

A produção do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra 3

6,0 Gt CO₂

1,5 Gt CO₂

Ingrid Aparecida Gomes
(Organizadora)



Ingrid Aparecida Gomes

(Organizadora)

A Produção do Conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra

3

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P964 A produção do conhecimento nas ciências exatas e da terra 3
[recurso eletrônico] / Organizadora Ingrid Aparecida Gomes. –
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A produção do
Conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-240-1

DOI 10.22533/at.ed.401190404

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Gomes,
Ingrid Aparecida. II. Série.

CDD 507

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “A produção do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu III volume, apresenta, em seus 22 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca do ensino e educação.

As Ciências Exatas e da Terra englobam, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Estas ciências estudam as diversas relações existentes da Astronomia/Física; Biodiversidade; Ciências Biológicas; Ciência da Computação; Engenharias; Geociências; Matemática/ Probabilidade e Estatística e Química.

O conhecimento das mais diversas áreas possibilita o desenvolvimento das habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas.

A ideia moderna das Ciências Exatas e da Terra refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de pesquisas.

Neste sentido, este volume é dedicado aos trabalhos relacionados a ensino e aprendizagem. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Ingrid Aparecida Gomes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O LUGAR DE NASCER: A SITUAÇÃO DE FORTALEZA EM RELAÇÃO A ESTRUTURA DE HUMANIZAÇÃO DO PARTO NORMAL	
<i>Ana Edméa Teixeira Elias</i> <i>Gláucia Barbosa Sobreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.401190401	
CAPÍTULO 2	10
SANGUE BOM: APLICATIVO MÓVEL PARA GERENCIAMENTO DE DOAÇÕES DE SANGUE	
<i>Renan Lamon Machado</i> <i>Luan Lamon Machado</i> <i>Susana Brunoro Costa de Oliveira</i> <i>Glaice Kelly da Silva Quirino Monfardini</i>	
DOI 10.22533/at.ed.401190402	
CAPÍTULO 3	17
ESTUDO SOROLÓGICO DO BOHV-1 E BVDV EM FÊMEAS BOVINAS LEITEIRAS JOVENS NA ZONA DA MATA RONDONIENSE	
<i>Caio Cezar da Silva</i> <i>Geraldo Francisco dos Santos Junior</i> <i>Evelyn Rabelo Andrade</i> <i>Jair Sábio de Oliveira Junior</i> <i>Amauri Alcindo Alfieri</i>	
DOI 10.22533/at.ed.401190403	
CAPÍTULO 4	19
FRACIONAMENTO E ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA NO INFRAVERMELHO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA PROVENIENTE DE MATERIAL DE COMPOSTAGEM	
<i>Ângelo Rafael Machado</i> <i>Joyce Cristina de Rezende</i> <i>Agnaldo Guilherme Novaes de Souza</i> <i>Vivian Machado Benassi</i> <i>Juan Pedro Bretas Roa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.401190404	
CAPÍTULO 5	34
A SIMULAÇÃO DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE DA AVEIA A PARTIR DA DENSIDADE RECOMENDADA E AJUSTADA POR REGRESSÃO NA PROPOSIÇÃO DE MELHORIA DA INDICAÇÃO DE CULTIVO	
<i>Karla Kolling</i> <i>Denis Sidinei Rossi</i> <i>Luana Henrichsen</i> <i>Odenis Alessi</i> <i>Vanessa Pansera</i> <i>José Antonio Gonzalez da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.401190405	

CAPÍTULO 6 40

MODELAGEM MATEMÁTICA À INOVAÇÃO NA RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO NA BASE E COBERTURA À MELHORIA DE EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DO NUTRIENTE NA PRODUTIVIDADE DA AVEIA

Dênis Sidinei Rossi

Karla Kolling

Luana Henrichsen

Adriana Roselia Kraisig

Douglas César Reginato

José Antonio Gonzalez da Silva

DOI 10.22533/at.ed.4011904046

CAPÍTULO 7 46

REAPROVEITAMENTO DA CASCA DO OVO PARA ELABORAÇÃO DE FARINHA

Caroline Dallacorte

Camila Scheffer de Quadros

Samara Moro Behling

DOI 10.22533/at.ed.4011904047

CAPÍTULO 8 56

RESÍDUOS MADEIREIROS GERADOS EM DUAS MARCENARIAS DA SERRA GAÚCHA

Márcia Keller Alves

Alexandre Gomes Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.4011904048

CAPÍTULO 9 63

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE GRAUTE PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS PARA O REFORÇO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Luanna da Silva Diamantino

Edna Alves Oliveira

Jamile Salim Fuina

Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

DOI 10.22533/at.ed.4011904049

CAPÍTULO 10 82

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E DESMATAMENTO EM RONDÔNIA: UMA ANÁLISE DA RESERVA ESTADUAL EXTRATIVISTA – RESEX JACI-PARANÁ

Ravele da Silva Santana

Siane Cristhina Pedroso Guimarães Silva

Maria da Conceição Silva

Helen Rose Oliveira da Silva

Liliana Borges Oliveira

Alcione Gomes Botelho

DOI 10.22533/at.ed.40119040410

CAPÍTULO 11	95
PROTÓTIPO DE UMA PORTA DESLIZANTE COM O MICROCONTROLADOR ARDUINO APLICADO À DISCIPLINA ELEMENTOS DE AUTOMAÇÃO	
<i>Felipe José Serpa da Silva</i>	
<i>José Claudenio da Silva</i>	
<i>César Vinicius Mota da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040411	
CAPÍTULO 12	103
CARTOGRAFIA E ICONOGRAFIA ANTIGAS NO PROCESSO EVOLUTIVO DAS TORRES MILITARES, CIVIS E RELIGIOSAS NA CIDADE DE ÉVORA - PORTUGAL	
<i>Maria do Céu Simões Tereno</i>	
<i>Maria Filomena Mourato Monteiro</i>	
<i>Marizia Clara de Menezes Dias Pereira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040412	
CAPÍTULO 13	119
ESFERA DE BLOCH: INTERAÇÃO ENTRE TRENS DE PULSOS E SISTEMAS ATÔMICOS	
<i>Ronaldo Adriano do Nascimento Rodrigues</i>	
<i>Marco Polo Moreno de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040413	
CAPÍTULO 14	133
ESTUDO DO GELO DE METANOL BOMBARDEADO POR AGENTES IONIZANTES EM AMBIENTES ASTROFÍSICOS SIMULADOS EM LABORATÓRIO	
<i>Fabricio Moreira Freitas</i>	
<i>Sergio Pilling Guapyassu de Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040414	
CAPÍTULO 15	144
POTENCIAL DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DOS FRUTOS DE <i>Azadirachta indica</i> A. Juss (NIM, MELIACEAE)	
<i>Francisco Idelbrando Lima Rodrigues</i>	
<i>José Eduardo da Silva</i>	
<i>Francisco Lucas Alves Batista</i>	
<i>Franciglauber Silva Bezerra</i>	
<i>Luisa Célia Melo</i>	
<i>Francisco Ernani Alves Magalhães</i>	
<i>Francisco André Andrade de Aguiar</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040415	
CAPÍTULO 16	152
PROPOSTA AVALIATIVA EM QUÍMICA GERAL A PARTIR DO ASSUNTO OLIMPIADAS	
<i>Veronica de Melo Sacramento</i>	
<i>Gliciane Ramos Azevedo Oliveira</i>	
<i>Jessyka Mylleny Soares</i>	
<i>Anne Caroline Oliveira Araújo</i>	
<i>Melquisedeque Seixas Neves</i>	
<i>Renato Lucas Vieira Magalhães</i>	
<i>Matheus Filipe Ramos Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040416	

CAPÍTULO 17	160
UMA ABORDAGEM BASEADA EM WEBSOCKET PARA COMUNICAÇÃO EM TEMPO REAL NO GENEMAISLAB	
<i>Eliseu Germano</i>	
<i>Marcelo Gonçalves Narciso</i>	
<i>Edgard Henrique dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040417	
CAPÍTULO 18	170
UMA PRÁTICA DE DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE SOLAR	
<i>Alessandro Chicarelli Pereira</i>	
<i>Lev Vertchenko</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040418	
CAPÍTULO 19	180
RELAÇÃO ENTRE VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS E FORMAÇÃO DE DUTOS ATMOSFÉRICOS DE SUPERFÍCIE NA ÁREA DO AEROPORTO DE PETROLINA PE	
<i>Magaly de Fatima Correia</i>	
<i>André Gomes Penaforte</i>	
<i>Maria Regina da Silva Aragão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040419	
CAPÍTULO 20	195
PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA MANGUEIRAS HIDRÁULICAS DOS VEÍCULOS COMPACTADORES DE RESÍDUOS SÓLIDOS	
<i>Francisco Igo Felix Gomes</i>	
<i>João Marcelo Carneiro</i>	
<i>Jully Amanda de Oliveira Ramos</i>	
<i>Lorena de Freitas Cavalcante</i>	
<i>Monaliza Sousa de Assis</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040420	
CAPÍTULO 21	202
RECURSOS HÍDRICOS DA CIDADE DE ÉVORA: (RE)INTERPRETAÇÃO DE ALGUMA CARTOGRAFIA E ICONOGRAFIA HISTÓRICAS DA CIDADE	
<i>Maria Filomena Mourato Monteiro</i>	
<i>Maria do Céu Simões Tereno</i>	
<i>Marizia Clara de Menezes Dias Pereira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040421	
CAPÍTULO 22	219
SELEÇÃO DE INDICADORES ASSOCIADOS À AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
<i>Danielle Agnes M. dos Santos</i>	
<i>Fernando Jorge C. M. Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040422	
SOBRE A ORGANIZADORA	242

ESFERA DE BLOCH: INTERAÇÃO ENTRE TRENS DE PULSOS E SISTEMAS ATÔMICOS

Ronaldo Adriano do Nascimento Rodrigues

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Ji-paraná - Rondônia

Marco Polo Moreno de Souza

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Ji-paraná - Rondônia

RESUMO: O estudo da interação de um laser no sistema atômico de dois níveis, neste trabalho, está voltado à esfera de Bloch, onde estudaremos a trajetória do vetor de Bloch na esfera. Buscamos analisar a evolução temporal do sistema por meio de vários pulsos com diferentes áreas, onde essas áreas são as responsáveis por diferentes trajetórias do vetor. Para nosso estudo usamos os dados do rubídio, na transição $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{3/2}$. A área usada varia de $\pi/10$ a 2π , a, onde por meio dos gráficos podemos ver a evolução do sistema.

INTRODUÇÃO

O estudo da interação de um pulso para um sistema de dois níveis, que é o objetivo desse trabalho, será representado por uma forma geométrica conhecida como esfera de Bloch. Na esfera de Bloch o vetor percorre um trajeto conforme a evolução temporal do sistema quântico.

Para esse trabalho, usaremos dados do

rubídio, por possuir apenas um elétron em seu último nível de energia, onde focaremos na transição $5S_{1/2} \rightarrow 5P_{3/2}$ (780nm).

Todos os dados e informações do sistema atômico e do laser são aplicados num programa, onde por meio de um algoritmo conhecido como método de Runge-Kutta de quarta ordem, tiramos os resultados e aplicamos no OriginPro 8.5, e em seguida conseguimos obter os gráficos.

Os gráficos nos mostram a evolução do sistema. Focamos o nosso estudo na excitação dos átomos por pulsos de laser e no decaimento dos átomos excitados.

Equações de Bloch ópticas

Ao se discutir mecânica quântica tudo volta à equação de Schrödinger, mas em nosso trabalho usamos a equação de Liouville-Neumann [1], que nos permite analisar uma grande quantidade de átomos. Esse formalismo pode incluir tanto estados de superposição quanto estados mistos. A equação de Liouville-Neumann pode ser escrita como:

$$\frac{\partial \hat{\rho}}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar} [\hat{H}, \hat{\rho}]. \quad (1)$$

Nesta equação o hamiltoniano \hat{H} descreve a energia do sistema, tanto da interação com o laser quanto do átomo livre. Podemos escrever

o \hat{H} como:

$$\hat{H}(t) = \hat{H}_0 + \hat{H}_I(t). \quad (2)$$

Assim temos o hamiltoniano total, onde \hat{H}_0 descreve a energia do átomo livre e $\hat{H}_I(t)$ dá a informação da energia da interação do sistema atômico com o laser. Ainda partindo da Eq. (1), temos $\hat{\rho}$ como o operador da matriz densidade, e a partir dele temos uma análise mais precisa das transições que ocorrerão no sistema. Sua representação por uma matriz 2x2, válida para sistemas de dois níveis, nos mostra a probabilidade de encontrar a população nos estados $|1\rangle$ e $|2\rangle$. Podemos representar a matriz densidade da seguinte forma:

$$\hat{\rho} \doteq \begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} \\ \rho_{21} & \rho_{22} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Nessa matriz, os termos da diagonal representam as populações nos estados fundamental e excitado, enquanto que os termos fora da diagonal representam as coerências do sistema. Essas coerências estão relacionadas à quantidade de átomos no estado de superposição:

$$|\psi\rangle = \alpha|1\rangle + \beta|2\rangle, \quad (4)$$

onde α e β são números complexos.

A energia da interação átomo-campo, na aproximação de dipolo elétrico, pode ser escrito como $\hat{H}(t) = -\hat{\mu} \cdot E(t)$ onde $\hat{\mu}$ é o momento de dipolo elétrico do átomo e $E(t)$ é o campo elétrico do pulso.

A partir da equação de Liouville-Neumann, podemos escrever as equações de Bloch ópticas [2]:

$$\dot{\rho}_{12} = (i\omega_{21} - \gamma_{12})\rho_{12} - i\Omega(t)(1 - 2\rho_{22}) \quad (5a)$$

$$\dot{\rho}_{22} = -\gamma_{22}\rho_{22} + i\Omega(t)\rho_{12} + c.c., \quad (5b)$$

onde $\Omega(t) = \frac{\mu_{12}E(t)}{\hbar}$. Nesse caso, onde μ_{22} é o momento de dipolo da transição de $1 \rightarrow 2$, γ_{22} e γ_{12} se referem às taxas de decaimento da população excitada e da coerência criada no sistema. A frequência de ressonância dos átomos é representada por ω_{21} , já para a frequência do laser usamos a notação de ω_c .

Com a frequência de oscilação do campo próximo à frequência de ressonância dos átomos ($\omega_{21} \approx \omega_c$), o dipolo atômico induzido pelo laser oscilará aproximadamente na mesma frequência do campo do laser. Dessa forma, é importante a mudança de variáveis $\rho_{12}(t) = \sigma_{12}(t)e^{i\omega_c t}$. Essa mudança é importante porque nos permite trocar uma variável que oscila muito rápido (\sim THz) para uma variável que oscila bem mais lentamente (\sim MHz), o que facilita os cálculos numéricos e sua análise.

Assim, reescrevemos as equações de Bloch seguindo os termos que foram trocados:

$$\dot{\sigma}_{12} = (i\delta - \gamma_{12})\sigma_{12} - i\Omega_0(t)(1 - 2\rho_{22}) \quad (6a)$$

$$\dot{\rho}_{22} = -\gamma_{22}\rho_{22} + i\Omega_0(t)\sigma_{12} + c. c, \quad (6b)$$

onde também consideramos que $\Omega(t) = \Omega_0(t)e^{i\omega_c t}$, no qual $\Omega_0(t) = \frac{\mu_{12}E_0(t)}{\hbar}$ é a frequência de Rabi do sistema, que está relacionada à taxa de excitação dos átomos pelos pulsos do laser. O termo $E_0(t)$ descreve a envoltória do pulso do laser. Ainda nessas equações, usamos $\delta = \omega_{21} - \omega_c$, que é a dissintonia do campo.

Vetor de Bloch e esfera de Bloch

A esfera de Bloch é uma forma diferente de estudar a evolução de sistemas atômicos. Nessa esfera, cada ponto representa um estado do sistema, que se move conforme o sistema evolui. O vetor delimitado por esse ponto é chamado de vetor de Bloch.

Uma representação do vetor de Bloch pode ser conseguida a partir da mudança de variáveis

$$\begin{cases} u = \text{Re}\sigma_{12} \\ v = \text{Im}\sigma_{12} \\ w = \rho_{11} - \rho_{22} \end{cases} \quad (7)$$

Dessa forma, o vetor de Bloch é representado por (u, v, w) . Podemos notar agora que u e v estão relacionados à coerência do sistema, e w à diferença de população entre estados fundamental e excitado. Além disso, u, v e w são números reais.

Assim apresentamos as equações responsáveis por essas componentes do vetor de Bloch, sendo:

$$\dot{u} = \delta v - \frac{\gamma u}{2} \quad (8)$$

$$\dot{v} = -\delta u + \Omega w - \frac{\gamma v}{2} \quad (9)$$

$$\dot{w} = -\Omega v - \gamma(w - 1) \quad (10)$$

Nessas equações, usamos $\gamma_{22} = \frac{\gamma_{22}}{2} \equiv \gamma$.

A variação das componentes do vetor de Bloch, devido à interação do sistema com o laser, mostrará o caminho feito pelo vetor. Esse caminho estará limitado à superfície de uma esfera (de Bloch). Entretanto, no decaimento espontâneo (sem a presença do pulso), essa restrição deixa de ser válida.

Os pulsos com diferentes áreas nos mostrarão diferentes caminhos na esfera de Bloch. Neste trabalho variamos as áreas de $\pi/10$ a 2π , com a variação da dissintonia δ de 0 a 1 GHz.

A área θ de um pulso é definida pela equação [3]:

$$\theta = \frac{\mu_{12}}{\hbar} \int_{-\infty}^{\infty} E_0(t) dt. \quad (11)$$

Neste trabalho, usamos para a envoltória do pulso uma secante-hiperbólica [3], que é um formato muito próximo para pulsos reais de lasers *mode-locked*:

$$E_0(t) = E_0 \operatorname{sech}\left(\frac{1,763t}{T_P}\right), \quad (12)$$

onde E_0 é a amplitude do pulso e T_P é a sua largura temporal.

RESULTADOS

Os resultados mostrados pelos gráficos abaixo foram retirados da solução das Eqs.(8), e mostram a evolução temporal do vetor de Bloch a partir das condições iniciais $u(0) = 0, w(0) = 0$ e $v(0) = -1$. Ou seja, partimos da condição onde o sistema não possui coerência e toda a população se encontra no estado fundamental. Para a taxa de relaxação do sistema, usamos $\frac{\gamma}{2\pi} = 5$ MHz, que é bem próximo da taxa de decaimento do rubídio na transição $5P \rightarrow 5S$, e para a largura temporal de um pulso do laser, usamos $T_p = 100$ fs, valor que é muito próximo dos pulsos emitidos por um laser comercial de Ti:safira típico.

As equações de Bloch (8) foram integradas usando método de Runge-Kutta de 4ª ordem, cujo código-fonte do programa em C se encontra no Anexo. O passo temporal da integração numérica foi escolhida para ser 1 fs, que é um centésimo da largura temporal do pulso do laser.

Na Fig. 1 temos o resultado quando o sistema de dois níveis interage com um pulso de área $\theta = \pi/10$. Na Fig. 2 temos o equivalente para $\theta = \pi/2$. Notamos nesse caso que o vetor de Bloch descreve um quarto de circunferência. Podemos notar que nesse último caso metade da população é excitada ($w = 0$), e uma circunferência máxima $v = -1$ é criada no sistema. Para $\theta = \pi$ (Fig. 3), por outro lado, o pulso inverte a população completamente ($w = 1$), e o sistema é deixado sem nenhuma coerência.

Como podemos ver na Fig. 4, um pulso 2π ($\theta = 2\pi$), deixa o sistema da mesma forma que o encontrou. Isso pode ser entendido pelo fato de que a metade π do pulso excita toda a população para o estado fundamental, como já discutido acima, ao passo que a outra metade desexcita o sistema, jogando todos os átomos de volta ao estado fundamental. Esse último processo é chamado de emissão estimulada.

Todos os resultados discutido acima estão de acordo com o discutido por Eberly[4].

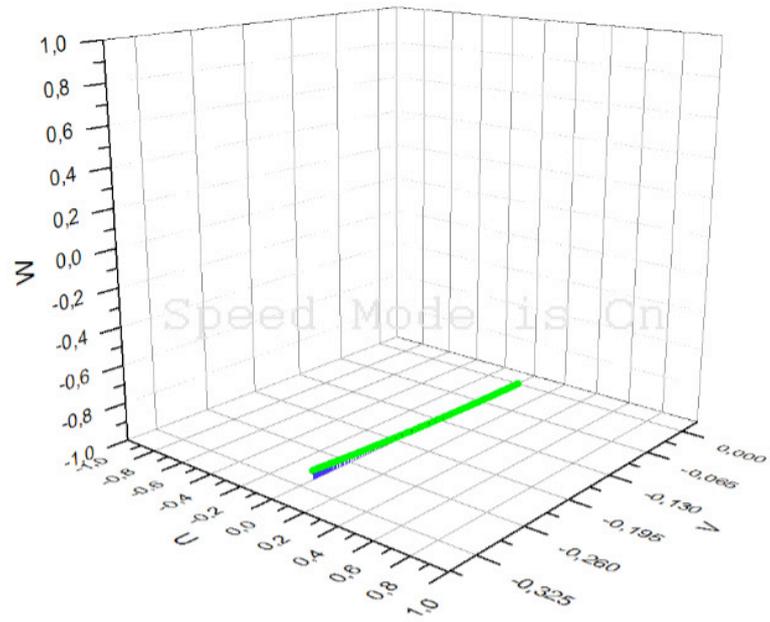


Figura1. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com área /10 e dissintonia $\delta = 0$.

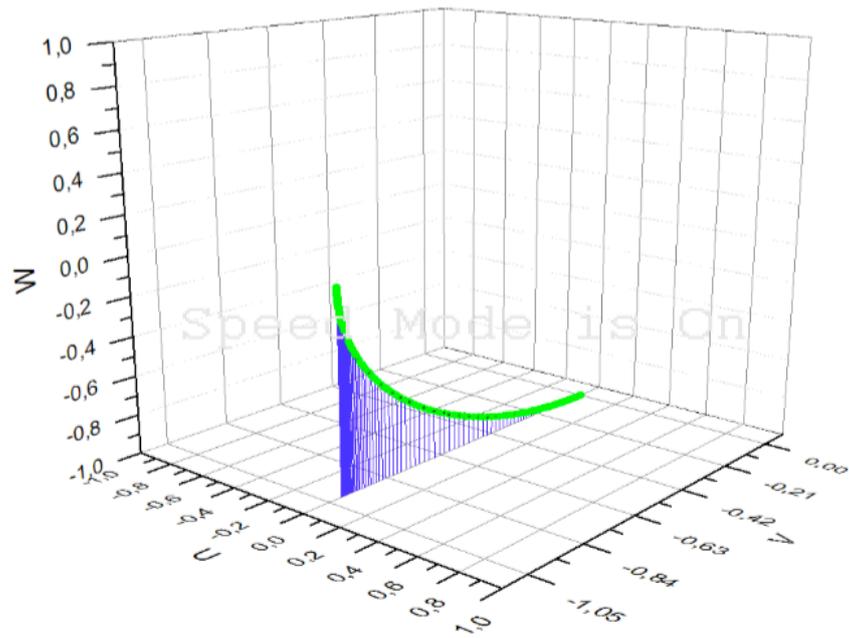


Figura2. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com $\delta = 0$.

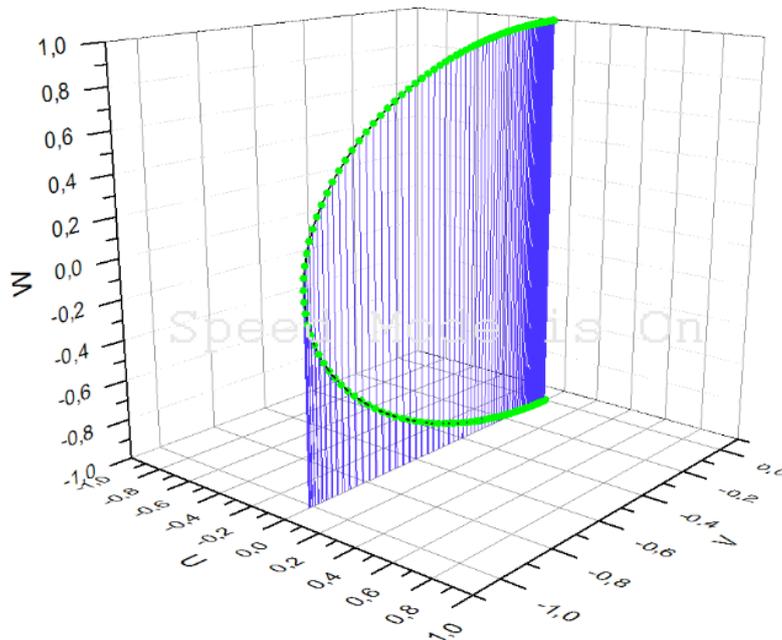


Figura3. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com $\delta = 0$.

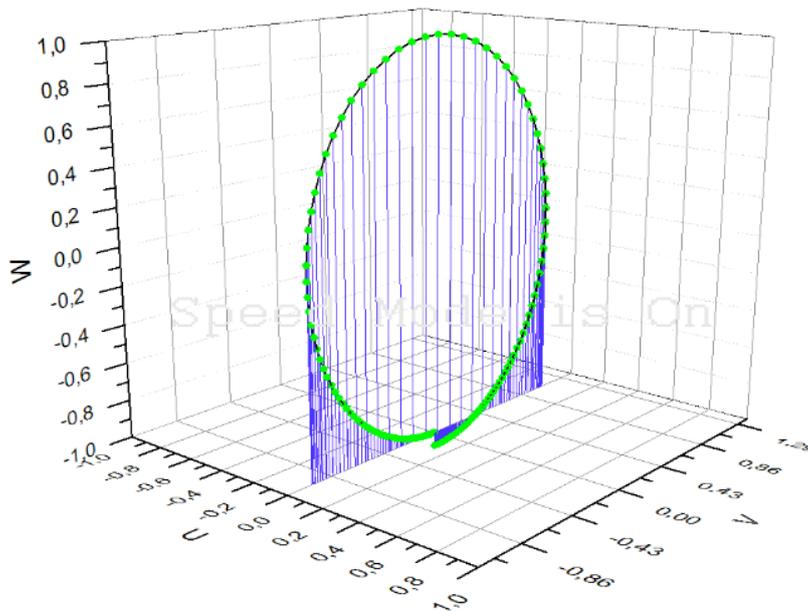


Figura4. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com $\delta = 0$.

Dados com dissintonia $\delta = 1\text{GHz}$.

As informações relacionadas aos quatro gráficos abaixo e suas diferenças se dá pelas mudanças de alguns valores no programa, assim como a dissintonia que antes era $\delta = 0$, e alteramos seu valor para $\delta = 1\text{GHz}$. As outras configurações em relação aos quatro primeiros gráficos apresentado anteriormente permanecem as mesmas.

As figuras 5, 6, 7 e 8 mostram a evolução do sistema com dissintonia $\delta = 1\text{GHz}$, com as mesmas áreas usadas nas figuras anteriores. Notamos agora que a trajetória

do vetor de Bloch não mais descreve uma circunferência. Isso se deve ao fato de que agora u deixa de ser nula, porque esse termo está ligado à dispersão no sistema (da mesma forma, v está ligado à absorção). Para um pulso 2π (Fig. 8), o sistema continua voltando à condição inicial, porém percorrendo um caminho diferente de uma circunferência.

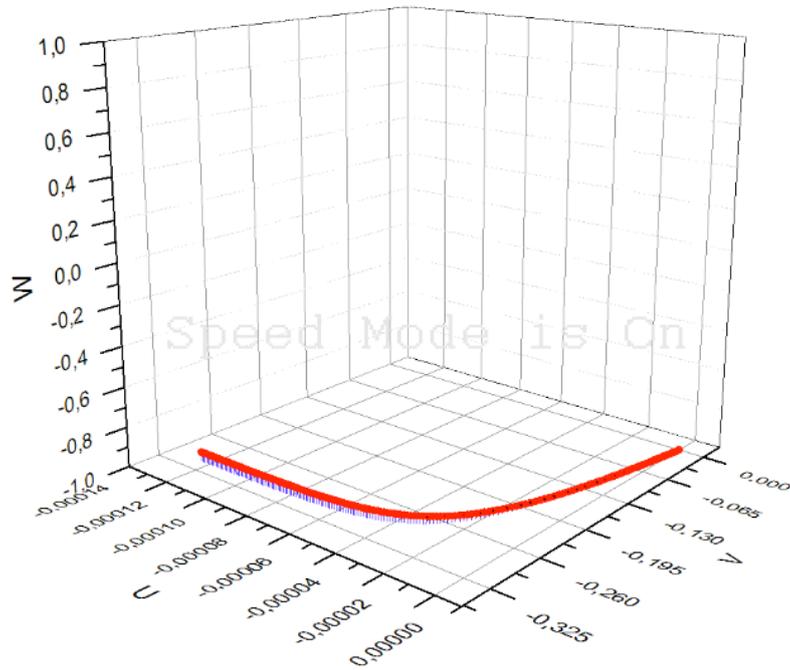


Figura5. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com 2π e dissintonia $\delta = 1\text{GHz}$.

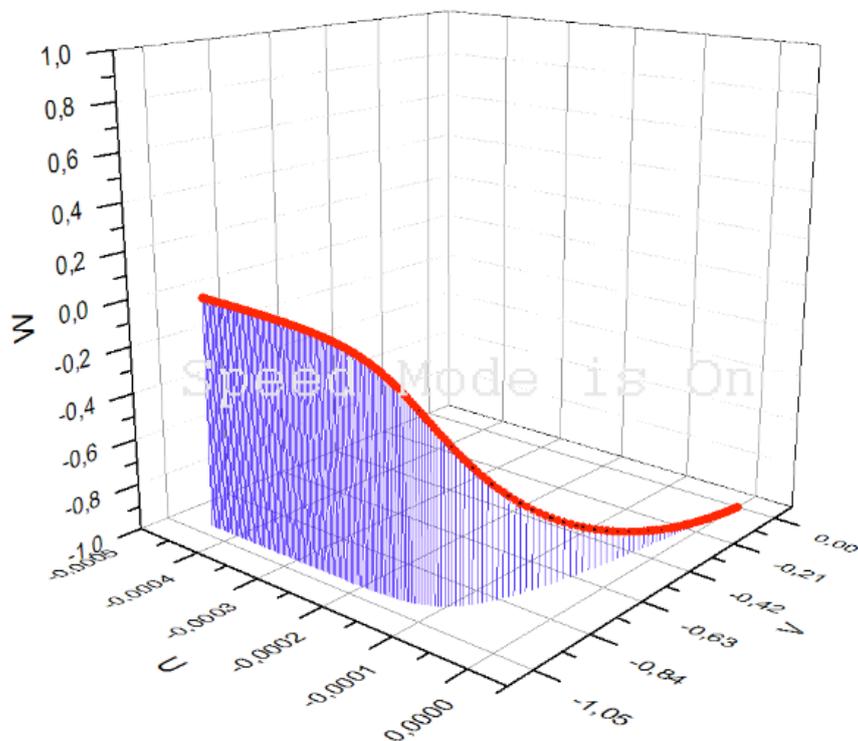


Figura6. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com 2π e dissintonia $\delta = 1\text{GHz}$.

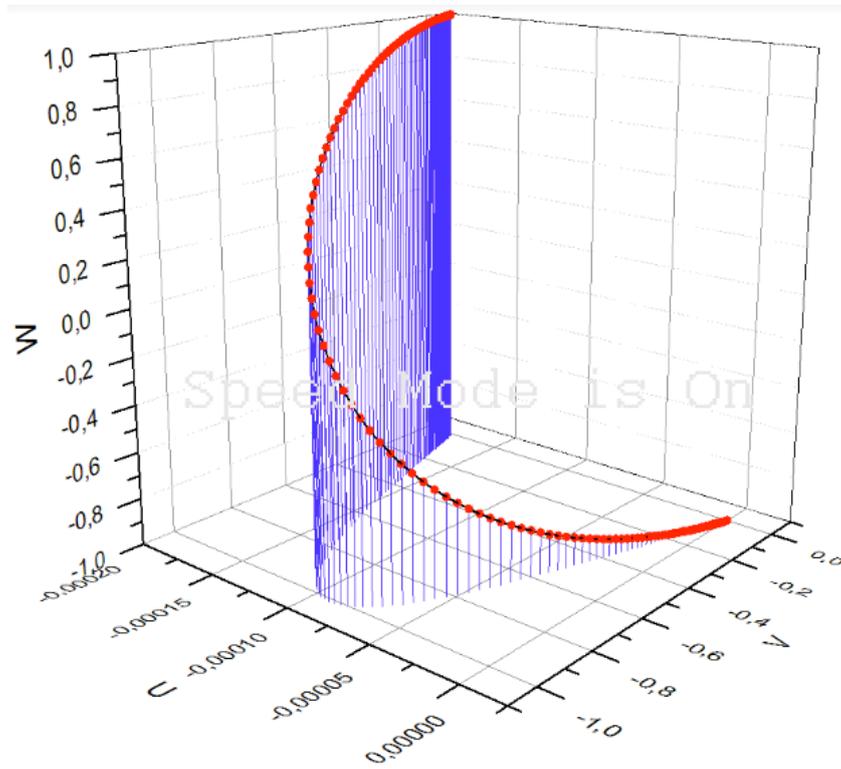


Figura7. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com $\delta = 1\text{GHz}$.

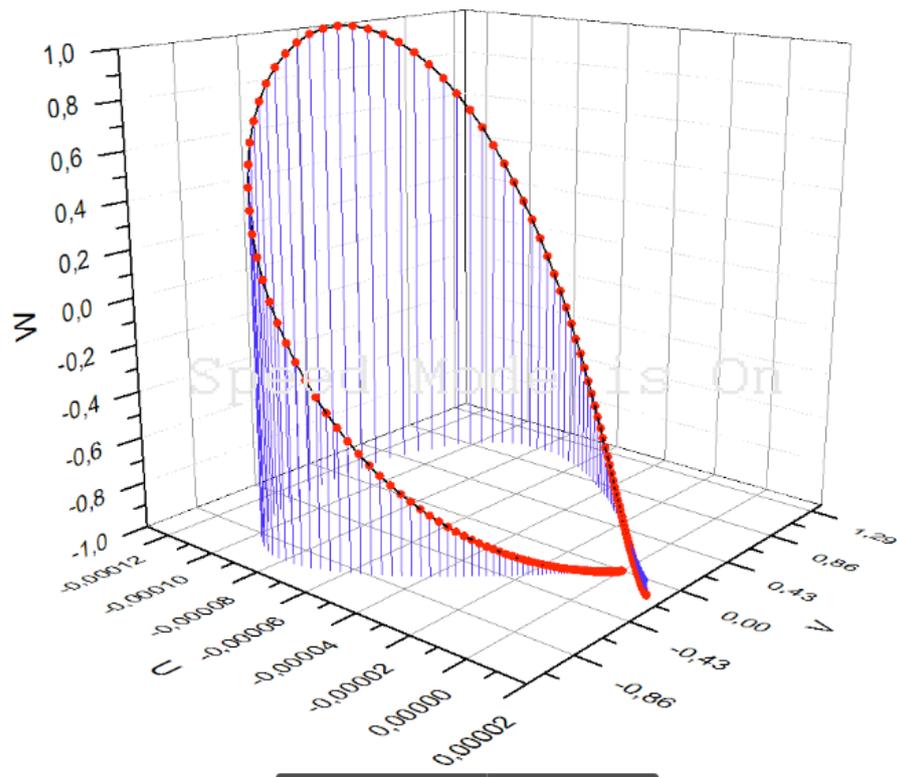


Figura8. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch para um pulso com $\delta = 1\text{GHz}$.

Trajétória do vetor de Bloch no decaimento

Nas informações para os próximos quatro gráficos analisamos o decaimento do

sistema. Isto é, quando sistema se encontra inicialmente no estado excitado e sem a presença de um pulso.

Enquanto que um pulso de femtossegundos interage com o sistema por um tempo igual a centenas de femtossegundos, o decaimento é muito mais longo. Para o caso da transição estudada, esse tempo é da ordem de 30 ns. Dessa forma, tivemos que mudar o passo na integração numérica de 1 fs para 1 ps, com o intuito de evitar longos períodos de computação.

Para o gráfico apresentado na Fig. 9, adotamos a seguinte condição inicial do sistema: $u = 0$, $v = 0$ e $w = 0$, isto é, sistema sem coerência e com a população dividida entre os estados fundamental e excitada.

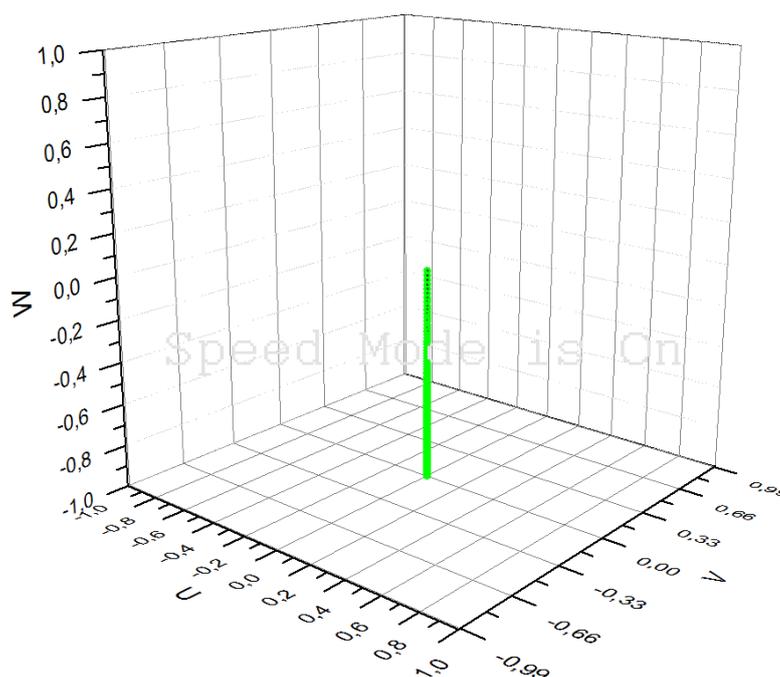


Figura9. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch sem pulso e dissintonia $\delta = 0$, com a condição inicial $u = 0$, $v = 0$ e $w = 0$;

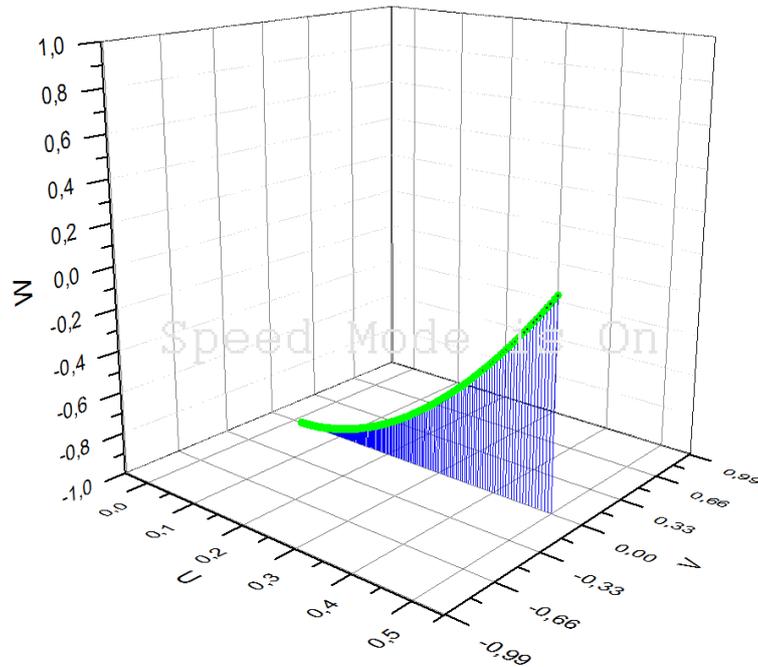


Figura10. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch sem pulso e dissintonia $\delta = 0$

Na Fig. 10, trabalhamos com a condição inicial $u = 0,5$, $v = 0$ e $w = 0$, indicando nesse caso que o sistema possui uma coerência inicial. Podemos observar uma trajetória curva em direção à condição de equilíbrio.

Por fim, na Fig. 11, trabalhamos com as mesmas condições iniciais da Fig. 10, mas com uma dissintonia de 1 GHz. Podemos observar uma trajetória em espiral, que é uma precessão do vetor de Bloch. Essa precessão está descrita em [4], cuja taxa segundo as equações é de 1 GHz para campo nulo, que é o caso dessa figura.

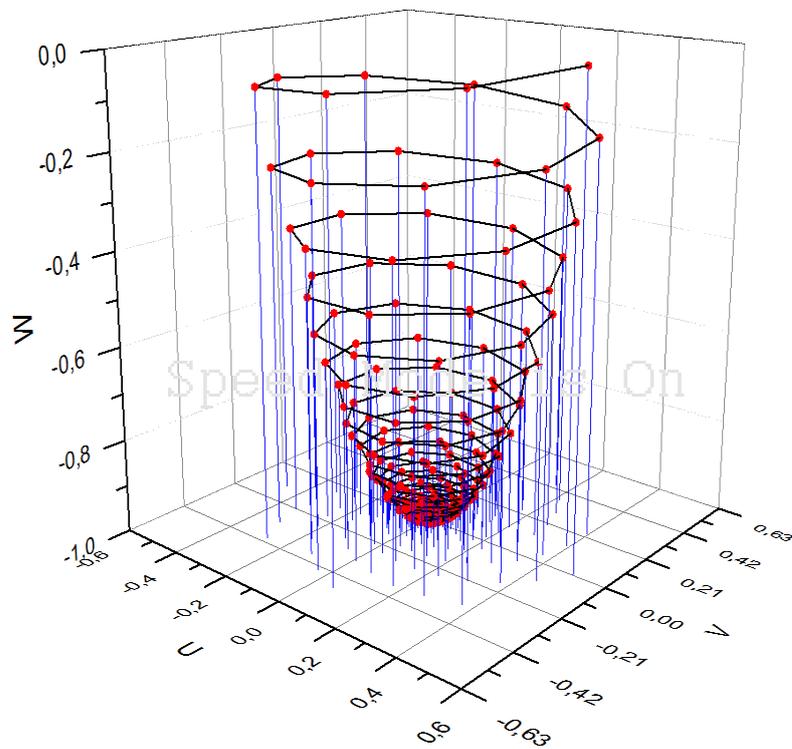


Figura11. Gráfico da evolução temporal do vetor de Bloch sem pulso e dissintonia $\delta = 1\text{GHz}$.

CONCLUSÕES

Ao longo dos últimos 12 meses, aprendi os fundamentos da linguagem de programação C e também um método numérico de solução de equações diferenciais ordinárias, o algoritmo de Runge-Kutta de quarta ordem. Aprendi também os fundamentos da interação entre lasers e sistemas quânticos de dois níveis. Por fim, usamos o método Runge-Kutta para resolver as equações que descrevem a interação entre pulsos de luz e sistemas de dois níveis. Analisamos diversas situações, onde variamos a área dos pulsos, a dissintonia e as condições iniciais.

Ficou faltando apenas à interação entre muitos pulsos (trem de pulsos) com o sistema atômico. Essa situação apresentou grande dificuldade, de forma que não pudemos terminá-lo. Enquanto que é relativamente fácil estudar a dependência de cada variável com o tempo, o estudo da evolução do vetor de Bloch devido à interação com muitos pulsos não é simples. Isso se deve ao fato dos diferentes parâmetros de tempo do sistema (pulsos com 100 fs, mas com 10 ns de intervalo entre os pulsos, considerando lasers realistas). Isso implica naturalmente no uso obrigatório de um passo da integração numérica de 1 fs para um resultado razoável. Isso deixou a integração muito lenta e também levou a um arquivo de dados muito grande (próximo de 1 Gb), tonando difícil a leitura dos dados por um software gráfico. Essas dificuldades precisam ser contornadas para um estudo da trajetória do vetor de Bloch em um sistema interagindo com muitos pulsos.

REFERÊNCIAS

- [1] J. J. Sakurai e Jim Napolitano. **Mecânica Quântica Moderna**, segunda edição, editora Bookman (2013).
- [2] Christopher J. Foot. **Atomic Physics**. Oxford master series in atomic, optical and laser physics (ano).
- [3] Marco P. M. de Souza. **Excitação coerente de um vapor atômico por trens de pulso ultracurtos e lasers contínuos**. Tese de Doutorado (Recife, UFPE, 2012).
- [4] L. Allen and J. H. Eberly, **Optical Resonance and Two-Level Atoms** (Dover, 1975).

ANEXO

Modelo do programa usado para obtenção dos gráficos mostrado à cima. Essas duas imagens refere-se aos oito primeiro gráficos.

```
#include<stdio.h>
#include<math.h>

float pi = 3.141592654;          float Gama = 2 * pi * 5e6;
float Omega0 = 1 * pi * 1.7852e5 * Gama;  float T = 1/Gama;
double Tp = 100e-15;          float Delta = 0;
double Omega;

float funU(float u, float v)
{
    return (Delta * v - (Gama/2.0) * u);
}

float funV(float t, float u, float v, float w)
{
    Omega = Omega0 * 1/cosh( 1.76 * t/Tp);
    return (- Delta * u - (Gama * v)/2.0 + w * Omega);
}

float funW(float t, float v, float w)
{
    Omega = Omega0 * 1/cosh( 1.76 * t/Tp);
    return (- Omega * v - Gama * ( w + 1));
}

main()
{
    int i, n;
    float t, h, k1a, k1b, k1c, k2a, k2b, k2c, k3a, k3b, k3c, k4a, k4b, k4c, D, G, 0, u, w, v;

    t = -400e-15;
    u = 0;
```

```

v = 0;
w = -1;
h = 1e-15;
n = 800;
FILE *Arq;
Arq = fopen("Curva_DUAS_VEZES_PI_(Delta = 0 ).txt", "w");
for (i = 0; i <= n; i++)
{
    t = t + h;
    k1a = funU( u, v);
    k1b = funV( t, u, v, w);
    k1c = funW( t, v, w);

    k2a = funU( u + ( h/2.0 ) * k1a, v + ( h/2.0 ) * k1a );
    k2b = funV( t + ( h/2.0 ), u + ( h/2.0 ) * k1b, v + ( h/2.0 ) * k1b, w + ( h/2.0 ) * k1b );
    k2c = funW( t + ( h/2.0 ), v + ( h/2.0 ) * k1c, w + ( h/2.0 ) * k1c );

    k3a = funU( u + ( h/2.0 ) * k2a, v + ( h/2.0 ) * k2a );
    k3b = funV( t + ( h/2.0 ), u + ( h/2.0 ) * k2b, v + ( h/2.0 ) * k2b, w + ( h/2.0 ) * k2b );
    k3c = funW( t + ( h/2.0 ), v + ( h/2.0 ) * k2c, w + ( h/2.0 ) * k2c );

    k4a = funU( u + h * k3a, v + h * k3a);
    k4b = funV( t + h, u + h * k3b, v + h * k3b, w + h * k3b);
    k4c = funW( t + h, v + h * k3c, w + h * k3c);

    u = u + ( h/6.0 ) * ( k1a + 2 * k2a + 2 * k3a + k4a );
    v = v + ( h/6.0 ) * ( k1b + 2 * k2b + 2 * k3b + k4b );
    w = w + ( h/6.0 ) * ( k1c + 2 * k2c + 2 * k3c + k4c );

    printf("%d %12f %12f %18f\n", i, u, v, w);
    fprintf(Arq, "%18f %12f %12f %18f\n", t*1e15, u, v, w);
}

```

Este modelo de programa está representado os seus resultados nos três últimos gráficos.

```

#include<stdio.h>
#include<math.h>

float pi = 3.141592654;          float Gama = 2 * pi * 5e6;
float Omega0 = 11.2050*1e5 * Gama;  float T = 1/Gama;
double Tp = 100e-15;            float Delta = 1e9;
double Omega;

float funU(float u, float v)
{
    return (Delta * v - (Gama/2.0) * u);
}

float funV(float t, float u, float v, float w)
{
    Omega = 0;
    return (- Delta * u - (Gama * v)/2.0 + w * Omega);
}

float funW(float t, float v, float w)
{
    Omega = 0;
    return (- Omega * v - Gama * ( w + 1));
}

main()
{
    int i, n;
    float t, h, k1a, k1b, k1c, k2a, k2b, k2c, k3a, k3b, k3c, k4a, k4b, k4c, D, G, O, u, w, v;

    t = 0;
    u = 0.5;
}

```

```

v = 0;
w = 0;
h = 1e-12;
n = 216000;
FILE *Arq;
Arq = fopen("sem_função_de_onda-(Delta_1Ghz).txt", "w");
for (i = 0; i <= n; i++)
{
    t = t + h;
    k1a = funU( u, v);
    k1b = funV( t, u, v, w);
    k1c = funW( t, v, w);

    k2a = funU( u + ( h/2.0 ) * k1a, v + ( h/2.0 ) * k1a );
    k2b = funV( t + ( h/2.0 ), u + ( h/2.0 ) * k1b, v + ( h/2.0 ) * k1b, w + ( h/2.0 ) * k1b );
    k2c = funW( t + ( h/2.0 ), v + ( h/2.0 ) * k1c, w + ( h/2.0 ) * k1c );

    k3a = funU( u + ( h/2.0 ) * k2a, v + ( h/2.0 ) * k2a );
    k3b = funV( t + ( h/2.0 ), u + ( h/2.0 ) * k2b, v + ( h/2.0 ) * k2b, w + ( h/2.0 ) * k2b );
    k3c = funW( t + ( h/2.0 ), v + ( h/2.0 ) * k2c, w + ( h/2.0 ) * k2c );

    k4a = funU( u + h * k3a, v + h * k3a);
    k4b = funV( t + h, u + h * k3b, v + h * k3b, w + h * k3b);
    k4c = funW( t + h, v + h * k3c, w + h * k3c);

    u = u + ( h/6.0 ) * ( k1a + 2 * k2a + 2 * k3a + k4a );
    v = v + ( h/6.0 ) * ( k1b + 2 * k2b + 2 * k3b + k4b );
    w = w + ( h/6.0 ) * ( k1c + 2 * k2c + 2 * k3c + k4c );

    printf("%d %.12f %.12f %.18f\n", i, u, v, w);
    fprintf(Arq, "%.18f %.12f %.12f %.18f\n", t*1e9, u, v, w);
}

```

SOBRE A ORGANIZADORA

Ingrid Aparecida Gomes - Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2008), Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa (2011). Atualmente é Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Foi professora colaborada na UEPG, lecionando para os cursos de Geografia, Engenharia Civil, Agronomia, Biologia e Química Tecnológica. Também atuou como docente no Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE), lecionando para os cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. Participou de projetos de pesquisas nestas duas instituições e orientou diversos trabalhos de conclusão de curso. Possui experiência na área de Geociências com ênfase em Geoprocessamento, Geotecnologia, Geologia, Topografia e Hidrologia.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-240-1

