



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Curso de Engenharia Biomédica

GABRIEL BISSON DE SOUZA

**PLATAFORMA VIRTUAL DIDÁTICA PARA ENSINO DE CONCEITOS
FÍSICOS DE IMAGEM POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA**

Uberlândia
2020

GABRIEL BISSON DE SOUZA

**PLATAFORMA VIRTUAL DIDÁTICA PARA ENSINO DE CONCEITOS
FÍSICOS DE IMAGEM POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Edgard Lamounier Jr.

Assinatura do Orientador

Uberlândia

2020

Dedico este trabalho à minha família, e a todas as famílias que construí durante esse período.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à toda minha família, meus pais, irmã e namorada, por todo suporte e paciência durante toda a graduação. Agradecimento especial ao Prof. Edgard Lamounier Jr. e ao Paulo Camargo por compartilharem seus conhecimentos técnicos, os quais foram imprescindíveis para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um ambiente tridimensional, contendo animações interativas, que simulam fenômenos físicos relacionados à aquisição de imagens em sistemas de ressonância magnética. O objetivo é providenciar, por meio deste ambiente, uma plataforma de ensino e aprendizagem sobre o tema. A plataforma apresenta simulações de fenômenos magnéticos básicos, em um ambiente virtual tridimensional, desenvolvidos em Unity3D. Diferentemente das abordagens clássicas de ensino e aprendizagem desses conceitos, que se limitam a figuras, animações bidimensionais e gesticulações para representar fenômenos dinâmicos e abstratos, o ambiente criado neste trabalho, por sua vez, oferece uma visualização tridimensional com pontos de vista no interior de um modelo de um sistema de ressonância magnética e opções de interatividade com os fenômenos. No ambiente proposto, é possível que o usuário promova a variação de parâmetros e pontos de vista das animações, objetivando facilitar a compreensão dos conceitos por parte dos estudantes, e também servir como ferramenta didática para professores da área.

Palavras-chave: física de ressonância magnética, fenômenos magnéticos, plataformas educacionais, interfaces tridimensionais.

ABSTRACT

This work consists in developing a three-dimensional virtual platform, containing interactive animations, which simulates physical phenomena in a didactical way, that occurs during an image acquisition in Magnetic Resonance equipment. The platform presents simulations of basic magnetic phenomena, in a three-dimensional virtual environment, developed in Unity3D. Unlike the classic approaches to teaching and learning these concepts, which are limited to figures, two-dimensional animations and gestures, to represent dynamic and abstract phenomena, the environment created in this work, offers a three-dimensional visualization with points of view inside a model of a magnetic resonance system and options of interactivity with the phenomena. In the proposed environment it is possible that the user promotes the variation of parameters and points of view of the animations, aiming to facilitate the understanding of the concepts by the students, and also to serve as a didactic tool for teachers of the area.

Keywords: magnetic resonance physics, magnetic phenomena, educational platforms, three-dimensional interface.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Movimento de Precessão	14
FIGURA 2 – Disposição dos Núcleos de Hidrogênio.....	15
FIGURA 3 – Diagrama de Casos de Uso UML.....	20
FIGURA 4 – Cena - Efeito de B_0 nos Átomos de Hidrogênio.....	22
FIGURA 5 – Informações sobre a Cena.....	22
FIGURA 6 - Cena – Vetor Magnetização.....	24
FIGURA 7 – Informações sobre a Cena.....	24
FIGURA 8 - Cena - Decaimento de Indução Livre.....	26
FIGURA 9 – Informações sobre a Cena.....	27
FIGURA 10 - Cena – Decaimento de Indução Livre em Diferentes Tecidos.....	28
FIGURA 11 - Informações sobre a Cena.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RM – Ressonância Magnética

3D – Três Dimensões

IRM – Imagem por Ressonância Magnética

RMN – Ressonância Magnética Nuclear

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1	Motivação	10
1.2	Objetivo Geral	11
1.3	Objetivos Específicos	11
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	Imagem por Ressonância Magnética: Princípios Físicos	12
2.2	Impactos na Aprendizagem	16
2.3	Plataformas 3D Interativas	17
3.	METODOLOGIA	18
3.1	Desenvolvimento do Software	18
3.2	Modelagem dos Objetos 3D	19
3.3	Desenvolvimento da Plataforma	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4.1	Efeito do Campo Magnético B_0 nos Átomos de Hidrogênio	20
4.2	Vetor Magnetização ou Vetor Resultante	23
4.3	Decaimento de Indução Livre	25
4.4	Decaimento de Indução Livre em Diferentes Tecidos	27
5	CONCLUSÃO	30
6	REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O processo educacional vem se modificando e ganhando outras abordagens com o desenvolvimento de novas tecnologias (OLIVEIRA, 2018). Ademais, a popularização do acesso a sistemas computacionais, como notebooks e smartphones, impulsionam o uso dessas plataformas em sala de aula (BRAGA, 2017).

Tendo isso em vista, a Física é uma das áreas que lança mão do uso dessas ferramentas a bastante tempo no processo educacional. Medeiros destaca a importância das simulações computacionais no processo de aprendizagem, na assimilação de fenômenos abstratos, apesar de deixar claro que as abordagens de ensino devem ser multifacetadas e não focadas somente em simulações (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Simultaneamente, a Imagem por ressonância magnética vem ganhando espaço como ferramenta de diagnóstico. De acordo com dados do relatório do Cadastro Nacional de Estabelecimentos em Saúde, houve um aumento de 23,8 % no número de equipamentos de ressonância magnética nos estabelecimentos cadastrados, entre o período de agosto de 2017 e agosto de 2020 (BRASIL, 2020).

Nesse contexto, ferramentas atualizadas para ensino e aprendizagem de conceitos físicos sobre equipamentos de IRM se fazem necessárias, considerando a necessidade de dominar tais conceitos para operar máquinas e realizar exames.

Em contrapartida, os conceitos da física da ressonância magnética nuclear, envolvendo eletromagnetismo e física quântica, presentes na aquisição de sinal por equipamentos de ressonância magnética, frequentemente se apresentam como um fator de difícil compreensão por parte dos estudantes (HANSON, 2007). Os professores, por sua vez, usualmente, lançam mão de abordagens clássicas de ensino, como uso do quadro negro, figuras estáticas ou gesticulação, para ilustrar os conceitos, que em sua maioria são dinâmicos e com movimentos complexos (HANSON, 2007).

Tendo isso em vista a limitação de ferramentas para apresentar conceitos dinâmicos, como a movimentação dos spins e a precessão, faz-se necessário o desenvolvimento de soluções, que busquem facilitar essa transmissão de conhecimento.

1.2 Objetivo Geral

A partir da necessidade da criação de alternativas para melhor compreensão dos fenômenos magnéticos dinâmicos, presentes no processo de aprendizagem de física básica de ressonância magnética, o presente trabalho objetiva desenvolver um ambiente tridimensional, que simule tais fenômenos, de forma didática e interativa.

1.3 Objetivos Específicos

- Desenvolver um ambiente tridimensional, utilizando o Unity 3D, para apresentar animações que simulam fenômenos magnéticos básicos da física de ressonância magnética. As animações presentes, deverão simular vetores, íons, ímãs entre outros elementos, dos quais o usuário pode variar parâmetros de intensidade, acionar eventos, e variar os pontos de vista dos fenômenos.
- Disponibilizar uma visualização dos fenômenos dentro de um modelo de um sistema de ressonância magnética, buscando criar uma abordagem mais próxima ao que ocorre em equipamentos reais. Essa iniciativa busca complementar a exibição dos elementos dentro de uma estrutura de referência laboratorial (plano cartesiano X, Y e Z), comumente utilizada em iniciativas similares.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Imagem por Ressonância Magnética: Princípios Físicos

Amplamente utilizado nas rotinas clínicas do mundo todo, o diagnóstico por imagem de Ressonância Magnética ganhou espaço nas últimas décadas. O processo de aquisição de imagem destaca-se entre os outros métodos por apresentar alta diferenciação de tecidos e uma ampla gama de aplicações clínicas. Todavia, sem a emissão de radiação ionizante.

O fenômeno físico da Ressonância Magnética Nuclear foi, primeiramente, descrito por (BLOCH, 1946) e (PURCELL, 1946), em artigos publicados no ano de 1946 na revista *Physics Review*. No entanto, as primeiras imagens aplicando RMN só foram adquiridas em 1972, por (LAUTERBUR, 1973).

De forma concatenada, a aquisição de sinal é possível graças a interação dos átomos de hidrogênio presentes nos tecidos, com um forte campo magnético. Essa interação, cria pré-condições para que os átomos sejam excitados por um campo magnético externo, usualmente chamado de pulso de RF, que altera o estado de equilíbrio do conjunto de núcleos. Esse campo magnético é chamado de pulso de RF, pois é aplicado pelo período de alguns milissegundos, e abrange faixas de frequências na ordem de 3 kHz até 300 GHz, denominada Radiofrequência (RODITI, 2005). O retorno dos núcleos ao estado de equilíbrio, após a aplicação do pulso, provoca uma indução de corrente nas bobinas, que por sua vez são posicionadas próximo ao tecido em que está sendo adquirido o sinal. O sinal coletado nas bobinas é processado, e por fim é convertido em imagem, ou em outra informação, como nas aplicações de espectroscopia, por exemplo.

Levando em consideração a complexidade e abrangência do tema, que envolve conceitos de eletromagnetismo, condutividade e processamento de sinal, é importante ressaltar que a plataforma proposta deve abranger as propriedades mais básicas, necessárias para a compreensão dos conceitos que tornam possíveis a aquisição de sinal.

De início, os átomos de hidrogênio apresentam dois movimentos principais: spin e precessão. O movimento de spin, pode ser comparado de forma simplificada a uma rotação em volta do seu próprio eixo, e apresenta alta taxa de rotação em átomos

que possuem elevado momento angular e momento magnético, como o hidrogênio. Adicionalmente, quando expostos a um forte campo magnético, os átomos de hidrogênio interagem com o campo e apresentam o movimento de precessão. Essas características, permitem a analogia do núcleo de hidrogênio com um pequeno ímã, ou sejam um dipolo magnético (PYKETT et al., 1982), pois além de possuir campo magnético próprio, interage com outros campos magnéticos. Esse dipolo pode ser imaginado como um pequeno vetor, que aponta para direções aleatórias ao longo do tempo.

O núcleo de hidrogênio não só apresenta características magnéticas ideais para IRM (maior momento magnético), bem como é abundante no corpo humano, uma vez que estão presentes nas moléculas de água, que compõe entre 70% a 75% do peso corporal (LOHMAN,2005).

Normalmente, a orientação desordenada dos dipolos de hidrogênio, faz com que os pequenos vetores representados por cada um, se cancelem. No entanto, quando expostos a um campo magnético altíssimo (chamado de B_0), tendem a se organizar paralelamente e antiparalelamente à direção do campo B_0 . Os prótons alinhados paralelamente (estado de menor energia), se encontram precessando na mesma direção e sentido de B_0 , enquanto os alinhados antiparalelamente (estado de maior energia) se encontram precessando na mesma direção, porém em sentido contrário.

Entretanto, existe um desequilíbrio entre o número de núcleos orientados em cada sentido, uma vez que, os alinhados paralelamente são ligeiramente mais numerosos do que os orientados antiparalelamente. Para se ter dimensão, tendo como exemplo um campo magnético $B_0 = 1,5T$, na temperatura média dos tecidos humanos, a diferença entre os spins que ocupam o estado de menor energia para os de maior energia é de aproximadamente 5 para cada 1 milhão (MAZZOLA, 2009). A divisão entre os spins em dois níveis de energia possíveis é descrita pela distribuição de Boltzmann (WESTBROOK; ROTH; TALBOT, 2011).

A grande estratégia desenvolvida para obter as imagens dos tecidos utilizando o fenômeno da RM, é utilizar esses spins excedentes que se alinham paralelamente, no estado de menor energia. Tais spins são passíveis de serem excitados através da aplicação de um pulso de radiofrequência, capaz de fornecer energia para que os spins invertam sua orientação e passem para o estado de maior energia. Estes, que

por sua vez, retornam ao estado inicial, “devolvendo” a energia ganhada, em forma de um pequeno campo magnético, que induz corrente nas bobinas.

Para compreender melhor o processo de indução de corrente nas bobinas e também como é formada a imagem, é necessário avaliar o segundo movimento dos núcleos de hidrogênio ao serem expostos à altos campos magnéticos: a precessão. O movimento de precessão (Figura 1) de forma simplificada, é o resultado da tentativa de alinhamento dos núcleos com o campo B_0 , combinado com o movimento de spin. Tal movimento se aproxima por analogia do comportamento de um pião, em que o vetor magnetização percorre um trajeto circular ao redor de B_0 , em uma determinada frequência, chamada de frequência de precessão (WESTBROOK; ROTH; TALBOT, 2011).

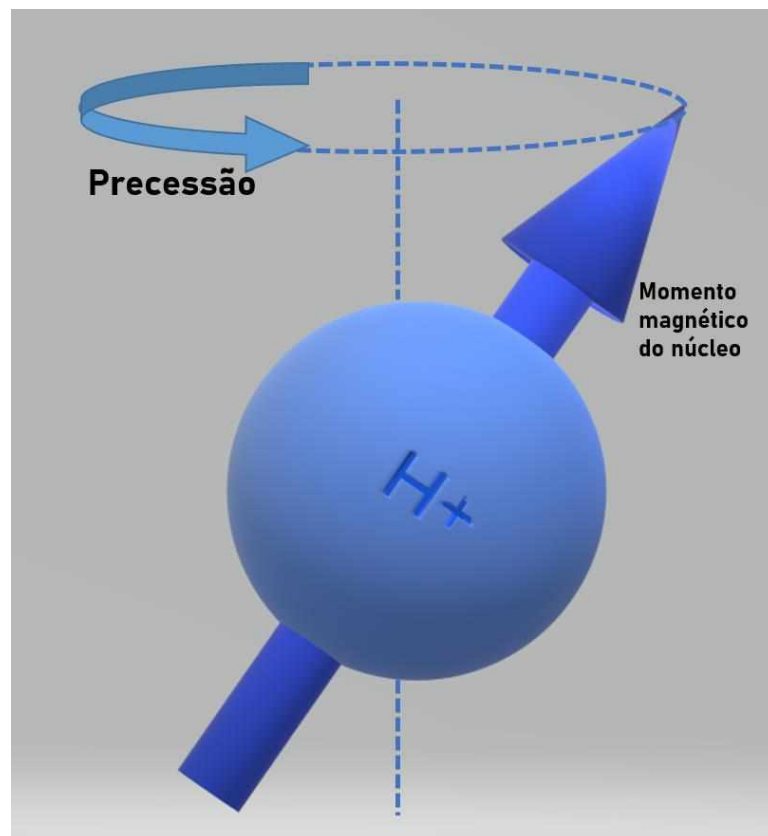


Figura 1: Movimento de precessão. Fonte: próprio autor.

O valor da frequência de precessão é descrito pela equação de Larmor (WESTBROOK; ROTH; TALBOT, 2011):

$$\omega_0 = B_0 \times \lambda$$

A qual:

ω_0 é a frequência de precessão;

B_0 é a força do campo magnético aplicado;

λ é a razão giromagnética;

A equação de Larmor estabelece uma relação diretamente proporcional entre a frequência de precessão ω_0 e o campo magnético B_0 . Considerando que a razão giromagnética é constante para cada tipo de núcleo (razão giromagnética do hidrogênio é de 42,58 MHz/T) com um campo magnético de 3,0 T, a frequência de precessão terá um valor de 127,74 MHz por exemplo.

Aliando o conceito do movimento de precessão com a distribuição desigual da magnetização dos spins em dois níveis de energia, é possível imaginar a resultante de forças desses estados (Figura 2), como um vetor M_0 com a mesma direção do campo B_0 , que precessa em torno desta direção.

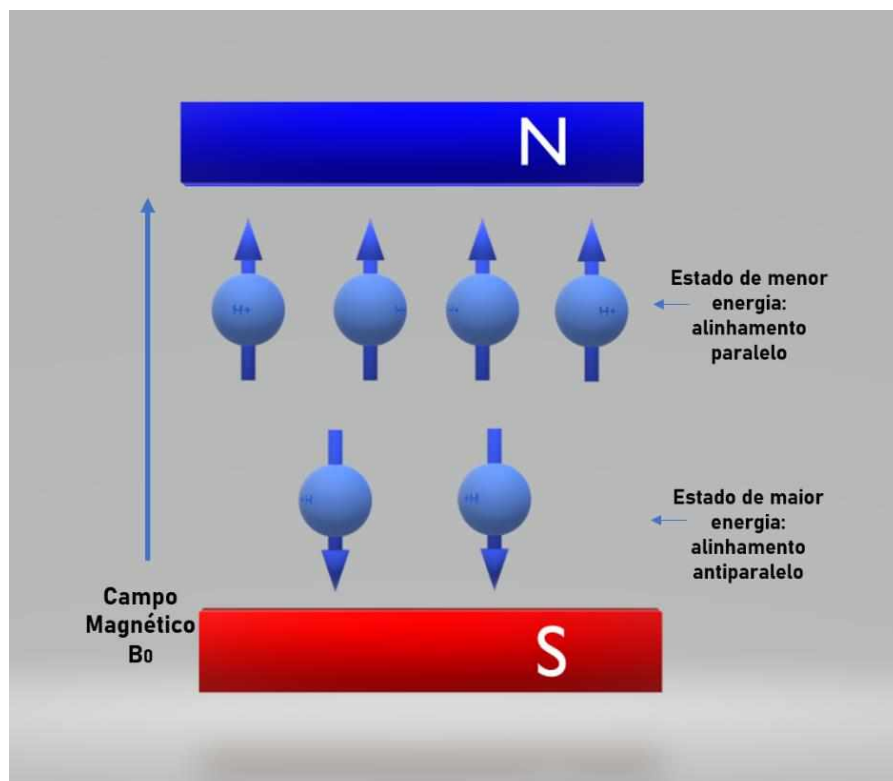


Figura 2: Disposição desequilibrada dos núcleos de Hidrogênio em dois níveis de energia. Fonte: próprio autor.

O vetor resultante de magnetização M_0 dispõe das pré-condições para geração de sinal. No entanto, ainda é necessário que os spins que estão processando na

mesma frequência possuam coerência de fase para que a intensidade do vetor seja suficiente para induzir corrente em uma bobina.

Para tanto, um campo magnético B_1 , perpendicular a B_0 é posto em ação. Conhecido como pulso de RF, o campo B_1 recebe essa designação pois é aplicado somente durante alguns milissegundos e sua intensidade está na faixa de Radiofrequência do espectro eletromagnético (WESTBROOK; ROTH; TALBOT, 2011).

Além disso, B_1 tem frequência igual a frequência ω_0 de Larmor, promovendo o fenômeno de ressonância do pulso de RF com os núcleos de hidrogênio, que processam com frequência ω_0 . A aplicação do pulso, fornece energia aos momentos magnéticos individuais dos spins, conduzindo-os ao estado de maior energia, e como consequência o vetor M_0 é deslocado com uma angulação específica (usualmente 90°), em direção ao plano transversal ao campo B_0 . O deslocamento, promove um alinhamento de fase dos momentos individuais, aumentando o sinal no plano transversal. A bobina é, portanto, posicionada neste plano, e é capaz de captar sinal com maior intensidade, logo após a aplicação do pulso de RF. Quando a aplicação do pulso cessa, a tendência dos spins é voltar ao estado de equilíbrio, ou seja, ao alinhamento inicial com o campo B_0 . Esse processo é conhecido como Relaxação, em que os spins vão perdendo, gradualmente, a coerência de fase e o resultado no sinal induzido na bobina é uma senoidal amortecida (MAZZOLA, 2009). A diferenciação dos tecidos nas imagens adquiridas pelo método de ressonância magnética é dada pelas diferenças entre os tempos de relaxação dos diferentes tecidos do corpo.

2.2 Impactos na Aprendizagem

Considerando a expansão do acesso a plataformas computacionais, bem como a capacidade de processamento presente em computadores e smartphones, a inserção dessas tecnologias como ferramentas de educação não tardou. Atualmente, existem diversas ferramentas educacionais que objetivam complementar o processo de aprendizagem, sejam elas de caráter instrutivo ou avaliativo. Essa tendência já ocupa diferentes espaços, como na educação básica (ensino fundamental e médio), nas universidades, ou até mesmo em grandes empresas para treinamento e

desenvolvimento de colaboradores. De acordo com (MORAN, 2015), “O que a tecnologia traz hoje é integração de todos os espaços e tempos. O ensinar e aprender acontece numa interligação simbiótica, profunda, constante entre o que chamamos mundo físico e mundo digital. Não são dois mundos ou espaços, mas um espaço estendido, uma sala de aula ampliada, que se mescla, hibridiza constantemente”.

Essa mescla de tecnologia e educação, se apresenta benéfica nos diferentes espaços que ocupa, apesar de cumprir papéis diferentes. Por exemplo, para estudantes do ensino médio, (Cavenaghi & Bzuneck, 2009) expõe as vantagens da utilização de recursos variados na sala de aula, incentivando a proposta de diferentes tarefas e atividades por parte do professor, permitindo envolvimento e interesse por parte dos alunos e o quanto essa motivação é fundamental para a aprendizagem. Ademais, a oferta de atividades práticas em plataformas digitais coloca os alunos em uma posição mais ativa em relação ao seu estudo. Essa presença em sala de aula, que não se limita a exposição dos conteúdos feita pelo professor, é defendida no trabalho descrito por NARDI, 2012.

Por outro lado, iniciativas na mesma direção têm sido implementadas por empresas e instituições. A título de exemplo, a Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais) desenvolveu em parceria com a Universidade Federal de Uberlândia, um Sistema de Realidade Virtual, RVCemig, com objetivo de efetuar a operação em tempo real de subestações e usinas, bem como para treinamento de equipes de operação. Conforme descrito no artigo, a plataforma melhora a interpretação das atividades realizadas em campo, bem como padroniza o conhecimento dos colaboradores sobre as questões de controle e gestão das subestações (PRADO, 2016).

2.3 Plataformas 3D Interativas

No universo da Física, plataformas digitais são, frequentemente, utilizadas na forma de simuladores. Isso pode ser explicado pelo alto nível de abstração necessária para compreender um fenômeno físico, bem como a importância de atividades práticas para auxiliar na assimilação dos conceitos. A possibilidade de variar parâmetros, pontos de vista e condições do ambiente, fornece uma visão holística do

fenômeno a ser compreendido, criando sentido às equações e desenvolvimentos matemáticos.

Nesse contexto, a escolha de um ambiente em três dimensões é pautado na amplitude e versatilidade da visualização, que corroboram com a compreensão dos fenômenos físicos.

Um estudo publicado na Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, fez uma Análise Estatística de Variância (ANOVA) para avaliar a eficácia da implementação de uma plataforma virtual de ensino de física (fenômenos magnéticos e ondulatórios) para turmas do ensino médio. (MONTEIRO, 2016) aplicou a plataforma com vídeos, simulações e atividades práticas em diferentes salas de aula e avaliou os estudantes utilizando-se de uma prova e um questionário de satisfação. Os resultados foram positivos e produziram impacto no desempenho e no engajamento dos alunos.

De forma mais específica, existem algumas iniciativas de plataformas educacionais que demonstram fenômenos magnéticos presentes na física da Ressonância Magnética. A plataforma BlochSimulator, desenvolvida por (HANSON, 2007) do Danish Research Centre for Magnetic Resonance, se enquadra no estado da arte dessas iniciativas. Em sua versão mais atualizada, a plataforma apresenta simulações interativas de fenômenos magnéticos básicos e avançados e apresenta um gráfico que simula as curvas do sinal recebido pelas bobinas dos equipamentos de ressonância que, por sua vez, são atualizados conforme as alterações das animações. Além da acurácia física das animações, é possível acessá-la diretamente no navegador de internet e até mesmo por um aplicativo Android.

3. METODOLOGIA

3.1 Desenvolvimento do Software

Para criação da plataforma foi utilizado o Unity 2018, uma ferramenta multilinguagem de programação, que suporta scripts em duas linguagens JavaScript e C# (linguagem orientada à objetos da Microsoft), usualmente, utilizada para desenvolvimento de jogos. Na plataforma, é possível desenvolver e renderizar jogos em 2D e 3D. A plataforma possui todas as ferramentas necessárias para produção das cenas e programação do movimento dos objetos. Além disso, os objetos 3D utilizados nas

animações foram modelados e texturizados no software Blender 2.82 desenvolvido pela Blender Foundation.

3.2 Modelagem dos Objetos 3D

Os objetos foram modelados utilizando o software Blender 2.82, e tinham como objetivo a simplicidade e minimalismo, bem como um número de vértices reduzidos, para que a exibição gráfica não gere atrasos durante a execução do programa. Todas as peças são composições de modelos geométricos oferecidos pela ferramenta. Para representar ímãs por exemplo, foram utilizadas duas barras com cores azul e vermelho, e indicações N e S (Norte e Sul), enquanto os spins de hidrogênio, com seus respectivos vetores de momento angular, foram utilizados esferas agrupadas com setas.

3.3 Desenvolvimento da Plataforma

No Unity 2018, é comum desenvolver jogos e aplicações utilizando cenas, as quais se alternam na exibição, de acordo com eventos-gatilho pré-programados, que são acionados pelo usuário. A plataforma foi desenvolvida com quatro cenas, que podem ser acessadas a partir do menu inicial. Cada cena objetiva representar com uma animação, um fenômeno físico básico e de forma didática, que ocorre durante a aquisição de imagem por Ressonância Magnética. Para melhor compreensão da estrutura da plataforma, foi desenvolvido um Diagrama de Casos de Uso UML (Figura 3).

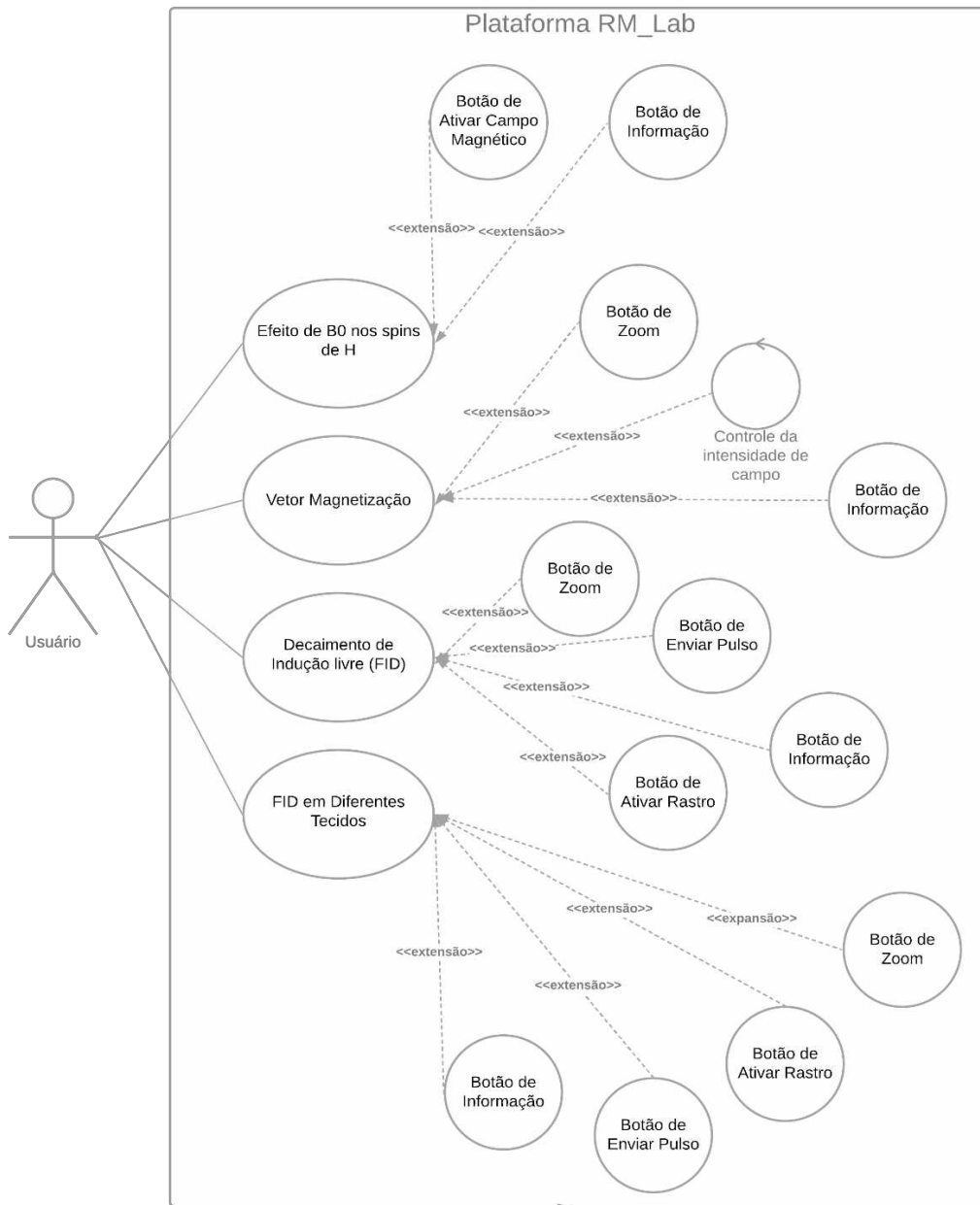


Figura 3: Diagrama de Caso de Uso UML da Plataforma

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Efeito do Campo Magnético B_0 nos Átomos de Hidrogênio

Na cena “Efeito de B_0 nos Spins de H^+ ” que pode ser acessada a partir do menu inicial, é possível visualizar a representação dos spins de hidrogênio, com seus momentos angulares, movimentando aleatoriamente ao longo do tempo e girando em torno do próprio eixo. Essa movimentação é ativada, automaticamente, ao entrar na

cena. O movimento aleatório dos spins é implementado aplicando a função *Random.Range()* para gerar valores aleatórios entre 0 e 360 e, em seguida, aplicando esse valor em graus na rotação do spin em torno do centro, com *Transform.RotateAround()*.

Adicionalmente, existem duas barras metálicas, uma vermelha com a letra S (representando o polo Sul de um ímã), e uma azul com a letra N (representando o polo Norte de um ímã). O usuário pode interagir com um botão com a legenda “Ativar Campo Magnético”, que se apresenta com um contorno verde ao ser clicado. Após a interação, é ativada a função que simula o comportamento dos spins quando expostos a um campo magnético forte. Dessa forma, os spins se alinham paralela (4 spins) e anti-paralelamente (2 spins) ao campo, demonstrando a maioria estatística dos spins paralelos à direção do campo. A movimentação simula o movimento de precessão, e o giro em torno do próprio eixo, sendo possível verificar que não há coerência de fase entre os spins de hidrogênio.

A implementação do movimento de precessão é feita partir da função *Transform.Rotate()*, que promove o movimento dos spins a partir da base, instanciados por valores específicos, para reproduzir mais fielmente o fenômeno. Para fornecer um reforço visual da “ativação” do campo magnético, foi implementado um sistema de partículas flutuantes que partem das barras dos ímãs, enquanto o evento de ativação do botão estiver em curso. Esse recurso é uma aplicação do Unity 3D, que permite estanciar por exemplo: o número de partículas, a velocidade de movimentação e as cores. O usuário pode clicar novamente no mesmo botão, com a legenda “Desativar Campo Magnético”, para que a cena volte ao início. A cena pode ser visualizada na figura a seguir (Figura 4).

Para orientar o usuário, foi implementado um outro botão de interação, com a legenda “?”, que ao ser clicado, exibe uma janela com texto explicativo das funções de interação disponíveis na cena, e do fenômeno físico representado (Figura 5). No canto superior esquerdo da tela, um botão com a legenda “Voltar” permite que o usuário retorne ao menu principal.

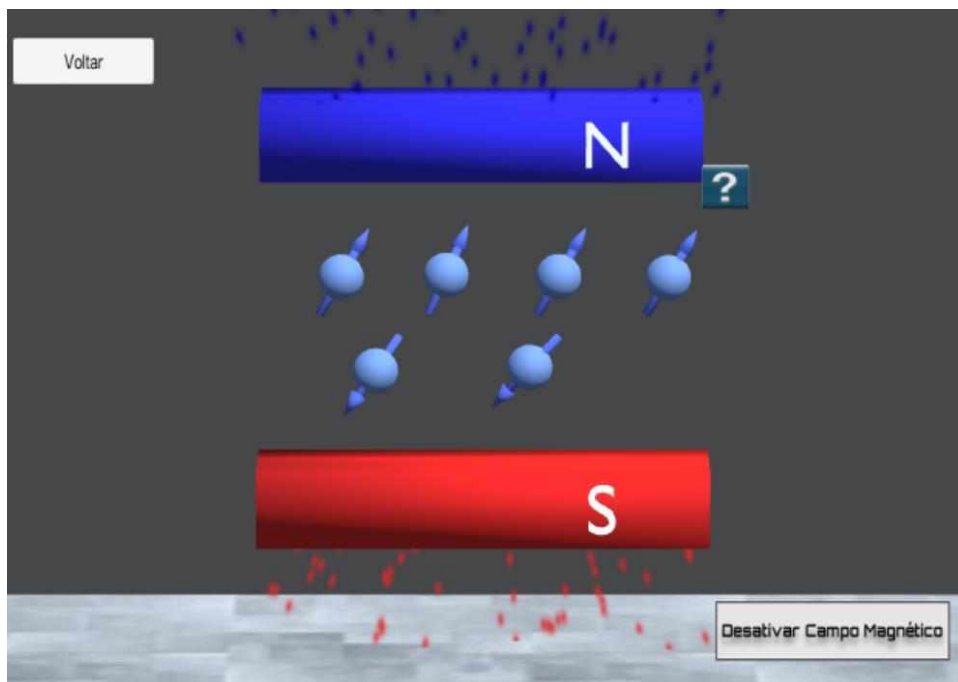


Figura 4: Cena - Efeito de B_0 nos Spins de Hidrogênio

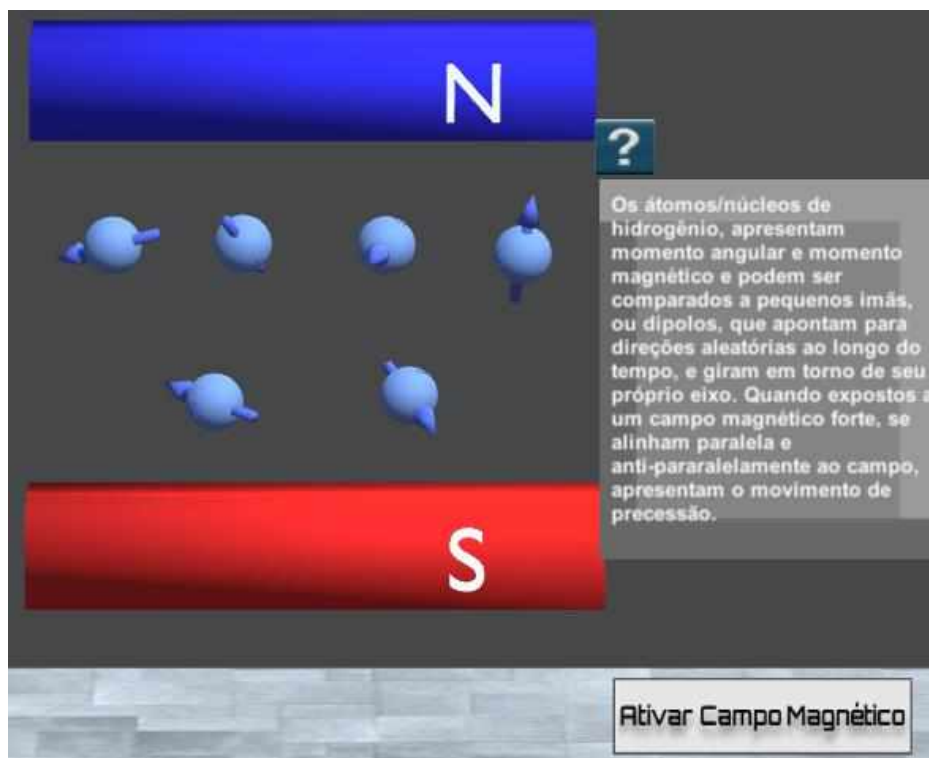


Figura 5: Informações sobre a cena

4.2 Vetor Magnetização ou Vetor Resultante

A cena “Vetor Magnetização”, que pode ser acessada a partir do menu inicial, objetiva representar o vetor resultante da magnetização dos spins de hidrogênio (M_0), ao interagir com um campo magnético forte. No início da cena, é possível visualizar o vetor M_0 realizando o movimento de precessão em torno de um eixo fixo. A finalidade educacional desta cena, está em representar a influência da Intensidade do campo magnético, na velocidade angular, ou seja, na frequência de rotação do vetor resultante, descrita pela Equação de Larmor. O movimento do vetor M_0 se inicia automaticamente no início da cena, quando é ativada a função *Transform.Rotation()*, com ponto pivô na base do vetor, estanciada por valores específicos, para reproduzir mais fielmente o fenômeno.

Foi implementado um controle deslizante, que possui uma legenda inicial: “Intensidade do Campo Magnético B_0 : 1,5 T” do qual o usuário pode simular o controle da intensidade do campo (que altera seu valor conforme o movimento de arrasto do controle). Ao oscilar entre os valores de Intensidade, a frequência de precessão (ou frequência de Larmor) aumenta ou diminui proporcionalmente. O controle deslizante funciona como um potenciômetro, uma vez que envia à função *Transform.Rotation()* valores inteiros que variam de 0 a 7 que, por sua vez, multiplicam uma variável de velocidade angular do vetor. Da mesma forma, o valor inteiro atual é enviado para uma função que atualiza a legenda do controle deslizante, com ajuda da função de conversão *ToString()*.

Enquanto a precessão do vetor M_0 ocorre na cena, é possível alternar o fenômeno para um segundo ponto de vista em uma estrutura de referência laboratorial, utilizando o botão com a legenda “Mudar Câmera”, do qual M_0 aparece realizando o movimento de precessão dentro de um modelo de sistema de Ressonância Magnética, já no posicionamento fiel do eixo Z aos sistemas reais. Este ponto de vista dentro do modelo do equipamento, tem a intenção de criar uma correlação entre os fenômenos físicos, e a prática da aquisição de imagens, favorecendo na assimilação dos conceitos. O botão ativa a função *Transform.Position()*, que atualiza a posição da câmera para a nova posição na cena. Adicionalmente, a função *Quaternion.Euler()* é utilizada para promover uma rotação/transição suave do campo de visão. A cena pode ser visualizada na figura a seguir (Figura 6).

Para orientar o usuário, foi implementado um outro botão de interação, com a legenda “?”, que ao ser clicado, exibe uma janela com texto explicativo das funções de interação disponíveis na cena, e do fenômeno físico representado (Figura 7). No canto superior esquerdo da tela, um botão com a legenda “Voltar” permite que o usuário retorne ao menu principal.

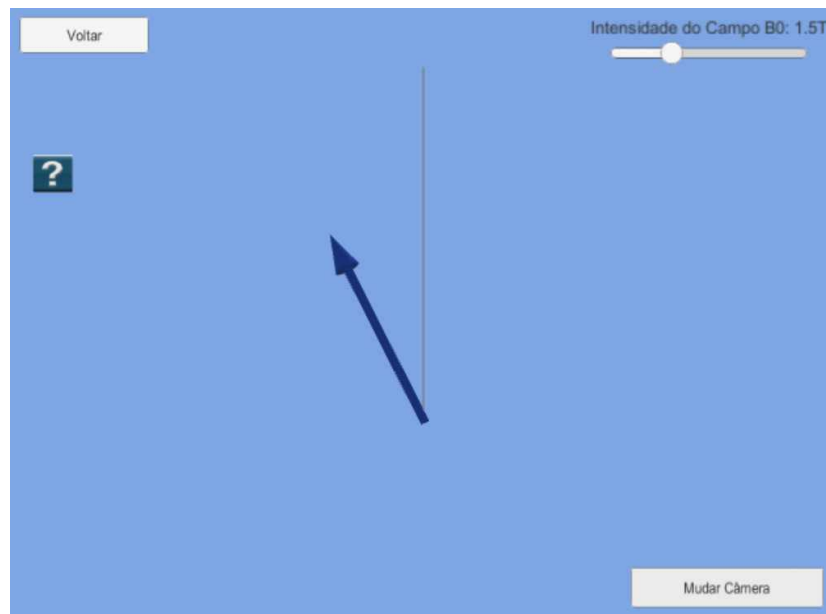


Figura 6: Cena - Vetor Magnetização

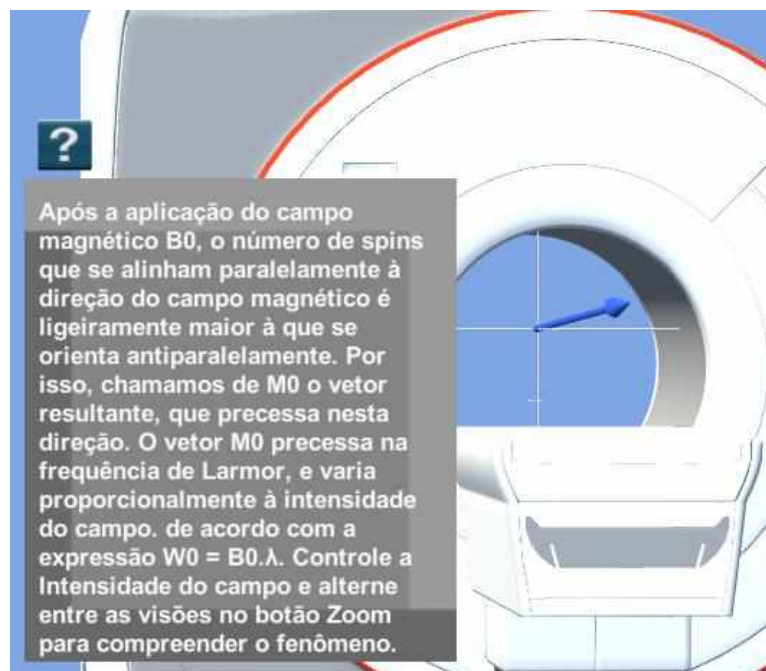


Figura 7: Informações da Cena

4.3 Decaimento de Indução Livre

A cena “Decaimento de Indução Livre”, pode ser acessada a partir do menu principal, e tem como objetivo educativo demonstrar o efeito da aplicação de um pulso eletromagnético, sobre o resultante vetor resultante. O nome Decaimento de Indução Livre, ou Free Induction Decay em inglês, é dado ao processo em que M_0 ganha energia a partir da aplicação do pulso eletromagnético perpendicular ao vetor, e os spins se deslocam e entram em fase, aumentando a componente de magnetização transversal. Logo após o pulso ser desligado, os spins começam a perder sua coerência de fase, e o vetor M_0 começa a retornar lentamente a sua posição de equilíbrio, recuperando a componente de magnetização longitudinal.

Nesta cena, o vetor M_0 é representado pelo vetor azul, a componente de magnetização transversal é representada pelo vetor amarelo, e a componente longitudinal pelo vetor verde. Além disso, foi escolhido um deslocamento angular de 90° para os vetores, por ser um valor frequentemente utilizado na prática da aquisição de imagens. A cena se inicia com os vetores estáticos.

Para acionar a movimentação dos vetores, um botão com a legenda “Enviar Pulso” foi implementado, do qual inicia a sequência de acontecimentos, e pode ser pressionado pelo usuário ilimitadamente. O botão desencadeia a função *Transform.LocalScale()* que altera as dimensões de cada um dos modelos dos vetores verde (M_z) e amarelo (M_{xy}) ao longo do tempo, ao mesmo tempo que rotaciona o vetor amarelo (M_{xy}) horizontalmente, no plano XY. O vetor resultante azul (M_0), é calculado a partir de um ponto resultante, que representa a soma vetorial entre M_z e M_{xy} . Para isso, as 3 coordenadas no campo 3D são calculadas usando conceitos trigonométricos:

- Coordenada X: Seno da componente y do vetor M_z * Amplitude da componente z do vetor M_{xy}
- Coordenada Y: Componente z do vetor M_z
- Coordenada Z: Cosseno da componente y do vetor M_{xy} * Amplitude da componente z do vetor M_{xy}

Para melhor compreensão do retorno ao equilíbrio do vetor M_0 , foi implementado um “rastro” que é desenhado pela ponta resultante do vetor azul, enquanto descreve sua trajetória espiral, em direção ao equilíbrio. O rastro pode ser

ativado ou desativado pelo usuário, ao interagir com o botão com legenda “Ativar Rastro”. O rastro foi implementado utilizando um efeito de renderização do Unity 3D, chamado *TrailRenderer()*.

Adicionalmente, o botão “Mudar Câmera” foi implementado para alternar entre 4 pontos de vistas do fenômeno, visão frontal, oblíqua, superior, e dentro do modelo 3D do sistema de Ressonância Magnética. O botão ativa a função *Transform.Position()*, que atualiza a posição da câmera para as novas posições na cena. Adicionalmente a função *Quaternion.Euler()* é utilizada para promover uma rotação/transição suave do campo de visão.

O ponto de vista dentro do modelo do equipamento, tem a intenção de criar uma correlação entre os fenômenos físicos e a prática da aquisição de imagens, favorecendo a retenção dos conceitos. Na visualização do modelo do sistema de Ressonância Magnética, os eixos dos vetores são rotacionados para representar as posições coerentes com os equipamentos reais. A cena pode ser visualizada na figura a seguir (Figura 8).

Para orientar o usuário, foi implementado um outro botão de interação, com a legenda “?”, que ao ser clicado, exibe uma janela com texto explicativo das funções de interação disponíveis na cena, e do fenômeno físico representado (Figura 9). No canto superior esquerdo da tela, um botão com a legenda “Voltar” permite que o usuário retorne ao menu principal.

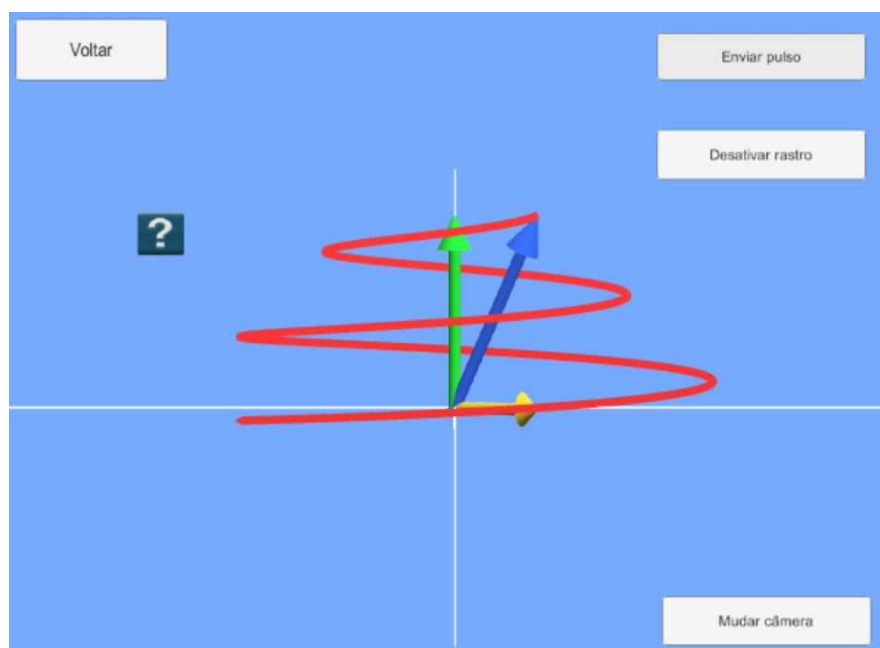


Figura 8: Cena - Decaimento de Indução Livre

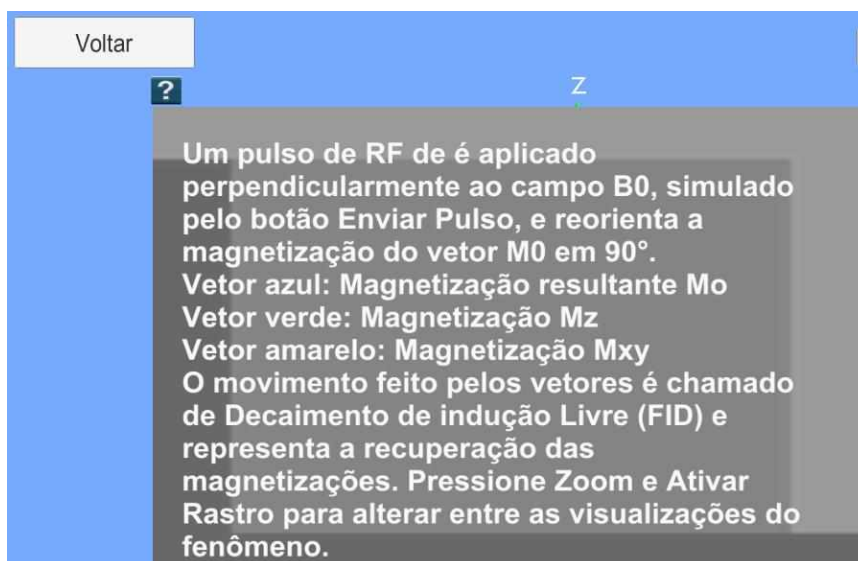


Figura 9: Informações sobre a Cena

4.4 Decaimento de Indução Livre em Diferentes Tecidos

Analogamente à cena anterior, a cena “Decaimento de Indução Livre em Diferentes Tecidos”, também objetiva demonstrar o efeito da aplicação de um pulso eletromagnético sobre o vetor M_0 . Entretanto, nesta cena, foram implementados dois vetores M_0 , que após serem excitados pelo pulso de 90° , retornam ao posicionamento de equilíbrio com velocidades diferentes. Os dois vetores (de cores azul e azul claro) representam dois tecidos diferentes do corpo, que são ponderados e diferenciados pelo sistema de Ressonância Magnética, por T_1 e T_2 , que compreendem nos tempos de relaxamento individuais de cada tecido.

Dessa forma, a diferença nas velocidades de retorno, exibem a diferença nos tempos T_1 e T_2 , que permitem a ponderação precisa nas imagens. Analogamente, na cena “Decaimento de Indução Livre”, a movimentação do vetor resultante é baseada no vetor resultante entre as componentes M_{xy} e M_z (que nesta cena foram ocultadas). Adicionalmente, a diferença no tempo de retorno entre os vetores que simulam os diferentes tecidos, é implementada a partir de constantes pré-definidas, que multiplicam a velocidade angular na função *Transform.Rotate()*.

O botão “Mudar Câmera” foi implementado para alternar entre 4 pontos de vistas do fenômeno, visão frontal, oblíqua, superior, e dentro do modelo 3D do sistema de Ressonância Magnética. O botão ativa a função *Transform.Position()*, que atualiza

a posição da câmera para as novas posições na cena. A função *Quaternion.Euler()* é utilizada para promover uma rotação/transição suave do campo de visão.

De forma similar, o ponto de vista dentro do modelo do equipamento, tem a intenção de criar uma correlação entre os fenômenos físicos e a prática da aquisição de imagens, favorecendo a retenção dos conceitos.

Para orientar o usuário, foi implementado um outro botão de interação, com a legenda “?” (Figura 7), que ao ser clicado, exibe uma janela com texto explicativo das funções de interação disponíveis na cena, e do fenômeno físico representado. No canto superior esquerdo da tela, um botão com a legenda “Voltar” permite que o usuário retorne ao menu principal.

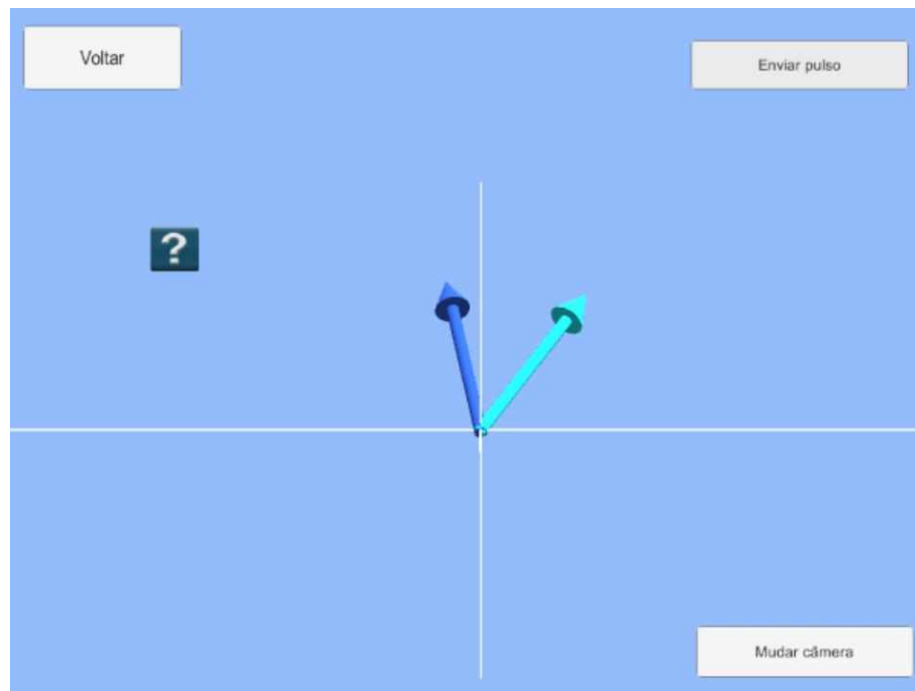


Figura 10: Cena - Decaimento de Indução Livre em Diferentes Tecidos

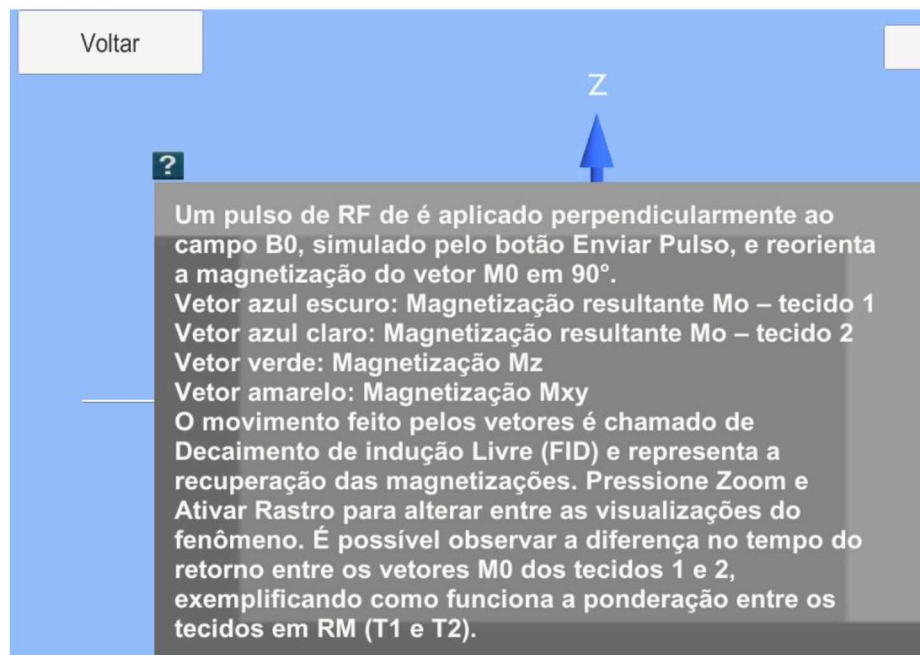


Figura 11: Informações sobre a Cena

5 CONCLUSÃO

Em suma, o desenvolvimento da plataforma cumpriu o objetivo proposto de ser desenvolvido como material de apoio ao ensino e aprendizado, com animações tridimensionais que simulam modelos e fenômenos magnéticos básicos, presentes no contexto da RM, de maneira consistente e sustentados por boas referências acadêmicas.

A plataforma foi capaz de fornecer diversas opções de interação do usuário, bem como diferentes pontos de vista do mesmo fenômeno, que corroboram para o processo de aprendizagem. O design do software teve foco na simplicidade, e conta com informativos que exibem instruções de uso, para auxiliar na experiência do usuário.

Por fim, a plataforma apresentou um grande potencial para ser utilizada como ferramenta de ensino para educadores, bem como material de apoio no processo de aprendizagem de estudantes, na área de ressonância magnética.

6 REFERÊNCIAS

BLOCH, F. Nuclear induction. **Physical Review**, [S. l.], v. 70, n. 7–8, p. 460–474, 1946. DOI: 10.1103/PhysRev.70.460.

BRAGA, Antonio Geraldo Ramalho. FÍSICA EXPERIMENTAL EM SALA DE AULA MEDIANTE USO DO SMARTPHONE. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BRASIL, Ministério da Saúde. CADASTRO NACIONAL DE ESTABELECIMENTOS EM SAÚDE. Disponível em: <http://www.cnes.datasus.gov.br>. Acesso em: 13/09/2020

CÁTIA, Fernanda; NARDI, Roberto. Saberes docentes mobilizados por futuros professores de Física em processos interativos discursivos. **Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 125–150, 2012. DOI: 10.5007/%x.

CAVENAGHI, Ana Raquel Abelha; BZUNECK, José Aloyseo. a Motivação De Alunos Adolescentes Enquanto Desafio Na Formação Do Professor. **Ix Congresso Nacional De Educação**, [S. l.], p. 1478–1489, 2009.

HANSON, Lars G. A Graphical Simulator for Teaching Basic and Advanced MR Imaging Techniques. **RadioGraphics**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. e27–e27, 2007. DOI: 10.1148/radiographics.27.6.e27. Disponível em: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiographics.27.6.e27>. Acesso em: 4 maio. 2020.

RODITI, ITZHAK Dicionário Houaiss de Física. Rio de Janeiro: Editora Objetiva 2005, p.192

LAUTERBUR, P. C. Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance. **Nature**, [S. l.], v. 242, n. 5394, p. 190–191, 1973. DOI: 10.1038/242190a0. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/242190a0>.

LOHMAN, Timothy; WANG, ZiMian; GOING, Scott B. Human body composition.

Human Kinetics, 2005.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 117–29, 2009.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias De. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 77–86, 2002. DOI: 10.1590/s0102-47442002000200002.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga. O Uso de Tecnologias Móveis no Ensino de Física: Uma Avaliação de seu Impacto Sobre a Aprendizagem dos Alunos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 1–15, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/4428/1/aprendizagensimuladorevirtuaisondulatória.pdf>.

MORAN, José. Mudando a educação com metodologias ativas. **Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens**, [S. l.], v. II, p. 15–33, 2015. Disponível em: http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf.

OLIVEIRA, Fellipe José Santos de et al. Capacitação e desenvolvimento de pessoas: análise comparativa de uma plataforma interativa de treinamento do governo do estado da Paraíba. 2018.

PRADO, Paulo R. M., Sistema de Apoio a Programação de Intervenções no Sistema Elétrico de Transmissão Baseado em Realidade Virtual, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU, 2016.

PURCELL, E. M. To th tor. **Phys. Rev**, [S. l.], v. 69, n. 681, 1946.

PYKETT, I. L.; NEWHOUSE, J. H.; BUONANNO, F. S.; BRADY, T. J.; GOLDMAN, M. R.; KISTLER, J. P.; POHOST, G. M. **Principles of nuclear magnetic resonance imaging***Radiology*, 1982. DOI: 10.1148/radiology.143.1.7038763.

SMITH-BINDMAN, Rebecca; MIGLIORETTI, Diana L.; LARSON, Eric B. Rising use of diagnostic medical imaging in a large integrated health system. **Health Affairs**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. 1491–1502, 2008. DOI: 10.1377/hlthaff.27.6.1491.

WESTBROOK, Catherine; ROTH, Kaut; TALBOT, John. **MRI in Practices** [Catherine Westbrook, 4th Edition Blackwell Publishing Ltd Ltd., United Kingdom. [s.l: s.n.]].