grupo de meninas foi formado em 2023, com nosso trabalho sendo apoiado com recursos do edital PEIC 2023 da PROEXC. Além de incluir a participação de monitoras, o grupo realizou passeios ao Museu Diversão com Ciência e Arte - DICA, da UFU, e dois laboratórios de pesquisa da UFU, o Laboratório de Automação, Sistemas Eletrônicos e Controle (LASEC) da Faculdade de Engenharia Elétrica e o Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, ambos coordenados por pesquisadoras mulheres.

No mesmo ano de 2023, o recurso recebido pelo PEIC viabilizou a participação do projeto no evento “Brincando & Aprendendo”, organizado pelo Museu Dica como parte das comemorações da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Com uma equipe de doze monitoras, desenvolvemos um conjunto de oficinas e demonstrações ofertadas para as escolas que visitaram durante os três dias da duração do evento. O público estimado foi de aproximadamente 300 discentes atendidos diretamente no nosso estande, o que deve corresponder a mais do 80% do público

total do evento. As oficinas ofertadas foram o de cartão de led, circuitos em massinha, e condutividade elétrica usando o controlador *Makey-Makey* [71]. A participação do projeto está confirmada para o ano de 2024.

A consolidação do projeto em Uberlândia é atingida em 2024 com a chegada da Profa. Gabriela Vieira Lima, da Faculdade de Engenharia Elétrica, que se soma à Profa. Maísa Gonçalves e ao Prof. Alex Medeiros de Carvalho, ambos da ESEBA, para fechar a equipe docente do projeto. Neste ano, a Escola Estadual Segismundo Pereira é a sede do nosso projeto, onde desenvolvemos atividades desde o mês de abril, alternando entre propostas de atividades do conteúdo de eletromagnetismo e física em geral e robótica, com material da escola. A parceria deve continuar no ano de 2025, e uma segunda escola, a Escola Estadual Frei Egídio Parisi, deve receber o projeto também no ano de 2025.

Cabe anotar que o trabalho do projeto mudou de formato durante a pandemia, se concentrando nas redes sociais, onde meus esforços se somaram aos das fundadoras em prol da geração de conteúdos de ciência para os seguidores dos perfis particularmente no Facebook e no Instagram [72, 73]. Com esse intuito são criadas quatro séries de postagens, dois nas quais tive participação direta na pesquisa e produção de conteúdo sendo estas a série sobre "Pioneiras da Física Brasileira" e "Físicas da Academia Brasileira de Ciências".

4.2 A comissão de atividades de divulgação científica do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica.

Atividades de extensão universitária foram desenvolvidas como resultado da minha participação como membro da comissão de atividades de divulgação científica do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica, que teve início em abril de 2019. A comissão inicial consistia de pesquisadores principais do Instituto sendo estes as Profas. Nadja Bernardes (UFPE) e Vivian França (UNESP), e os Profs. Carlos Eduardo de Souza (UFF), Pierre Louis de Assis (Unicamp) e Marcelo P. de França Santos (UFRJ), este último parte do Comitê gestor do INCT-IQ e por tanto figura fundamental de enlace deste com a Comissão. Mais tarde, com a saída da Profa. Nadja Bernardes para formar parte do Grupo de Trabalho de Gênero da Sociedade Brasileira de Física, entram na comissão a Profa. Bárbara Amaral (USP) e o Prof. Leonardo A. Mendes de Souza (UFV).

As minhas primeiras ações dentro da comissão foi a criação dos perfis da iniciativa nas redes sociais Facebook [74] e Instagram [75], além do canal no YouTube [76]. Todos os membros

da comissão tinham permissões para publicar e editar conteúdo, e as redes passaram a ser um canal de divulgação das pesquisas realizadas no Instituto, além de notícias de destaques sobre pesquisadores ou artigos publicados. Uma série interessante feita na pandemia, que foi minha iniciativa pessoal, foi um percorrido virtual pelos grupos de pesquisa e os pesquisadores pertencentes ao INCT-IQ, embassado dentro do movimento "Marcha pela Ciência" no Brasil que na época não podia acontecer presencialmente. A coleta de dados para a apresentação de grupos me permitiu conhecer, além das publicações, os números sobre formação de recursos humanos dos pesquisadores principais do Instituto. Em 2022, números atualizados da produção científica do INCT-IQ serviram como base para um estudo sobre as características da rede de pesquisa, cujos resultados foram publicados em um artigo em colaboração com a Dra. Rute Oliveira e o Prof. Rafael Chaves (IIP e UFRN) na Revista Brasileira de Ensino de Física [77] e apresentados na Conferência Temática de Tecnologias Quânticas organizada pela Academia Brasileira de Ciências e a Fundação de Apoio à Pesquisa (FAPERJ) em abril de 2024 [78].

Falei na Seção 4.1 sobre o evento "Paraty Quantum na Escola" que merece um detalhamento maior nesta seção pois meu trabalho nele foi mais no meu papel como membro da comissão de divulgação do INCT-IQ do que como membro do projeto "Tem Menina no Circuito". O evento surgiu com o intuito de ampliar as já tradicionais atividades de extensão que o evento científico internacional "Paraty Quantum: School and Workshop" sempre fez desde 2007. Através dos contatos do Prof. Marcelo P. de França Santos, um dos criadores do evento científico, conheci a Suelen Brito, que foi a pessoa que estando presente na cidade ajudou com questões logísticas. O contato com o Colégio Estadual Eng. Mário Moura Brasil do Amaral (CEMBRA) foi feito também através do Prof. Marcelo, pois a escola já tinha recebido no passado atividades de extensão relacionadas ao evento. A partir desses contatos, e estabelecido um novo com a Secretaria Municipal de Educação, fomos capazes de oferecer uma programação de visitas a quatro escolas do município para a realização de oficinas do "Tem Menina no Circuito", uma exposição de experimentos de física a cargo da técnica Renata Amaral e uma equipe de monitores do LADIF-UFRJ, dois eventos na Praça do Chafariz com oficinas e experimentos iterativos e duas palestras sobre Mecânica Quântica proferidas pelo Prof. Pablo Saldanha, membro do comitê organizador do evento. A programação, de cinco dias de duração, teve um total de 1218 discentes da rede pública de ensino, que correspondia na época ao 13,6% das matrículas do município nas etapas e modalidades de ensino engajadas no evento. Fizemos uma estimativa de 130 pessoas do público geral atendidas nos eventos abertos na Praça do Chafariz.

Na pandemia outro evento realizado com apoio dos pesquisadores do INCT-IQ, uma palestra online, foi organizado em parceria com os organizadores do evento Quantum Latino, a Secretaria Municipal de Educação de Paraty, o projeto "Tem Menina no Circuito", o LADIF, a Escola de Educação Básica da Universidade Federal de Uberlândia e o Museu Dica. A palestra proferida

pela Profa. Bárbara Amaral intitulada “Tecnologias Quânticas: seu computador vai virar sucata?” foi seguida por uma seção de perguntas onde a palestrante e o Prof. Marcelo P. de França Santos (IF-UFRJ) respondiam perguntas de uma audiência majoritariamente composta por discentes do ensino fundamental II e médio. A atividade foi mediada pela Dra. Patrícia A. Almeida de Oliveira, que atua como docente e gestora escolar em Araguari-MG, e desenvolveu seu doutorado na área de Informação Quântica sob minha orientação. O evento foi muito dinâmico e a gravação da atividade foi registrada no Canal do INCT-IQ [79].

4.3 Outras ações de extensão

Em razão a minha condição de pesquisadora da área de Informação Quântica e produto do meu trabalho na comissão, fui convidada para dois *podcasts* promovidos pela Universidade Federal de Uberlândia:

- Ciência ao Pé do Ouvido - *Podcast* da Divisão de Divulgação Científica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) [80]:
 - Episódio 15: Quântica: é ou não é?
 - Episódio 16: Ciência e pseudociência: como diferenciá-las?
 - Episódio 17: Mística na Física?
 - Episódio 18: Quântica: o que mais precisamos saber?
- UFUCast - *Videocast* da Diretoria de Comunicação da Universidade Federal de Uberlândia (Dirco/UFU) - Episódio 19 - Medicina Quântica e Pseudociência [81].

Além disso proferi três palestras sobre mecânica quântica e pseudociência: uma no dia C da ciência, evento promovido pela Diretoria de Pesquisa da UFU, em outubro de 2019, outra para o Programa de Educação Tutorial da Licenciatura em Física em 2022 e uma terceira vez na Casa da Ciência da UFRJ em março de 2024.

Por último, queria mencionar a aula magna proferida à convite da Pró-reitoria de Extensão, Cultura e Assuntos Estudantis para a abertura das ações do Projeto UFU Acolhe Imigrantes (Projeto UAI) [82]. O projeto, liderado pela Profa. Juliana Faquim, da Escola Técnica de Saúde da UFU (ESTES-UFU), tinha como objetivo oferecer um curso de qualificação profissional em Higienista de Serviços de Saúde, em um momento onde esses profissionais estavam em falta devido à pandemia do COVID-19. Do curso participaram alunas em condições de alta vulnerabilidade social, das quais o 50% eram imigrantes. Proferir a aula magna foi um dos momentos mais desafiadores da minha carreira, pois passei longe do meu dia a dia como docente e pesquisadora. Foi um momento de introspecção intensa, e de reflexão sobre meu próprio processo de saída do meu país, adaptação e imersão dentro do Brasil.

Capítulo 5

Atuação Profissional: Gestão

A seguir relato minhas atividades de gestão durante minha carreira universitária com destaque para a Coordenação do Curso de Bacharelado em Física de Materiais e o meu tempo como representante docente na Coordenação de Extensão dentro do Conselho do Instituto de Física. Pela minha participação nestas atividades tive a oportunidade de ser membro de três Conselhos Superiores da UFU sendo estes o Conselho de Graduação (CONGRAD), o Conselho de Extensão, Cultura e Assuntos Estudantis (CONSEX) e o Conselho Universitário (CONSUN), este último o maior órgão deliberativo da UFU.

5.1 Coordenação do Curso de Bacharelado de Física de Materiais

Fui eleita para o cargo de Coordenadora do Curso de Bacharelado em Física de Materiais, cargo que ocupei do 05 de agosto de 2013 até o 04 de agosto de 2015. Na data, o curso tinha passado por uma reestruturação após a implantação do SISU em 2010, tendo o calendário atrasado após a greve de 2012. Desta forma me vi coordenando o curso ao mesmo tempo que tinha aceitado ser a docente ministrante de Física Básica 1 para os ingressantes. Essa coincidência resultou interessante pois acompanhar os ingressantes e suas dificuldades de adaptação não só como docente mas como coordenadora foi importante na hora de pensar em ações para evitar a retenção e a evasão em uma época onde programas agora bem estabelecidos na UFU para combater essas macelas ainda não existiam. A primeira medida foi a procura por um monitor que pudesse acompanhar os estudantes para sanar dúvidas em questões básicas de matemática, além de aumentar o tempo de discussão de problemas. Outra iniciativa foi procurar a Coordenação da Pós-graduação para reformular os estágios de docência de forma que pós-graduandos, que na época só cumpriam 15 horas de aula em sala dentro do estágio, pudessem cumprir uma carga horária maior de forma que apoiassem particularmente os docentes das físicas básicas.

Também de comum acordo com o Programa de Pós-graduação em Física, foi programado o curso de Tópicos de Pesquisa em Física, disciplina avançada do curso, de forma que o horário coincidi-se com o horário do seminário da pós-graduação. Desta forma, o seminário faria parte das atividades obrigatórias da disciplina e esperava-se maximizar o contato dos discentes do ciclo profissional do curso com os docentes pesquisadores e os convidados externos que na época ministravam os seminários. Também foram feitas intervenções da Coordenação em prol do incentivo da iniciação científica, entrevistando os discentes quanto aos seus interesses e encaminhando-os aos docentes que pesquisavam em assuntos que podiam ser do interesse.

Outras ações específicas na época foram a adequação do projeto pedagógico do curso quanto à inclusão de conteúdos e atividades curriculares concernentes à Educação das Relações Étnico-raciais e Histórias e Culturas Afro-Brasileira, Africana e Indígena e a questões ambientais. Isso foi feito juntamente ao Colegiado pela inclusão de atividades complementares no currículo do curso. Também organizamos um sistema de equivalências automáticas de disciplinas entre o currículo antigo e o novo (após 2010) e entre as disciplinas dos dois currículos e as disciplinas do curso de Física-Licenciatura.

5.2 Conselho do Instituto de Física 2017-2019

A partir de Maio de 2017 e até Maio de 2019, fui membro do Conselho do Instituto de Física, em meu papel de representante docente da Coordenação de Extensão, que ainda estava na fase de formação. As Coordenações de Extensão (COEXT) começaram a serem formalizadas em 2010 com a aprovação da Resolução No. 01/2010 do Conselho de Extensão, Cultura e Assuntos Estudantis (CONSEX). Embora o antigo regimento do Instituto de Física menciona-se a existência de uma coordenação de extensão formada por três docentes, todos membros do Conselho da Unidade Acadêmica, essa organização não se adequava ao previsto pela Universidade. Durante meu tempo no Conselho, organizei a documentação para iniciar o processo de formação do que seria a COEXT-INFIS até a meu pedido de dispensa do Conselho.

Fui eleita dentro do Conselho do INFIS para representar a Unidade no CONSEX, papel que desempenhei desde o 23 de agosto de 2017 até o 08 de maio de 2019. Além da participação geral nas reuniões e elaboração de pareceres, tive a oportunidade de participar dos primeiros trabalhos de construção da recém criada Pró-reitoria de Assuntos Estudantis, o que me deu uma visão privilegiada do sistema de assistência estudantil da UFU.

5.3 Outras atividades de gestão

Outras atividades de gestão realizadas durante minha carreira foram:

-
- Elaboração do exame de proficiência de língua estrangeira do Programa de Pós-graduação em Física - Semestres 2008/2, 2009/2,
 - Banca do Processo Seletivo do Programa de Pós-graduação em Física - Semestres 2009/1, 2009/2, 2010/1,
 - Comissão de elaboração de normas regimentais No. 002 e No. 003 do Programa de Pós-graduação em Física - Semestre 2010/1.
 - Presidente da Banca de Concurso Público Edital 042/2013 em abril de 2013.
 - Membro do Colegiado do Curso de Bacharelado de Física de Materiais - 2017 a 2019.
 - Membro do Núcleo Docente Estruturante do Bacharelado de Física de Materiais - 2018 a 2020.

Considerações finais

Apresentei neste documento um relato sucinto das minhas atividades como docente do mestrado superior no período de dezesseis anos (2008-2024), durante os quais desenvolvi atividades nos quatro eixos de atuação de pesquisa, ensino, extensão e gestão. Quanto as atividades de ensino, destaco que pela minha experiência tenho a capacidade de ministrar qualquer disciplina de física básica, de cunho teórico ou experimental, além de disciplinas do ciclo profissional de Mecânica Clássica e Mecânica Quântica, está última em qualquer nível (graduação ou pós-graduação). Na pesquisa, desenvolvi trabalhos em assuntos da área de informação quântica, em problemas teóricos focados em física de nanodispositivos semicondutores, com resultados publicados em revistas importantes da área. Também desenvolvi trabalhos na área de óptica quântica, com destaque para uma proposta teórica que foi posteriormente desenvolvida experimentalmente. Na extensão, fixei uma filial mineira do projeto "Tem Menina no Circuito", que a partir desse momento passa a ser um projeto de alcance nacional. Também participei ativamente de atividades de divulgação científica de mecânica quântica. Na gestão, fui coordenadora do Curso de Bacharelado de Física de Materiais, trabalhando ativamente no combate à evasão e retenção usando como mecanismos minha condição de docente da disciplina "Física Básica 1" e estratégias formuladas em conjunto com o Programa de Pós-graduação em Física para estimular a iniciação científica nos discentes no curso.

Cabe anotar que as minhas atividades ao longo dos anos, seguindo as diretrizes da Instituição, sempre atingiram um patamar de pontuação superior ao exigido para a atual classe E, uma vez que mantive atividades de pesquisa (publicações e orientações) estáveis, mesmo em momentos onde minha carga horária era superior ao mínimo das oito horas/aula semestrais exigidas. Como perspectivas futuras, ao contemplar com alegria ao menos mais quatorze anos de serviço público, espero voltar à tarefas de gestão, que deixei por um tempo para iniciar e fortalecer a filial do "Tem Menina" na UFU, e iniciar uma nova fase do meu grupo de pesquisa, que na metade deste ano mudou de perfil com a chegada de novos discentes de Pós-Graduação e de Iniciação Científica.

Bibliografia

- [1] L Sanz and K Furuya. A joint Wigner function of an atom-field system with dissipation. *Journal of Optics B: Quantum and Semiclassical Optics*, 4(3):S184, 2002.
- [2] L Sanz, R M Angelo, and K Furuya. Entanglement dynamics in a two-mode nonlinear bosonic hamiltonian. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 36(37):9737, 2003.
- [3] R. M. Angelo, L. Sanz, and K. Furuya. Ordered quantization and the Ehrenfest time scale. *Phys. Rev. E*, 68:016206, 2003.
- [4] L Sanz, MHY Moussa, and K Furuya. Generation of generalized coherent states with two coupled Bose-Einstein condensates. *Annals of Physics*, 321(5):1206–1220, 2006.
- [5] M.C. Nemes, K. Furuya, G.Q. Pellegrino, A.C. Oliveira, Maurício Reis, and L. Sanz. Quantum entanglement and fixed point Hopf bifurcation. *Physics Letters A*, 354(1):60–66, 2006.
- [6] E. I. Duzzioni, L. Sanz, S. S. Mizrahi, and M. H. Y. Moussa. Control of the geometric phase and pseudospin dynamics on coupled Bose-Einstein condensates. *Phys. Rev. A*, 75:032113, 2007.
- [7] L Sanz and VI Yukalov. Ramsey fringes formation during excitation of topological modes in a Bose-Einstein condensate. *Physics Letters A*, 365(1-2):126–130, 2007.
- [8] ERF Ramos, L Sanz, and VI Yukalov. Ramsey-like fringes observation during excitation of coherent modes in a Bose-Einstein condensate. *Nuclear Physics A*, 790(1-4):776c–779c, 2007.
- [9] E. R. F. Ramos, L. Sanz, V. I. Yukalov, and V. S. Bagnato. Order parameter for the dynamical phase transition in Bose-Einstein condensates with topological modes. *Phys. Rev. A*, 76:033608, 2007.
- [10] C. L. Romano, G. E. Marques, L. Sanz, and A. M. Alcalde. Phonon modulation of the spin-orbit interaction as a spin relaxation mechanism in quantum dots. *Phys. Rev. B*, 77:033301, 2008.

- [11] Universidade Federal de Uberlândia. Documento de apoio: relatórios de avaliação docente. https://drive.google.com/file/d/1SLJnDPaGKaaV5Phx9zRsJxkIkUCPpJDh/view?usp=drive_link, 2024. Último acesso 26 de setembro de 2024.
- [12] Francis Weston Sears, Mark Waldo Zemansky, Hugh D. Young, and Roger A. Freedman. *Física*. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, 2009.
- [13] David Halliday, Robert Resnick, and Jearl Walker. *Fundamentos de física*. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009.
- [14] Conselho de Graduação, Universidade Federal de Uberlândia. Normas Gerais da Graduação: Resolução 46/2022 - Conselho de Graduação, Universidade Federal de Uberlândia. <https://prograd.ufu.br/legislacoes/normas-gerais-da-graduacao-resolucao-462022-congrad>, 28/03/2022. Último acesso 26 de setembro de 2024.
- [15] Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia. Página oficial do Laboratório de Ensino em Mecânica. <https://www.infis.ufu.br/unidades/laboratorio/laboratorio-de-ensino-em-mecanica>, 2021. Último acesso 26 de setembro de 2024.
- [16] Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia. Página oficial do Laboratório de Ensino em Eletricidade e Magnetismo. <https://www.infis.ufu.br/unidades/laboratorio/laboratorio-de-ensino-em-eletricidade-e-magnetismo>, 2021. Último acesso 26 de setembro de 2024.
- [17] Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia. Página oficial do Laboratório de Ensino em Oscilações, Ondas e Termodinâmica. <https://www.infis.ufu.br/unidades/laboratorio/laboratorio-de-ensino-em-oscilacoes-ondas-e-termodinamica>, 2021. Último acesso 26 de setembro de 2024.
- [18] Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia. Página oficial do Laboratório de Ensino em Óptica. <https://www.infis.ufu.br/unidades/laboratorio/laboratorio-de-ensino-em-optica>, 2021. Último acesso 26 de setembro de 2024.
- [19] H. Moysés Nussenzveig. *Curso de Física Básica*. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blücher LTDA, 2009.
- [20] Eugene Hecht. *Optics*. New York, NY: Addison Wesley, 2001.
- [21] Stephen Thornton and Jerry Marion. *Dinâmica clássica de partículas e sistemas*. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2011.
- [22] John R. Taylor. *Classical Mechanics*. Sausalito, Calif.: University Science Books, 2005.

- [23] Alessandro S. Villar. Notas de aula de mecânica clássica. <https://drive.google.com/file/d/1SNeGg8Gytz0W-DSUP0fk9fHGBzN7Exa0>, 2014. Último acesso 26 de setembro de 2024.
- [24] Francisco Caruso and Vitor Oguri. *Física Moderna - Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2007.
- [25] David J. Griffiths. *Introduction to Quantum Mechanics*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [26] Nouredine Zettili. *Quantum Mechanics: Concepts and Applications*. New Delhi: Wiley India, 2016.
- [27] Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu, and Frank Laloë. *Quantum Mechanics*, volume 1 e 2. Estados Unidos: Wiley, 1991.
- [28] Stephen Gasiorowicz. *Quantum Physics*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1995.
- [29] J. J. Sakurai. *Modern Quantum Mechanics*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
- [30] J. J. Sakurai. *Advanced Quantum Mechanics*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1967.
- [31] Paul A. M. Dirac. *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press, 1930.
- [32] M.A. Nielsen and I.L. Chuang. *Quantum Computation and Quantum Information*. New York, NY: Cambridge University Press, 2011.
- [33] Mikio Nakahara and Tetsuo Ohmi. *Quantum Computing*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2008.
- [34] Halyne Silva Borges. Dinâmica coerente de estados quânticos em nanoestruturas semicondutoras acopladas. Tese de Doutorado. 2014. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15615>.
- [35] Patrícia Aparecida Almeida de Oliveira. Dinâmica e emaranhamento em moléculas quânticas acopladas. Trabalho de Conclusão de Curso. 2013. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26376>.
- [36] Patrícia Aparecida Almeida de Oliveira. Emaranhamento eletrônico em moléculas de pontos quânticos semicondutores. Dissertação de Mestrado. 2015. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15671>.

- [37] Patrícia Aparecida Almeida de Oliveira. Emaranhamento em moléculas de pontos quânticos semicondutores. Tese de Doutorado. 2019. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28737>.
- [38] José Nogueira de Castro Neto. Geração dinâmica de estados GHZ. Dissertação de Mestrado. 2021. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/31545>.
- [39] Jefferson Lira Santos. Aplicações da dinâmica de portadores de cargas em semicondutores como sistemas quânticos abertos. Tese de Doutorado. 2021. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32830>.
- [40] H. S. Borges, L. Sanz, J. M. Villas-Bôas, and A. M. Alcalde. Robust states in semiconductor quantum dot molecules. *Phys. Rev. B*, 81:075322, 2010.
- [41] Michael Fleischhauer, Atac Imamoglu, and Jonathan P. Marangos. Electromagnetically induced transparency: Optics in coherent media. *Rev. Mod. Phys.*, 77:633–673, 2005.
- [42] HS Borges, L Sanz, JM Villas-Boas, and AM Alcalde. Quantum interference and control of the optical response in quantum dot molecules. *Applied Physics Letters*, 103(22), 2013.
- [43] HS Borges, L Sanz, and AM Alcalde. Excitonic entanglement of protected states in quantum dot molecules. *Physics Letters A*, 380(38):3111–3116, 2016.
- [44] T. Hayashi, T. Fujisawa, H. D. Cheong, Y. H. Jeong, and Y. Hirayama. Coherent manipulation of electronic states in a double quantum dot. *Phys. Rev. Lett.*, 91:226804, 2003.
- [45] Gou Shinkai, Toshiaki Hayashi, Takeshi Ota, and Toshimasa Fujisawa. Correlated coherent oscillations in coupled semiconductor charge qubits. *Phys. Rev. Lett.*, 103:056802, 2009.
- [46] Toshimasa Fujisawa, Gou Shinkai, Toshiaki Hayashi, and Takeshi Ota. Multiple two-qubit operations for a coupled semiconductor charge qubit. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 43(3):730–734, 2011.
- [47] P.A. Oliveira and L. Sanz. Bell states and entanglement dynamics on two coupled quantum molecules. *Annals of Physics*, 356:244–254, 2015.
- [48] J. Nogueira, P. A. Oliveira, F. M. Souza, and L. Sanz. Dynamic generation of Greenberger-Horne-Zeilinger states with coupled charge qubits. *Phys. Rev. A*, 103:032438, 2021.
- [49] Karin Goß, Martin Leijnse, Sebastian Smerat, Maarten R. Wegewijs, Claus M. Schneider, and Carola Meyer. Parallel carbon nanotube quantum dots and their interactions. *Phys. Rev. B*, 87:035424, 2013.
- [50] Gerald D. Mahan. *Many-Particle Physics*. New York - NY: Plenum Press, 1990.

- [51] F. Souza, Patricia Oliveira, and Liliana Sanz. Quantum entanglement driven by electron-vibrational mode coupling. *Physical Review A*, 100:0442309, 2019.
- [52] M. O. Assun ç ao, G. S. Diniz, L. Sanz, and F. M. Souza. Autler-Townes doublet observation via a Cooper-pair beam splitter. *Phys. Rev. B*, 98:075423, 2018.
- [53] B. Sharmila, F. M. Souza, H. M. Vasconcelos, and L. Sanz. Cooper-pair beam splitter as a feasible source of entangled electrons. *Phys. Rev. A*, 109:062439, 2024.
- [54] Fabrício M. Souza and L. Sanz. Lindblad formalism based on fermion-to-qubit mapping for nonequilibrium open quantum systems. *Phys. Rev. A*, 96:052110, 2017.
- [55] J. Lira, L. Sanz, and A.M. Alcalde. Photovoltaic efficiency at maximum power of a quantum dot molecule. *Physics Letters A*, 442:128179, 2022.
- [56] J. Lira, J. M. Villas-Bôas, L. Sanz, and A. M. Alcalde. Enhanced solar photocurrent using a quantum-dot molecule. *J. Opt. Soc. Am. B*, 39(8):2047–2055, 2022.
- [57] J. Lira and L. Sanz. Schrödinger cats coupled with cavities losses: the effect of finite and structured reservoirs. *J. Opt. Soc. Am. B*, 41(8):C254–C261, 2024.
- [58] H. M. Vasconcelos, L. Sanz, and S. Glancy. All-optical generation of states for “Encoding a qubit in an oscillator”. *Opt. Lett.*, 35(19):3261–3263, 2010.
- [59] Serge Haroche. Nobel lecture: Controlling photons in a box and exploring the quantum to classical boundary. *Rev. Mod. Phys.*, 85:1083–1102, 2013.
- [60] Daniel Gottesman, Alexei Kitaev, and John Preskill. Encoding a qubit in an oscillator. *Phys. Rev. A*, 64:012310, 2001.
- [61] Miller Eaton, Rajveer Nehra, and Olivier Pfister. Non-gaussian and gottesman–kitaev–preskill state preparation by photon catalysis. *New Journal of Physics*, 21(11):113034, 2019.
- [62] Antonio de Freitas, L. Sanz, and José M. Villas-Bôas. Coherent control of the dynamics of a single quantum-dot exciton qubit in a cavity. *Phys. Rev. B*, 95:115110, 2017.
- [63] FS Luiz, EI Duzzioni, and L Sanz. Implementation of quantum logic gates using coupled Bose-Einstein condensates. *Brazilian Journal of Physics*, 45(5):550–559, 2015.
- [64] F. O. Prado, F. S. Luiz, J. M. Villas-Bôas, A. M. Alcalde, E. I. Duzzioni, and L. Sanz. Atom-mediated effective interactions between modes of a bimodal cavity. *Phys. Rev. A*, 84:053839, 2011.

- [65] Fabrício de Souza Luiz. Portas lógicas e Condensados de Bose-Einstein. Dissertação de Mestrado. 2010.
- [66] Juliana Zanatta Finotti. Teletransporte quântico usando qubits híbridos. Trabalho de Conclusão de Curso. 2022. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35702>.
- [67] José Nogueira de Castro Neto. Conceitos gerais sobre o emaranhamento com aplicação em moléculas quânticas. Trabalho de Conclusão de Curso. 2018. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23947>.
- [68] Elis Sinnecker, Tatiana Rappoport, Thereza Paiva, and Liliana Sanz. Página Oficial do projeto Tem Menina no Circuito. <https://temmeninacircuito.wordpress.com/>.
- [69] Liliana Sanz, Elis HCP Sinnecker, and Thereza Paiva. Rotação por estações: proposta, implementação e teste de metodologia para realização de atividades científicas com crianças, jovens e adultos. *Latin-American Journal of Physics Education*, 16(1):1313, 2022.
- [70] Elis Sinnecker, Tatiana Rappoport, Thereza Paiva, and Liliana Sanz. *Tem Menina no Circuito*. Fundação Cecierj, 2022.
- [71] Home Page oficial do projeto MakeyMakey. <https://makeymakey.com/>.
- [72] Elis Sinnecker, Tatiana Rappoport, Thereza Paiva, and Liliana Sanz. Perfil no Facebook do projeto Tem Menina no Circuito. <https://www.facebook.com/temmeninacircuito>.
- [73] Elis Sinnecker, Tatiana Rappoport, Thereza Paiva, and Liliana Sanz. Perfil no Instagram do projeto Tem Menina no Circuito. <https://www.instagram.com/temmeninacircuito/>.
- [74] Liliana Sanz, Bárbara Amaral, Pierre-Louis De Assis, Carlos Eduardo Souza, Leonardo Souza, and Vivian França. Perfil no Facebook do INCT-IQ. <https://www.facebook.com/inctiqdivulgacao>.
- [75] Liliana Sanz, Bárbara Amaral, Pierre-Louis De Assis, Carlos Eduardo Souza, Leonardo Souza, and Vivian França. Perfil no Instagram do INCT-IQ. https://www.instagram.com/inctiq_divulga/.
- [76] Liliana Sanz, Bárbara Amaral, Pierre-Louis De Assis, Carlos Eduardo Souza, Leonardo Souza, and Vivian França. Canal no YouTube do INCT-IQ. <https://www.youtube.com/@INCTIQDivulga>.
- [77] Rute Oliveira, Liliana Sanz, and Rafael Chaves. Uma visão da ciência das redes sobre o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Informação Quântica (INCT-IQ). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44:e20220189, 2022.

-
- [78] *Live* da Conferência Temática de Tecnologias Quânticas - Rio de Janeiro - Academia Brasileira de Ciências e FAPERJ. <https://youtu.be/LE4Tl1begExk>.
- [79] Gravação da *Live* - Tecnologias quânticas: seu computador vai virar sucata? <https://www.youtube.com/live/e0S52W0GaLk?si=fx0ZYhL5GeDXSYH9>.
- [80] *Podcast* Ciência ao Pé do Ouvido no Spotify. <https://open.spotify.com/show/5DcAFQhER3S1xFVsYlfuc9?si=fb2d31ef8057475e>.
- [81] UFUCast - Ep19 - Medicina Quântica e Pseudociência. <https://www.youtube.com/live/1rRDpPToxmw?si=t04ZqdZfDkgJasUF>.
- [82] *Live* da Abertura Oficial - Projeto UFU Acolhe Imigrantes (Projeto UAI). https://www.youtube.com/watch?v=0qm5VBQ_eI4.