

**SIMULADOR EM AMBIENTE
DE REALIDADE VIRTUAL
PARA O ENSINO DA
MEMBRANA PLASMÁTICA**



JULIARDNAS RIGAMONT DOS REIS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIAS APLICADAS A ENSINO E EXTENSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CRIATIVIDADE E INOVAÇÃO
EM METODOLOGIAS DE ENSINO SUPERIOR
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO

JULIARDNAS RIGAMONT DOS REIS

**SIMULADOR EM AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL PARA O ENSINO
DA MEMBRANA PLASMÁTICA**

BELÉM - PARÁ
2019

JULIARDNAS RIGAMONT DOS REIS

**SIMULADOR EM AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL
PARA O ENSINO DA MEMBRANA PLASMÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Criatividade e Inovação em Metodologias de Ensino Superior da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino. Área de Concentração: Metodologias de Ensino-Aprendizagem. Linha de Pesquisa: Inovações Metodológicas no Ensino Superior (INOVAMES).

Orientador(a): Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro

Coorientador(a): Dra. Ana Cássia Sarmiento Ferreira

BELÉM - PARÁ
2019

D722s dos Reis, Juliardnas Rigamont
Simulador em Ambiente de Realidade Virtual para o Ensino da
Membrana Plasmática / Juliardnas Rigamont dos Reis. — 2019.
163 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro
Coorientação: Prof^a. Dra. Ana Cássia Sarmiento Ferreira
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
Criatividade e Inovação em Metodologias de Ensino Superior,
Núcleo de Inovação e Tecnologias Aplicadas a Ensino e Extensão,
Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Biologia Molecular. 2. Membrana Plasmática. . 3.
Ensino. 4. Recurso Didático. 5. Realidade Virtual. I. Título.

CDD 371.102

JULIARDNAS RIGAMONT DOS REIS

**SIMULADOR EM AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL
PARA O ENSINO DA MEMBRANA PLASMÁTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Criatividade e Inovação em Metodologias de Ensino Superior, Mestrado Profissional em Ensino, para a Defesa de Dissertação.

Orientador (a): Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro

Coorientador (a): Dra. Ana Cássia Sarmiento Ferreira

RESULTADO: () APROVADO () REPROVADO

DATA: ___/___/_____

Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro – PPGCIMES/UFPA

Prof. Dra. Ana Cássia Sarmiento Ferreira – IFPA

Prof. Dr. Carlos Alberto Machado da Rocha – PROFNIT/IFPA

Prof. Dra. Cristina Lucia Dias Vaz – PPGCIMES/UFPA

*Dedico esta dissertação a minha família pelo amor incondicional e pelo apoio durante todo o mestrado. Sem ajuda de vocês não teria vencido essa etapa.
Marcelo e Giovana, eu amo vocês!*

AGRADECIMENTOS

Se você está lendo esta página é porque eu consegui! E não foi fácil chegar até aqui. Do processo seletivo, passando pela aprovação até a conclusão do Mestrado, foi um longo caminho percorrido e agradeço a todos que me ajudaram no decorrer desse caminho.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu esposo pelo suporte e incentivo que me deu durante todo o mestrado, especialmente nas dificuldades enfrentadas durante esse percurso.

Agradeço a minha filha Giovana Valentina pela compreensão e parceria desde a gestação, permitindo que eu cumprisse meus compromissos acadêmicos e sempre em sua companhia.

Aos meus pais que sempre primaram pela minha Educação. Obrigada, pai e mãe, por além de me oferecerem a oportunidade de estudar, sempre estarem presentes, mesmo morando em outro Estado.

Agradeço à equipe do Laboratório de Inovação em Tecnologias no Ensino (LabITE) e do Laboratório de Inteligência Artificial Aplicada (LAAI) pela ajuda. De alguma forma, todos contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

Agradeço a Giordanna de Gregoriis por todo apoio e paciência durante as aulas de Blender.

Agradeço a Francielma Assunção por toda dedicação com meu projeto e pelas excelentes dicas pedagógicas que engrandeceram esse trabalho.

Ao meu amigo-irmão Edilson Neri Junior que sempre está ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me apoiando, incentivando, acalmando. E, durante este mestrado, rimos, choramos, nos desesperamos, mas fomos o alicerce um do outro para concluirmos esta pós-graduação. Sua amizade é essencial na minha vida.

A minha amiga Lorena Cunha que me acompanha desde a graduação. E, nessa etapa do mestrado, estava sempre presente, auxiliando-me quando necessário, lendo meus textos, apontando onde deveria melhorar; acompanhando-me na testagem do produto do mestrado, sendo “babá” da minha filha quando precisei. Muito obrigada, amiga, amo-te incondicionalmente.

Aos amigos que o mestrado me proporcionou e que levarei para sempre em meu coração: Aislan de Paula, Ana Carolina, Angela Alexandre, Glenda Alves, Jessica Brigido e Mayara Maciel. Foram dois anos muito intensos e que sempre pude contar com o apoio de vocês, espero que, com decorrer dos anos, a nossa amizade se unifique ainda mais.

A amiga Mayara Maciel por todo incentivo, dicas para melhoria dos textos, conversas pela madrugada diminuindo minhas crises de ansiedade. O destino nos colocou uma barreira de alguns quilômetros, mas essa distância é apenas física, pois está sempre presente na minha vida e foi peça fundamental para a conclusão dessa dissertação.

A amiga Glenda Quaresma, dona do abraço mais aconchegante e parceira de orientação, com quem dividi angústias, aflições, alegrias, conquistas. Enxugamos muito as lágrimas uma da outra, mas também rimos e nos divertimos muito nesses dois anos. Obrigada por todo apoio, auxílio e ombro amigo.

Ao meu orientador Dionne Cavalcante Monteiro pela parceria na construção desse trabalho, por todo ensinamento e paciência que teve comigo durante esses dois anos. E que essa parceria não termine aqui.

A minha coorientadora Ana Cássia Sarmiento Ferreira por compartilhar sua experiência de anos ministrando a disciplina Biologia Celular, direcionando os principais aspectos que o produto deveria apresentar para tornar o processo de ensino-aprendizagem mais prazeroso.

Aos docentes e funcionários do Programa de Criatividade e Inovação em Metodologias do Ensino Superior (PPGCIMES) pela contribuição em minha formação acadêmica, em especial à professora Dra. Cristina Vaz pelo acolhimento e pelos ensinamentos.

Aos alunos de graduação do curso de biomedicina da UEPA, e de Ciências Biológicas da UFPA e IFPA. E aos alunos de pós-graduação do PROFBIO/UFPA pela disponibilidade em participar do processo de testagem do produto dessa dissertação. Espero que o meu produto tenha contribuído de alguma forma com o processo de ensino-aprendizagem de vocês.

*“Eu escuto, eu esqueço.
Eu vejo, eu lembro.
Eu interajo, eu entendo.”*

Provérbio Chinês

RESUMO

Esta dissertação apresenta o processo de criação, desenvolvimento, testagem e resultados de um simulador em ambiente de Realidade Virtual (RV) para a membrana plasmática e foi desenvolvido como recurso didático para auxiliar as relações de ensino-aprendizagem da disciplina Biologia Celular e Molecular, no ensino superior. A metodologia utilizada foi o método científico experimental, seguindo as fases de observação, elaboração do problema, levantamento de hipóteses, experimentação, análise de resultados e conclusão. O *software* foi desenvolvido por uma equipe interdisciplinar e fez-se uso da metodologia ágil. Como etapas do processo de construção do produto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, como embasamento teórico, seguida da modelagem da membrana plasmática e da célula animal, no *software* de modelagem 3D *Blender*. Posteriormente, realizou-se a integração das modelagens ao ambiente em RV, através do motor de desenvolvimento de jogos *Unity 3D*, culminando na programação dos movimentos dos fosfolípídeos, dos transportes de pequenas substâncias através da membrana plasmática e em formas de interação do usuário com o ambiente virtual. Para imersão no ambiente celular em RV, utiliza-se o *headset* de RV, HTC VIVE *Óculus*, constituído de sensores de movimento, controles de interação e óculos de imersão. O teste do produto foi realizado com docentes da disciplina Biologia Celular e Molecular da Universidade do Estado do Pará (UEPA), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) e da Universidade Federal do Pará (UFPA). Com graduandos do curso de Biomedicina da UEPA, do curso de Ciências Biológicas/Licenciatura do IFPA e da UFPA e com pós-graduandos pertencentes ao Programa Pós-Graduação em Ensino de Biologia (PROFBIO) da UFPA. Os dados da testagem foram obtidos por meio de questionários após o contato e uso do simulador de RV. A partir da análise de conteúdos, percebeu-se que o simulador foi considerado uma ferramenta importante e que contribuiu/contribuirá para facilitar a aprendizagem do conteúdo relacionado aos aspectos estruturais e funcionais da membrana plasmática, além de tornar essa aprendizagem lúdica e prazerosa.

Palavras-chave: Biologia Molecular. Membrana Plasmática. Ensino. Recurso Didático. Realidade Virtual.

ABSTRACT

This dissertation presents the process of creation, development, testing and results of a Virtual Reality (VR) environment simulator of a plasma membrane and was developed as a didactic resource to assist the teaching-learning relationships of the Cellular and Molecular Biology discipline in higher education. The methodology used was the experimental scientific method, following the observation, problem elaboration, hypothesis raising, experimentation, results analysis and conclusion phases. The software was developed by an interdisciplinary team and made use of agile methodology. As steps of the product construction process, a bibliographic research was carried out, as a theoretical basis, followed by the modeling of the plasma membrane and the animal cell, in the Blender 3D modeling software. Subsequently, the modeling was integrated into the VR environment through the Unity 3D game development engine, culminating in the programming of phospholipid movements, the transport of small substances across the plasma membrane and in forms of user interaction with the game. Virtual environment. For immersion in the cellular environment in VR, the HTC VIVE Óculus VR headset is made up of motion sensors, interaction controls and immersion glasses. The test of the product was conducted with professors of the Cellular and Molecular Biology discipline of the State University of Pará (UEPA), the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pará (IFPA) and the Federal University of Pará (UFPA). With undergraduate students of the Biomedicine course at UEPA, the Biological Sciences / Undergraduate course at IFPA and UFPA and postgraduates from the UFPA Postgraduate Program in Biology Teaching (PROFBIO). Test data were obtained through questionnaires after contact and use of the VR simulator. From the content analysis it was realized that the simulator was considered an important tool and contributed to facilitate the learning of content related to the structural and functional aspects of the plasma membrane, besides making this learning fun and enjoyable.

Keywords: Molecular biology. Plasma membrane. Teaching. Didactic resource. Virtual reality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método ágil para o desenvolvimento do simulador em ambiente de RV.	26
Figura 2 – Máquina de Realidade Virtual, Sensorama, criada por Morton Heilig.....	28
Figura 3 – Primeiro Sistema de Realidade Virtual, criado por Sutherland.	29
Figura 4 – Navegação com 6 graus de liberdade (6GDL).....	31
Figura 5 – Características básicas de um ambiente de RV.....	32
Figura 6 – Representação meramente ilustrativa da visão interna de uma interface visual RV.	33
Figura 7 – RV Imersiva e Não-Imersiva	34
Figura 8 – Modelo de mosaico fluido da estrutura da membrana plasmática.	35
Figura 9 – Representação do DNA e dos óculos RV.	41
Figura 10 – Sistema PIT.	42
Figura 11 – Uso de RV em uma tarefa de segmentação.....	46
Figura 12 – Ilustração de um laboratório virtual do Labster.	50
Figura 13 – Estrutura do Colesterol.....	60
Figura 14 – Interface do Blender e modelagem do Colesterol em sua fórmula química estrutural (A), seu esquema didático (B) e sua fórmula química espacial (C).	61
Figura 15 – Partes de uma típica molécula de fosfolípídeo.....	61
Figura 16 – Estrutura dos fosfolípídeos (fórmulas espaciais e estruturais).	63
Figura 17 – Interface do Blender e modelagem do Fosfatidiletanolamina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C).	64
Figura 18 – Interface do Blender e modelagem do Fosfatidilserina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C).	64
Figura 19 – Interface do Blender e modelagem do Fosfatidilcolina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C).	65
Figura 20 – Interface do Blender e modelagem do Fosfatidilinositol em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C).	65
Figura 21 – Interface do Blender e modelagem do Esfingomielina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C).	66
Figura 22 – Várias formas pelas quais as proteínas se associam à bicamada lipídica.	67
Figura 23 – Renderização das Proteínas.....	68
Figura 24 – Renderização das proteínas associadas à membrana.	68
Figura 25 – Renderização do glicolípídeo.....	69

Figura 26 – Renderização da glicoproteína.	70
Figura 27 – Distribuição assimétrica dos fosfolípídeos e glicolípídeos na bicamada lipídica.	70
Figura 28 – Interface do Blender e modelagem da membrana plasmática mosaico fluido.	71
Figura 29 – Renderização da membrana plasmática didática.	71
Figura 30 – Renderização das moléculas biológicas que participam dos transportes através da membrana.	72
Figura 31 – Proteína Carreadora e Canal Protéico/Iônico.	73
Figura 32 – Interface do Blender e modelagem da proteína carreadora.	74
Figura 33 – Interface do Blender e modelagem do canal iônico.	74
Figura 34 – Interface do Blender e modelagem do canal iônico do potássio.	75
Figura 35 – Interface do Blender e modelagem da proteína que participa do transporte ativo.	75
Figura 36 – Estrutura do Transportador de Glicose.	76
Figura 37 – Interface do Blender e modelagem do Transportador de Glicose.	77
Figura 38 – Interface do Blender: Visualização externa da célula.	77
Figura 39 – Interface do Blender: Visualização interna da célula evidenciando as organelas citoplasmáticas.	78
Figura 40 – <i>HTC VIVE Oculus</i>	80
Figura 41 – Instalação do <i>HTC VIVE Oculus</i>	81
Figura 42 – Controles do <i>HTC VIVE Oculus</i>	81
Figura 43 – Visualização do Tutorial no ambiente de RV.	82
Figura 44 – Visualização dos comandos nos controladores de cada ambiente de RV.	83
Figura 45 – Visualização do Museu da Membrana Plasmática no ambiente de RV.	84
Figura 46 – Visualização do Colesterol no Museu da Membrana Plasmática no ambiente de RV.	85
Figura 47 – Visualização do Fosfolípídeo (fosfatidilserina) no Museu da Membrana Plasmática no ambiente de RV.	85
Figura 48 – <i>Menu</i> principal do simulador em ambiente de RV.	86
Figura 49 – As diferentes movimentações dos fosfolípídeos na membrana plasmática.	87
Figura 50 – Movimentos dos Fosfolípídeos do simulador em ambiente de RV.	87
Figura 51 – Destaque do Movimento dos Fosfolípídeos selecionado (flip-flop) no simulador em ambiente de RV.	88
Figura 52 – Permeabilidade da bicamada fosfolipídica.	89

Figura 53 – Destaque da Difusão Simples no simulador em ambiente de RV.....	90
Figura 54 – Modelo para a difusão facilitada da glicose.....	91
Figura 55 – Destaque da Difusão Simples Facilitada no simulador em ambiente de RV.....	91
Figura 56 – Destaque do canal iônico no simulador em ambiente de RV.....	92
Figura 57 – Seletividade de íons dos canais de Na ⁺	93
Figura 58 – Destaque do canal iônico Na ⁺ no simulador em ambiente de RV.....	94
Figura 59 – Seletividade de íons dos canais de K ⁺	94
Figura 60 – Destaque do canal iônico K ⁺ no simulador em ambiente de RV.....	95
Figura 61 – Modelo para o funcionamento bomba de Na ⁺ K ⁺	96
Figura 62 – Destaque da bomba de Na ⁺ e K ⁺ no simulador em ambiente de RV.....	97
Figura 63 – Destaque do transporte de moléculas pequenas no simulador em ambiente de RV.	97
Figura 64 – Interação do grupo enquanto um aluno está imerso.....	101
Figura 65 – Acompanhamento individual durante a imersão.....	101
Figura 66 – Autora explicando como seria o processo de testagem.....	102
Figura 67 – Alunos explorando o ambiente virtual.....	103
Figura 68 – Alunos explorando o ambiente virtual.....	104
Figura 69 – Alunos explorando o ambiente virtual.....	104
Figura 70 – Alunos explorando o ambiente virtual.....	105
Figura 71 – Alunos explorando o ambiente virtual.....	105
Figura 72 – Desenhos Esquemáticos das Proteínas.....	118
Figura 73 – Modelo 3D fosfolipídeo.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Palavras-chave utilizadas na pesquisa X quantidade de trabalhos encontrados.	39
Quadro 2 – Trabalhos correlatos e as características da RV	56
Quadro 3 – Identificação das Representações Fosfolipídicas Didáticas.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sugestão de mudanças no simulador.	120
--	-----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – O simulador é difícil de ser manipulado.	107
Gráfico 2 – As instruções fornecidas foram suficientes para utilização e manuseio do recurso.	108
Gráfico 3 – Motivação e envolvimento dos alunos ao utilizar o simulador.	109
Gráfico 4 – Em alguns momentos fiquei entediado durante a utilização do recurso.	110
Gráfico 5 – A utilização da RV no ensino estimula o aprendizado.	111
Gráfico 6 – As contribuições do simulador no processo de ensino aprendizagem.	111
Gráfico 7 – Avaliação e recomendação do simulador	112
Gráfico 8 – Assunto relacionado à membrana plasmática que ficou mais fácil compreender após a utilização do simulador.....	115
Gráfico 9 – Movimentos dos Fosfolipídeos visualizados na imersão.	116
Gráfico 10 – Facilitação do processo ensino-aprendizagem com o simulador	122
Gráfico 11 – Conteúdo e interface do simulador.....	123

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Objetivos	21
1.2 Justificativa.....	21
1.3 Materiais e Métodos.....	24
<i>a) Materiais</i>	<i>23</i>
<i>b) Métodos</i>	<i>23</i>
1.4 Organização do Trabalho	27
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
2.1 Contexto Histórico da RV	28
2.2 Compreendendo a RV	29
2.3 Ensino da Biologia Celular	34
<i>a) Estratégias de Ensino da Membrana Plasmática</i>	<i>35</i>
2.4 A Realidade Virtual no Ensino	36
3. TRABALHOS CORRELATOS.....	38
3.1 Artigos Encontrados Durante a Pesquisa Bibliográfica que Relacionam Biologia Celular com RV.....	39
<i>a) Exploring Molecular Structure by Virtual Reality (HARTSHORN et al., 1995).....</i>	<i>39</i>
<i>b) The Gentechique Project: Developing an open Environment for Learning Molecular Genetics (CALZA et al., 1998).</i>	<i>40</i>
<i>c) A Virtual Environment for Steered Molecular Dynamics (PRINS et al., 1999).</i>	<i>40</i>
<i>d) Simulated Site-directed Mutations in a Virtual Reality Environment as a Powerful aid for Teaching the Three-dimensional Structure of Proteins (SOTRES et al., 2009).</i>	<i>41</i>
<i>e) Journey to the Centre of the Cell: Virtual Reality Immersion into Scientific data (JOHNSTON et al., 2017).</i>	<i>42</i>
<i>f) From Atoms to Cells: Using Mesoscale Landscapes to Construct Visual Narratives (GOODSELL et al., 2018).....</i>	<i>44</i>
<i>g) Virtual Reality: Beyond Visualization (BEHEIRY et al., 2019).....</i>	<i>44</i>
<i>h) Exploration of an Interactive “Virtual and Actual Combined” Teaching mode in Medical Developmental Biology (XU et al., 2018).....</i>	<i>45</i>

i) <i>A Practical Guide to Developing Virtual and Augmented Reality Exercises for Teaching Structural Biology (GARCIA-BONETE et al., 2019).</i>	46
j) <i>Virtual Laboratory Simulation in the Education of Laboratory Technicians- motivation and Study Intensity (MAY; VRIES, 2019).</i>	49
k) <i>Equivalence of Using a Desktop Virtual Reality Science Simulation at Home and in Class (MAKRANSKY et al., 2019).</i>	50
l) <i>A Virtual Tour of the Cell: Impact of Virtual Reality on Student Learning and Engagement in the Stem Classroom (BENNET et al., 2019).</i>	53
3.2 Comparação entre os Trabalhos	53
4. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO PRODUTO	58
4.1 Modelagem das Estruturas	59
a) <i>Colesterol</i>	59
b) <i>Fosfolípidos</i>	61
c) <i>Proteínas de Membrana</i>	66
d) <i>Glicolípidos</i>	69
e) <i>Glicoproteínas</i>	69
f) <i>Membrana Plasmática</i>	69
g) <i>Moléculas que Participam do Transporte através da Membrana</i>	72
h) <i>Proteínas Carreadoras e Canais Iônicos que Permitem a Passagem de Moléculas</i> ..	72
i) <i>Estrutura do Transportador de Glicose</i>	76
j) <i>Célula Animal</i>	77
4.2 Integração ao Ambiente de RV	78
a) <i>Museu da Membrana Plasmática</i>	84
b) <i>Simulador dos Movimentos dos Fosfolípidos</i>	86
c) <i>Transporte de Pequenas Moléculas através da Membrana Plasmática</i>	88
5. TESTES E RESULTADOS	100
5.1 Utilização do Simulador	100
5.2 Análise dos Dados das Experimentações com os Discentes	106
5.3 Análise dos Dados das Experimentações com os Docentes	121
5.4 Considerações Finais das Testagens	125
6. CONCLUSÃO E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	127

6.1	Trabalhos Futuros	129
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
	APÊNDICES	138
	APÊNDICE I – TCLE	139
	APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO PARA GRADUANDOS E PÓS-GRADUANDOS	141
	APÊNDICE III – QUESTIONÁRIO PARA DOCENTES DE BIOLOGIA CELULAR	143
	APÊNDICE IV – GUIA PARA MONTAGEM DO QUEBRA-CABEÇA DOS FOSFOLIPÍDEOS	145

1. INTRODUÇÃO

Aqueles que se entregam à prática sem ciência são como o navegador que embarca em um navio sem leme nem bússola. Sempre a prática deve fundamentar-se em boa teoria. Antes de fazer de um caso uma regra geral, experimente-o duas ou três vezes e verifique se as experiências produzem os mesmos efeitos. Nenhuma investigação humana pode se considerar verdadeira ciência se não passa por demonstrações.

(Leonardo da Vinci)

Com o avanço da tecnologia e sua presença constante no cotidiano da população, as salas de aulas estão ocupadas por uma geração cada vez mais integrada a estas, e há uma expectativa de que as novas tecnologias trarão soluções rápidas para as mudanças do ensino, focadas na aprendizagem dos alunos e não na transmissão de conhecimentos.

Entretanto, apesar de todas as inovações tecnológicas, observa-se que ainda é recorrente nos sistemas de ensino a transmissão do conhecimento através do método expositivo, no qual, na maioria das vezes, os alunos são remetidos a uma desmotivante passividade, pois, para eles, nada mais resta que “aprender” o conhecimento que está sendo repassado. Portanto, é importante que se adote novos recursos.

O sistema atual de ensino permanece o mesmo, com carteiras enfileiradas, quadro-negro na frente, professor em pé discursando e alunos sentados escutando, proporcionando uma aprendizagem totalmente obsoleta, baseada na transmissão de informação (MORAN, 2012).

As universidades que deveriam ser uma instituição efetivamente significativa e inovadora, na maioria das vezes, são pouco estimulantes para professores e alunos. Apresentam métodos e procedimentos envelhecidos, distantes das demandas tecnológicas atuais. Na maior parte do tempo, os alunos frequentam as aulas porque são obrigados, não por escolha real, por interesse, por motivação, por aproveitamento (MORAN, 2013).

O educador do século XXI precisa utilizar novas abordagens em sala de aula, que permita uma melhor interação com essa geração denominada “nativos digitais”¹. Pois a educação não pode mais ser restrita ao professor escrevendo numa lousa e o aluno apenas reproduzindo o conhecimento em cadernos e fazendo exercícios do livro para consolidar seu aprendizado, que será culminado por uma prova escrita para verificação da apropriação do conhecimento (FIALHO, 2018).

¹ Nativo digital é o termo aplicado para designar toda a geração surgida a partir do início do século XXI, quando a tecnologia digital começou a ser inserida em larga escala em diversos aparelhos e dispositivos que substituíram a então tecnologia analógica aplicada aos telefones e televisores.

Os professores do ensino superior têm dificuldades em atrair os alunos e mantê-los focados na sala de aula, pois estes estão dispersos no grande volume de informação disponível, pelos diferentes meios tecnológicos. Portanto, é necessário que haja mudanças no processo de ensino-aprendizagem atual, para que este se aproxime do perfil dos alunos, e na linha de frente dessas mudanças está o professor (RODRIGUES et al., 2011).

Com o uso adequado das tecnologias atuais, as universidades podem transformar-se em um conjunto de espaços ricos de aprendizagens significativas, presenciais e digitais, que motivem os alunos a aprender ativamente, a pesquisar o tempo todo, a serem proativos, a saber tomar iniciativas e interagir (MORAN, 2013).

Considerando o ensino de Biologia Celular, destaca-se que o estudo das células exige certo grau de abstração e imaginação por parte de professores e alunos, pois as estruturas celulares são microscópicas. O advento do microscópio permitiu que esse mundo microscópico, antes invisível e desconhecido, se tornasse visível e perceptível, mas a possibilidade de tridimensionalidade desse mundo exige uma maior compreensão daquilo que é observado. Assim, alternativas pedagógicas são necessárias para facilitar o seu processo de ensino-aprendizagem, todavia, as mais frequentemente utilizadas são as fotos, os esquemas, os desenhos presentes nos livros didáticos (PALMERO, 2000).

Os professores não podem se limitar a apenas dominar o conteúdo, também precisam buscar recursos didáticos diferenciados que despertem o interesse dos alunos e facilitem o processo de ensino-aprendizagem. Dentre os variados recursos didáticos, a tecnologia da RV pode ser uma ferramenta facilitadora no processo ensino-aprendizagem.

A RV é um instrumento que vem se desenvolvendo cada vez mais nos últimos anos, e tem apresentado efeito positivo quando associado ao ensino. Esse recurso tem funcionalidades que possibilitam ao usuário ter contato com situações realistas, interagindo diretamente com conteúdo, que dificilmente poderia ser explorado em um cenário real (TORI, 2010).

O conteúdo de Biologia Celular é historicamente tido como difícil de ser assimilado (PALMERO, 2000). As imagens até existem, mas uma ilustração, o movimento em um vídeo ou até mesmo uma imagem animada no computador não são suficientes para que os alunos percebam a veracidade do que significam e/ou representam. Mesmo essas imagens tendo um aspecto tridimensional, nem sempre conseguem passar a informação adequadamente. E como não é possível manusear e visualizar tais estruturas em seu cotidiano, muitos discentes

concluem a graduação com a concepção que se trata de elementos planos e acabam reproduzindo isso aos seus futuros alunos (FERNANDES; ZAMA, 2018).

Diante disso, pensou-se na construção de um recurso didático no qual o aluno não apenas visualize as estruturas que constituem a membrana plasmática, mas que também interaja com estas e simule os transportes de substâncias que ocorrem nela.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é a criação de um simulador em ambiente de Realidade Virtual para o ensino dos aspectos estruturais e funcionais da Membrana Plasmática. Para atingir tal objetivo, traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Realizar pesquisa bibliográfica a partir do levantamento de trabalhos correlatos;
- ✓ Modelar as estruturas que constituem a membrana plasmática e as moléculas que atravessam esta estrutura;
- ✓ Criar o ambiente virtual que simule o modelo mosaico fluído da membrana plasmática;
- ✓ Simular os movimentos das estruturas dinâmicas que compõem a membrana plasmática;
- ✓ Simular o transporte passivo e ativo através da membrana plasmática;
- ✓ Testar o produto com docentes da disciplina Biologia Celular e com discentes de graduação do curso de Ciências Biológicas.

1.2 Justificativa

O produto apresentado nesta dissertação foi idealizado a partir de discussões da autora deste trabalho com seu orientador, tendo como norte a possibilidade de desenvolver um instrumento educativo em RV significativo para o ensino da disciplina de Biologia Celular, sua área de formação inicial.

Após pesquisar e compreender do que se tratava a RV, optou-se pela abordagem de um conteúdo ministrado na disciplina Biologia Celular, denominado Membrana Plasmática, por meio dessa tecnologia. Isso porque este conteúdo é considerado abstrato e difícil para o aluno imaginar como estão organizadas as estruturas que constituem esse componente celular (PALMERO, 2000).

Os desenhos presentes nos livros didáticos e materiais curriculares não têm facilitado a compreensão dos conteúdos ministrados na Biologia Celular. Diante desse impasse, a busca de novas abordagens didáticas é necessária para estimular o processo de ensino-

aprendizagem. Viu-se, então, na RV a possibilidade de propor um produto que ajudaria a diversificar as metodologias de ensino superior para esse assunto, um simulador de RV para o ensino na membrana plasmática, que permita que o aluno seja imerso dentro da célula, e possa visualizar e interagir com suas estruturas, tornando-se um personagem ativo no processo de ensino-aprendizagem.

1.3 Materiais e Métodos

Nesta seção, apresentam-se o material utilizado e os métodos realizados no desenvolvimento da pesquisa. O material está listado abaixo e os métodos são descritos nos itens seguintes.

a) Materiais

Como material foram utilizados:

- ✓ Computador: processador *Intel Core i5*, CPU 3.20 GHz, placa de vídeo GTX 750 Ti, Sistema Operacional: *Windows 10* de 64 bits;
- ✓ *Alienware*: processador *Intel Core i7*, CPU 2.80 GHz, placa de vídeo GTX 1060, Sistema Operacional *Windows 10* de 64 bits
- ✓ HTC VIVE óculos: *headset*, sensores de movimento e controles (VIVE, 2018);
- ✓ *Software* de modelagem 3D livre *Blender* (Blender Inc., 2018);
- ✓ *Software Unity 3D* (UNITY, 2019);
- ✓ Livros de Biologia Celular (ALBERTS et al., 2017), (COOPER; HAUSMAN, 2007).

Além desses programas e equipamentos específicos para a construção e imersão no ambiente celular em RV, seu desenvolvimento contou com uma equipe interdisciplinar de profissionais, composta por uma bióloga (autora deste trabalho), que modelou as estruturas celulares e direcionou a construção do simulador, os processos desenvolvidos e os tipos de interações possíveis; um profissional de *design*, que auxiliou nas modelagens realizadas; e dois programadores *Unity 3D*, responsáveis por exportar as estruturas tridimensionais do *Blender* para o *Unity* e por desenvolver o simulador em ambiente de RV.

b) Métodos

A metodologia utilizada foi o método científico do tipo experimental. Para realizá-lo, foi preciso seguir as seguintes etapas: observação, elaboração do problema, levantamento de hipóteses, experimentação, análise de resultados e conclusão (VIANNA, 2001).

Na observação, baseando-se em experiências pessoais e em levantamento bibliográfico, constatou-se a dificuldade de docentes e discentes em definir e visualizar termos mais complexos da Biologia Celular, que abrangem o conteúdo de membrana plasmática. Portanto, o problema desta pesquisa é: como facilitar a compreensão do conteúdo “Biologia Celular”, especificamente da “membrana plasmática”, por estudantes do ensino superior? A hipótese considerada neste trabalho é de que a utilização da RV, no processo de ensino-aprendizagem de tal conteúdo, pode ser uma maneira inovadora de abordagem do assunto.

Por se tratar de um trabalho ancorado no processo metodológico científico-experimental, as etapas de experimentação foram essenciais para a construção do produto final.

Para a construção do simulador em RV, fez-se uso das metodologias ágeis que foram escolhidas por serem adaptativas ao invés de serem preditivas, ou seja, elas se adaptam a novos fatores decorrentes ao invés de procurar analisar previamente tudo o que pode acontecer no decorrer do desenvolvimento (SOARES, 2004).

Os métodos ágeis (do inglês *Agile Software Development*), como o próprio nome diz, envolve um conjunto de metodologias que serve para acelerar o ritmo dos processos de desenvolvimento de *software* (MANIFESTO, 2001).

As principais técnicas de metodologia ágil existentes são: *Extreme Programming* (XP); *Scrum*; *Feature Driven Development* (FDD); *Rapid Application Development* (RAD). Dentre essas quatro técnicas, a que mais se aproximou da realidade do produto desenvolvido foi a *Scrum*, logo se optou por utilizá-la.

Essa técnica tem como base o planejamento iterativo e incremental. Preocupa-se com a lista de tarefas que precisa ser realizada para desenvolver o produto que foi idealizado. As tarefas são distribuídas entre a equipe e são realizados constantes testes para avaliar se o desenvolvimento está de acordo com o esperado ou se é preciso estabelecer mudanças (MONTEIRO, 2013).

Os testes correspondem ao processo de execução de um produto de modo a garantir que as funcionalidades estão em correto funcionamento, baseado nas especificações do

produto. O objetivo é identificar falhas ou defeitos no produto antes da entrega ao usuário final (NETO, 2007).

Baseado nos conceitos do *Scrum*, o ciclo de desenvolvimento do simulador de RV para o estudo da membrana plasmática seguiu o modelo representado na Figura 1.

Figura 1 - Método ágil para o de desenvolvimento do simulador em ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

Após a idealização do produto, definiram-se as tarefas que seriam realizadas durante o desenvolvimento do produto, bem como o cronograma de execução das atividades. As tarefas realizadas foram:

- 1) Levantamento bibliográfico acerca de realidade virtual e do conteúdo o qual seria constituído o produto, objetivando um aprofundamento da temática trabalhada (realidade virtual e membrana plasmática);
- 2) Modelagem 3D das estruturas que constituem a membrana plasmática, utilizando o *software* livre de modelagem 3D *Blender* (Blender Inc., 2018);
- 3) Integração das modelagens ao ambiente de realidade virtual através do *Unity* 3D (UNITY, 2019), que é um *Integrated Development Environment* (IDE) ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, que é um *software* que auxilia no processo de desenvolvimento de outros *softwares*, integrando ferramentas e facilitando seu uso;
- 4) Programação do simulador através da linguagem C#, no qual foram estabelecidas maneiras de interação do usuário tanto com as estruturas quanto com o meio, possibilitando o desenvolvimento do simulador;
- 5) Teste da ferramenta, que foi realizada com alunos da graduação e da pós-graduação e seus respectivos professores;
- 6) Aperfeiçoamento do produto, que foi realizado constantemente, após cada teste. O *feedback* constante é uma vantagem das metodologias ágeis, e isso permite melhorar a qualidade no desenvolvimento do *software*;

7) Apresentação do produto final.

Após a construção do produto, foi realizada a etapa de experimentação com noventa e oito discentes, sendo noventa e dois de graduação e seis de pós-graduação. Os discentes de graduação cursam Ciências Biológicas e Biomedicina, sendo trinta e cinco discentes do curso de Ciências Biológicas/Licenciatura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), trinta e cinco discentes do curso de Ciências Biológicas/Licenciatura da Universidade Federal do Pará (UFPA), vinte e dois alunos do curso de Biomedicina da Universidade do Estado do Pará (UEPA). Os seis discentes de mestrado pertencem ao Programa Pós-Graduação em Ensino de Biologia (PROFBIO) da UFPA. Esta etapa consistiu no uso do produto e preenchimento de questionário avaliativo. Por meio desse instrumento, foi possível realizar as últimas etapas do método científico: a análise de resultados, seguida da conclusão.

1.4 Organização do Trabalho

O texto desta dissertação foi estruturado da seguinte forma:

- ✓ **Capítulo I:** destina-se à fundamentação teórica que direcionou o desenvolvimento do simulador. Aborda-se a RV e a Biologia Celular no ensino superior;
- ✓ **Capítulo II:** apresenta trabalhos correlatos de Biologia Celular e áreas afins, utilizando a RV como recurso didático;
- ✓ **Capítulo III:** detalha o processo de construção do simulador.
- ✓ **Capítulo IV:** apresenta as análises da pesquisa experimental e os resultados obtidos.
- ✓ **Capítulo V:** engloba a conclusão dessa pesquisa e as propostas para trabalhos futuros.
- ✓ **Apêndice:** apresenta os documentos desenvolvidos no decorrer deste trabalho.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que subsidiaram o embasamento teórico da pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

*Eu quero desaprender para aprender de novo.
Raspar as tintas com que me pintaram.
Desencaixotar emoções, recuperar sentidos.*

(Rubem Alves)

Este capítulo aborda a definição de RV, sua história, sua evolução, seu conceito, descreve as características básicas de um ambiente virtual, apresenta os diferentes tipos de RV utilizadas atualmente, com ênfase em sua utilização no ensino. E apresenta uma pesquisa bibliográfica, que demonstra a complexidade e abstração do ensino-aprendizagem de Biologia Celular, tanto do ponto de vista do discente quanto do docente. Tal pesquisa justifica a importância de uma metodologia diferenciada para a abordagem dos conteúdos dessa disciplina e, nesse caso, focando no uso da RV.

2.1 Contexto Histórico da RV

A primeira experiência de imersão ocorreu por volta de 1956, com a criação do cineasta Morton Heilig: um simulador com base em vídeo, denominado Sensorama (figura 2). O “cinema do futuro”, como a máquina era chamada, permitia ao usuário uma combinação de visão tridimensional, com som em estéreo, vibrações, sensações de vento e de aromas num passeio simulado de motocicleta por Nova York. O usuário sentia-se “dentro” do filme, no entanto, o invento não foi um sucesso comercial, mas é considerado o precursor da imersão do usuário num “ambiente sintético” (RHEINGOLD, 1994).

Figura 2 - Máquina de Realidade Virtual, Sensorama, criada por Morton Heilig

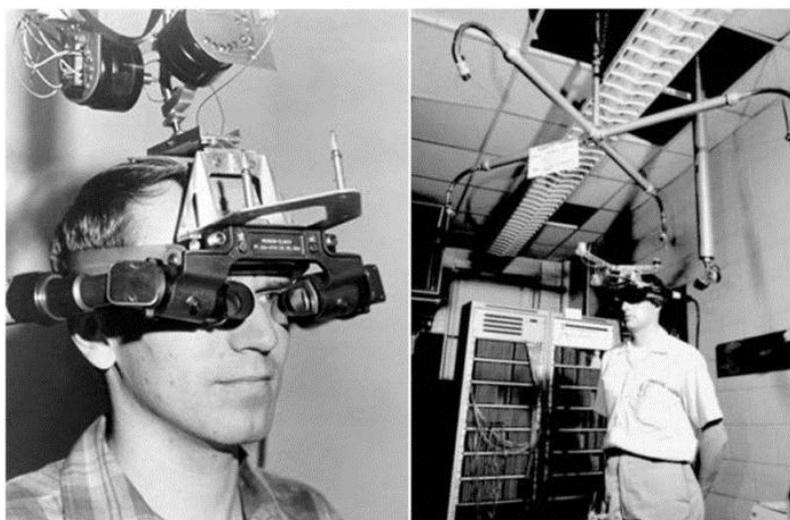


Fonte: HEILIG, s/a.

A RV de forma bem tímida teve seu início na década de 1960, com a invenção da RV atrelada à interface *SketchPad*, de Ivan Sutherland. Após esse invento, o desenvolvimento de RV estagnou por quase trinta anos devido às dificuldades tecnológicas para a construção de elementos necessários à interface que pudessem transportar com mais conforto o usuário ao ambiente virtual, como capacetes, luvas, óculos estereoscópicos, *mouse* 3D, dentre outros. A partir da década de 1980, a RV evoluiu muito rápido, devido ao avanço da microeletrônica e com o crescimento das tecnologias industriais e da computação gráfica (FIALHO, 2018).

Em 1968, com ajuda do aluno Bob Sproull, Sutherland criou o primeiro sistema de RV (figura 3), que era montado sobre a cabeça, referido afetuosamente como a Espada de Dâmodos, pois, como o capacete era pesado, ficava suspenso no teto, acima da cabeça do usuário. Era uma máquina projetada para imergir o espectador em um ambiente 3D simulado (FIALHO, 2018).

Figura 3 - Primeiro Sistema de Realidade Virtual, criado por Sutherland



Fonte: GALDINO, 2019.

É importante ressaltar que a RV e as várias interfaces existentes não são fruto exclusivo da pesquisa de Sutherland. Como toda pesquisa científica, essa também se desenvolveu paralelamente. Há registros que, em 1958, a fabricante de equipamentos eletrônicos Philco desenvolveu uma interface que consistia em um par de câmeras controlado remotamente e o protótipo de um capacete com monitores acoplados que permitiam ao usuário experimentar o sentimento de estar presente dentro de um determinado ambiente. Posteriormente, esse equipamento passou a ser denominado *Head-Mounted Display* (HMD) (FIALHO, 2018; NETTO et al., 2002).

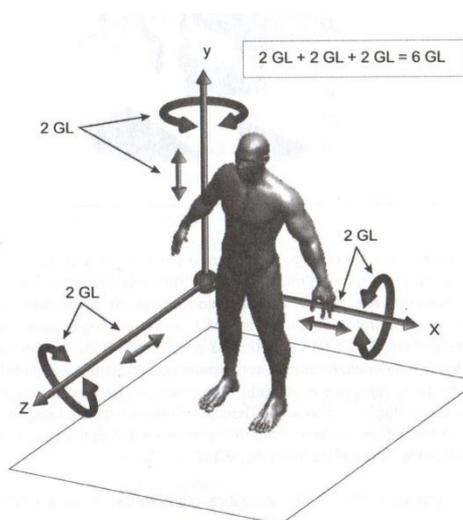
Ao final de 1986, a equipe da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) já possuía um ambiente virtual que permitia aos usuários ordenar por comando de voz, manipular objetos virtuais diretamente pelo movimento das mãos. E o mais importante, viu-se a possibilidade de comercializar essa tecnologia, tornando mais acessível o custo de aquisição e de desenvolvimento. A conscientização de que os empreendimentos da NASA poderiam gerar equipamentos comercializáveis deu início a várias pesquisas de RV por todo o mundo. Desde empresas de *software* até grandes corporações de informática iniciaram o desenvolvimento e a venda de produtos e serviços voltados para RV. Em 1989, uma empresa de *software*, a *Autodesk*, apresentou o primeiro sistema de RV para computadores pessoais (FIALHO, 2018).

Cientistas pioneiros em RV, como Licklider, Engelbart e Sutherland, tiveram seus passos seguidos por outros que de forma independente ou em trabalho conjunto, construíram a base da RV, preparando o terreno para futuras investigações e aplicações, criando o seu lugar de destaque na área da Comunicação e da Informação e abrindo novos horizontes no campo da Educação (CAMACHO, 1996).

2.2 Compreendendo a RV

A RV consiste em uma combinação de *software* e computadores que permitem a criação de um ambiente gráfico tridimensional, no qual o usuário pode se locomover nos eixos cartesianos x, y, z e também rotacionar em torno deles, conforme a figura 4. Isso demonstra a capacidade do *software* em definir os seis graus de liberdade (6GDL), sendo três movimentos de rotação e três movimentos lineares ou de translação (para frente e para trás; acima e abaixo; esquerda e direita; inclinação para cima e para baixo; angulação à esquerda e à direita; rotação à esquerda e à direita) e a capacidade do *hardware* em reconhecê-los (CARDOSO; LAMOUNIER, 2006; LIMA, 1999).

Figura 4 - Navegação com 6 graus de liberdade (6GDL)



Fonte: FIALHO, 2018.

Na essência, a RV é um “espelho” da realidade física na qual o indivíduo existe em três dimensões, tem a sensação do tempo real e a capacidade de interagir com o mundo ao seu redor, podendo até mesmo “tocar” nos objetos que constituem o ambiente virtual e fazer com que respondam ou mudem, de acordo com as suas ações (NETTO et al., 2002).

O objetivo da RV é utilizar interfaces computacionais interativas de maneira que crie uma sensação de realidade ao usuário. Sensação que é atingida por meio de sete características básicas descritas abaixo e representadas na figura 5 (MARTINS, 2000; VINCE, 2004).

✓ **Sintético:** o ambiente é gerado em tempo real e modifica-se conforme a interatividade do usuário, ou seja, não é uma gravação multimídia que sempre se repete.

✓ **Tridimensional:** é necessário que o ambiente cause no usuário a percepção de um ambiente 3D, no qual possa se movimentar e perceber as relações dos seus movimentos com as dimensões de largura, altura e comprimento do espaço em que está interagindo.

✓ **Multissensorial:** o ambiente deve ser representado por mais de uma modalidade sensorial (sentido visual, sonoro, espacial, dentre outros).

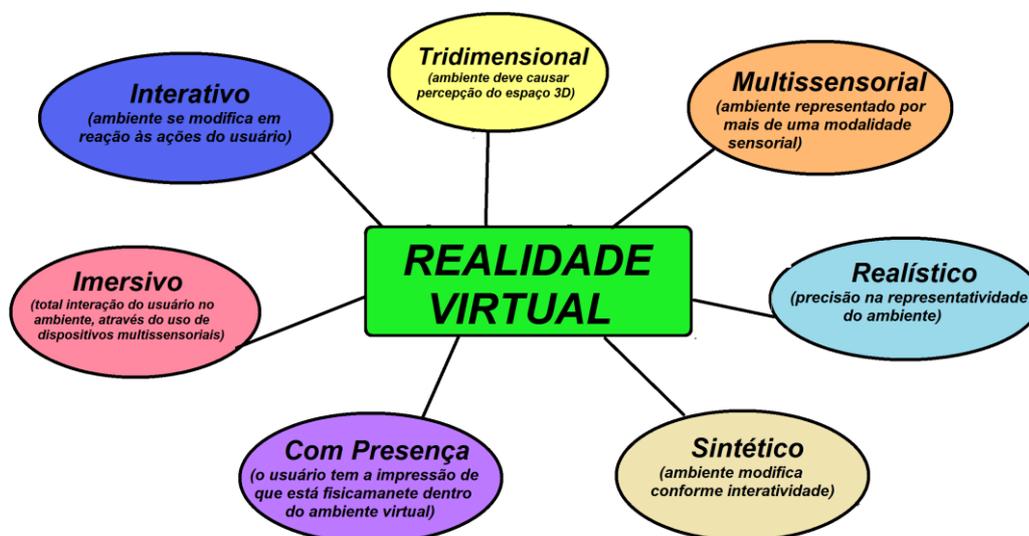
✓ **Interativo:** o usuário pode modificar o ambiente virtual em tempo real, pois este reage às ações do usuário, por meio de dispositivos de entrada, como os sensores que são acoplados nas luvas ou botas.

✓ **Realístico:** a representação do ambiente virtual e dos objetos reais deve ser precisa.

✓ **Imersivo:** é preciso que haja uma imersão do usuário no ambiente virtual, essa característica é normalmente obtida pelo uso de dispositivos multissensoriais (capacete, óculos, luvas, controles etc.) que capturam os movimentos comportamentais e reagem a eles. Isso permite a sensação de presença dentro do ambiente.

✓ **Com presença:** um sentido subjetivo que dá ao usuário a sensação de estar fisicamente dentro do ambiente virtual.

Figura 5 - Características básicas de um ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

Um detalhe importante nas interfaces visuais de RV que precisa ser ressaltado é a estereoscopia, um fenômeno natural que ocorre toda vez que o indivíduo olha para algo: simultaneamente são obtidas duas imagens iguais da cena, ou seja, uma para cada olho. Essa exibição dupla ocorre porque no mundo real quando se olha para algum objeto, cada olho enxerga uma imagem diferente, isto é, vemos o mesmo objeto, mas em diferente posição.

Essa diferença no posicionamento da imagem deve-se à distância pupilar, que é a distância entre os dois olhos. Quando essas duas imagens chegam ao cérebro são fundidas em uma única imagem, decodificadas e sobrepostas dando a percepção de profundidade, portanto a imagem em 3D, que é como se enxerga no mundo real. Então, nos *displays* de RV que têm por objetivo a imersão do usuário, produzindo sensação de estar presente no ambiente observado, a tela é dividida em duas partes (figura 6), cada uma delas exibindo a mesma imagem do objeto para cada olho, isso causa uma diferença de posicionamento, da mesma forma que enxergamos no mundo real, logo somada com matizes de cores, luz, sombra e

reflexão, haverá a mesma percepção de tridimensionalidade do mundo real (CADOZ, 1997; FIALHO, 2018; NETTO et al., 2002).

Figura 6 - Representação meramente ilustrativa da visão interna de uma interface visual RV



Fonte: FIALHO, 2018.

Em função do senso de presença do usuário, a RV classifica-se em imersiva e não imersiva. Na imersiva, há total interação do usuário com o domínio da aplicação em virtude da utilização de dispositivos multissensoriais (capacete, óculos, luvas etc.) que lhe capturam movimentos e comportamentos (sinais de entrada) e reagem a eles (sinais de saída), provocando-lhe sensação de presença dentro do ambiente virtual. Na RV não-imersiva, o usuário é transportado parcialmente ao mundo virtual, através de uma janela, que pode ser o monitor ou uma projeção, mas continua a sentir-se predominantemente no mundo real (TORI; KIRNER, 2006). O museu Casa de Portinari é um bom exemplo de RV não imersiva². A figura 7 exemplifica esses dois tipos básicos de RV.

² Acesse o link www.museucasadportinari.org.br/tour-virtual/ e observe que é possível passear por todas as dependências do museu, e também a área externa.

Figura 7 - RV Imersiva e Não-Imersiva**a) RV não imersiva com monitor.****b) RV imersiva com capacete HMD**

Fonte: TORI; KIRNER, 2006.

2.3 Ensino da Biologia Celular

A Biologia Celular é a base conceitual do conhecimento biológico, pois estuda a estrutura, a função e o comportamento das células e serve como pré-requisito para outras disciplinas. Logo, seus conteúdos têm grande relevância para os cursos de Ciências Biológicas e os cursos da área de Saúde, como medicina, fisioterapia, farmácia, biomedicina, enfermagem, dentre outros, pois compreende os conteúdos básicos da célula, que é a base para a formação dos profissionais da área. É uma disciplina abordada em diversas nomenclaturas (Biologia Celular, Biologia Celular e Molecular, Citologia, Células e Moléculas, Biologia Geral).

Durante todo o processo de aprendizagem, a célula é tida como algo complexo e abstrato que é construído na mente dos discentes. E isso ocorre porque é uma estrutura que só pode ser visualizada por equipamentos que possibilitem seu estudo (PALMERO; MOREIRA, 1999).

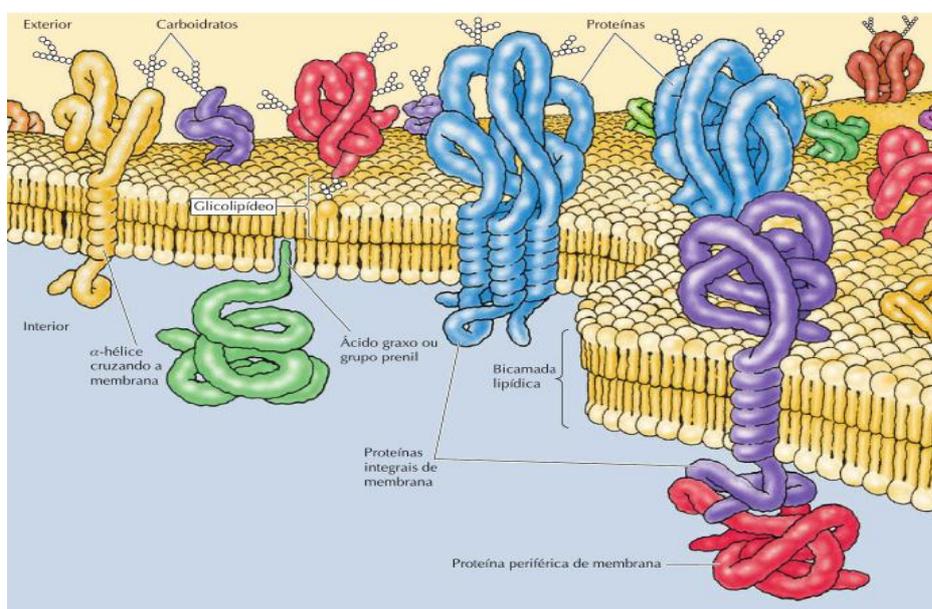
Uma das grandes dificuldades no ensino voltado à Biologia Celular é a visualização e entendimento das estruturas celulares e seu funcionamento, já que são de tamanhos microscópicos. Os conteúdos tornam-se abstratos, construídos basicamente a partir de investigações microscópicas e bioquímicas, por isso de difícil entendimento para os discentes, pois, na maioria das vezes, o único recurso disponível para o seu processo de aprendizagem é a sua imaginação. E isso dificulta o entendimento da importância das estruturas celulares para os organismos (ORLANDO et al., 2009).

O ensino de Biologia Celular é um conteúdo complexo não apenas para os discentes, como também para os docentes, pois o processo de ensino-aprendizagem é prejudicado pela pobreza de recursos didáticos utilizados pelos docentes e, conseqüentemente, a dificuldade de criação de modelos mentais pelos discentes (OLIVEIRA et al., 2009).

a) Estratégias de Ensino da Membrana Plasmática

A membrana plasmática (figura 8) é uma estrutura dinâmica e fluida que circunda a célula definindo seus limites e mantendo as diferenças essenciais entre o citosol e o ambiente extracelular. É constituída por uma fina película de lipídeos e proteínas que se unem principalmente por interações não covalentes. As moléculas lipídicas são organizadas como uma dupla camada contínua de cerca de 5 nm de espessura, que proporciona a estrutura básica da membrana, atuando como uma barreira relativamente impermeável à passagem da maioria das moléculas solúveis em água. As proteínas de membrana geralmente atravessam a bicamada lipídica e medeiam quase todas as funções da membrana, como o transporte de moléculas específicas através da membrana (ALBERTS et al., 2017).

Figura 8 - Modelo de mosaico fluido da estrutura da membrana plasmática



Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

A principal estratégia de ensino adotada para o ensino do conteúdo sobre membrana plasmática é a aula expositiva, incrementada por ferramentas digitais como *Power Point*, *Prezi*, vídeos ou recursos de lousas digitais. Buscando formas de propor a substituição destes métodos passivos e melhorar o processo educacional no que se refere ao estudo da Biologia

Celular, mais especificamente da Membrana Plasmática, fazem-se necessárias alternativas metodológicas inovadoras que visem auxiliar a compreensão, contextualização e construção do conhecimento celular dos discentes que cursarem a disciplina Biologia Celular, sejam eles alunos de Ciências Biológicas ou de outras áreas.

É importante a utilização de metodologias que permitam ao aluno manusear instrumentos e aparelhos relacionados às células, ao invés de ter um ensino baseado apenas na utilização de livros didáticos e analogias que, muitas vezes, ocasionam confusões e generalizações dos conceitos científicos (REIMEIER; GROPPENGIEBER, 2008).

Afinal, o ensino de Biologia Celular utiliza muitos conceitos, termos e metodologias científicas, ensinados de forma que não desperta nenhuma motivação no aluno, logo não se sentem atraídos por esses conteúdos (ZUANON et al., 2010).

Todavia, o uso de animações como ferramenta no ensino de Biologia Celular facilita o processo de ensino-aprendizagem, pois a utilização de animações guia o discente na abstração de transformações de uma imagem ao longo do tempo e também contribui com a economia de tempo, pois é muito mais fácil aprender quando se observa um processo do que quando se lê sua explicação (MENDES, 2010).

2.4 A Realidade Virtual no Ensino

O ensino precisa ser construtivo, logo, a transmissão de informação não é o meio mais adequado para o processo de ensino-aprendizagem. O aluno precisa construir seu próprio conhecimento e o professor precisa fornecer as ferramentas necessárias para tornar isso possível. Oferecendo um ensino dinâmico e exploratório que forneça aos alunos as oportunidades que precisam para desenvolver suas capacidades e competências, bem como ultrapassar suas dificuldades (BEHRENS, 2013).

A RV, pelas suas especificidades e atributos, possui um grande potencial educativo e constitui em um versátil e eficaz ambiente de aprendizagem, no qual os alunos podem aprender a partir da sua exploração pessoal, construindo, assim, o seu próprio saber. A possibilidade de criar mundos virtuais nos quais os usuários são capazes de se movimentar, ver, ouvir e manipular objetos como fazem no mundo físico, representa um importante recurso de ensino, pois essas realidades simuladas possibilitam aos discentes descobrir, de uma forma ativa e lúdica, os conhecimentos que anteriormente eram transmitidos unicamente pelo professor (BRAGA, 2001).

A imersão no mundo virtual é um fator interessante da RV na educação e no ensino, pois o discente, entrando na simulação, descobre por si só e aprende construindo o seu conhecimento através da RV experimentada, com base nas sensações por ele percebidas. Deste modo, a aprendizagem torna-se mais viva, rica, variada e ao mesmo tempo mais duradoura, pois como se constitui de uma experiência pessoal, dificilmente será esquecida (CARVALHO, 2002).

A era digital traz uma nova forma de categorizar o conhecimento, sem precisar descartar as aulas expositivas. Os recursos eletrônicos podem ser usados como ferramentas para construir processos metodológicos mais significativos que facilitem a aprendizagem. A RV na era digital pode ser utilizada como recurso de aprendizagem, essas inovações já existem, cabe agora aos educadores se apropriarem dessa tecnologia e criarem projetos que levem seus alunos a “viajar” num ambiente virtual e serem beneficiados com esta tecnologia da RV, que levam o aluno a “aprender a aprender”, com interesse, criatividade e autonomia (BEHRENS, 2013).

3. TRABALHOS CORRELATOS

Em ciência não existe um erro tão grosseiro que, amanhã ou depois, sob alguma perspectiva, não pareça profético.

(Jean Rostand)

Esta seção traz um levantamento bibliográfico, realizado em repositórios científicos, de trabalhos que abordam a mesma temática da pesquisadora.

Toda pesquisa implica em um levantamento de dados provenientes de várias fontes, seja qual for o método ou técnica empregada. O tipo de pesquisa utilizado para o levantamento de dados deste documento foi a pesquisa bibliográfica ou pesquisa de fontes secundárias, como consultas a bibliografias já publicadas em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. A principal finalidade da pesquisa bibliográfica é “colocar o pesquisador em contato direto com tudo aquilo que foi escrito sobre determinado assunto” (MARCONI; LAKATOS, 2001).

A pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses etc. Utiliza-se de dados ou de categorias teóricas já trabalhados por outros pesquisadores e devidamente registrados. Os textos tornam-se fontes dos temas a serem pesquisados. O pesquisador trabalha a partir das contribuições dos autores dos estudos analíticos constantes dos textos. (SEVERINO, 2007, p. 122).

A pesquisa bibliográfica buscou compilar produções acadêmico-científicas, nos idiomas português e inglês, que abordem membrana plasmática e/ou transporte de moléculas através da membrana plasmática, utilizando a tecnologia da RV. Esta pesquisa foi realizada pela *internet*, através dos repositórios científicos *PubMed*, *Science Direct* e *Scielo*, nos meses de março e abril de 2018, e como a quantidade de trabalhos correlacionados encontrados foi muito escasso, a autora julgou necessário refazer a pesquisa, nos meses de setembro e outubro de 2019.

O objetivo da realização desta pesquisa foi identificar se há alguma ferramenta de ensino desenvolvida em RV semelhante a que está sendo proposta neste trabalho. E caso haja algo semelhante, analisar se os métodos utilizados são similares ao que está sendo proposto.

As buscas foram feitas utilizando as palavras-chave: realidade virtual biologia/*virtual reality biology*; realidade virtual ciências/*virtual reality science*; realidade virtual no ensino/*virtual reality in teaching*; o uso da realidade virtual nas práticas de ensino/*the use of virtual reality in teaching practices*; uso de realidade virtual nas práticas de ensino dos cursos de ciências biológicas/*use of virtual reality in the teaching practices of the biological sciences*

courses; realidade virtual na Biologia Celular/*virtual reality in cell biology*; realidade virtual no ensino da membrana plasmática/*virtual reality in plasma membrane teaching*. Estas palavras-chave foram combinadas entre si, para se obter uma maior quantidade de resultados e ao mesmo tempo filtrar os resultados não desejados.

O quadro 1 apresenta as palavras-chave e os repositórios científicos utilizados na busca por trabalhos acadêmicos relacionados e a quantidade de trabalhos encontrados para cada palavra-chave.

Quadro 1 - Palavras-chave utilizadas na pesquisa X quantidade de trabalhos encontrados

QUANTIDADE DE TRABALHOS ENCONTRADOS			
PALAVRAS-CHAVE	PUBMED	SCIENCE DIRECT	SCIELO
Realidade virtual biologia	0	18	0
<i>Virtual reality biology</i>	219	7.325	0
Realidade virtual ciências	0	196	13
<i>Virtual reality Science</i>	1.694	43.414	28
Realidade virtual no ensino	0	78	20
<i>Virtual reality in teaching</i>	2.951	12.020	40
O uso da realidade virtual nas práticas de ensino	0	49	2
<i>The use of virtual reality in teaching practices</i>	36	9.564	3
Uso de realidade virtual nas práticas de ensino dos cursos de ciências biológicas	0	2	0
<i>Use of virtual reality in the teaching practices of the biological sciences courses</i>	0	1.160	0
Realidade virtual na Biologia Celular	0	3	0
<i>Virtual reality in cell biology</i>	39	4.180	0
Realidade virtual no ensino da membrana plasmática	0	0	0
<i>Virtual reality in plasma membrane teaching</i>	1	270	0

Fonte: autora, 2019.

Apesar dos elevados resultados obtidos durante a pesquisa, principalmente no repositório científico *Science Direct*, os trabalhos não estavam relacionados ao ensino de Biologia Celular com utilização de RV. A análise dos resultados obtidos deu-se inicialmente pela leitura dos títulos, como o resultado de alguns repositórios excedeu a 1.000 trabalhos, a pesquisadora estabeleceu que fosse feito a leitura dos títulos dos 100 primeiros trabalhos, pois, à medida que avançavam, os títulos dos trabalhos distanciavam-se mais do termo pesquisado. Muitos trabalhos apareceram como resultado de mais de uma palavra-chave.

Após a leitura dos títulos, foram selecionados 31 artigos, sendo 12 do repositório *Pubmed*, 14 do *Science Direct* e 5 da *Scielo*, que foram examinados inicialmente pela leitura dos resumos. Na *Pubmed*, os trabalhos encontrados foram com as palavras-chave *virtual reality biology* (oito trabalhos) e *virtual reality in cell biology* (quatro trabalhos); na *Science Direct*, os resultados foram obtidos com as palavras-chave *virtual reality biology* (dez trabalhos), *virtual reality in teaching* (dois trabalhos), *virtual reality in plasma membrane teaching* (dois trabalhos); e na *Scielo*, dois com as palavras-chave *virtual reality biology*, e três com *virtual reality science*.

Então se fez uma nova triagem dos artigos que possivelmente estavam relacionados ao conteúdo do trabalho da pesquisadora, analisaram-se os resumos e selecionaram-se aqueles que continham produções de RV no ensino da Biologia Celular. Embora nenhum dos artigos encontrados esteja associado diretamente ao ensino da membrana plasmática e a tecnologia de RV, os trabalhos que mais se aproximaram da proposta do produto desta dissertação estão listados na próxima seção.

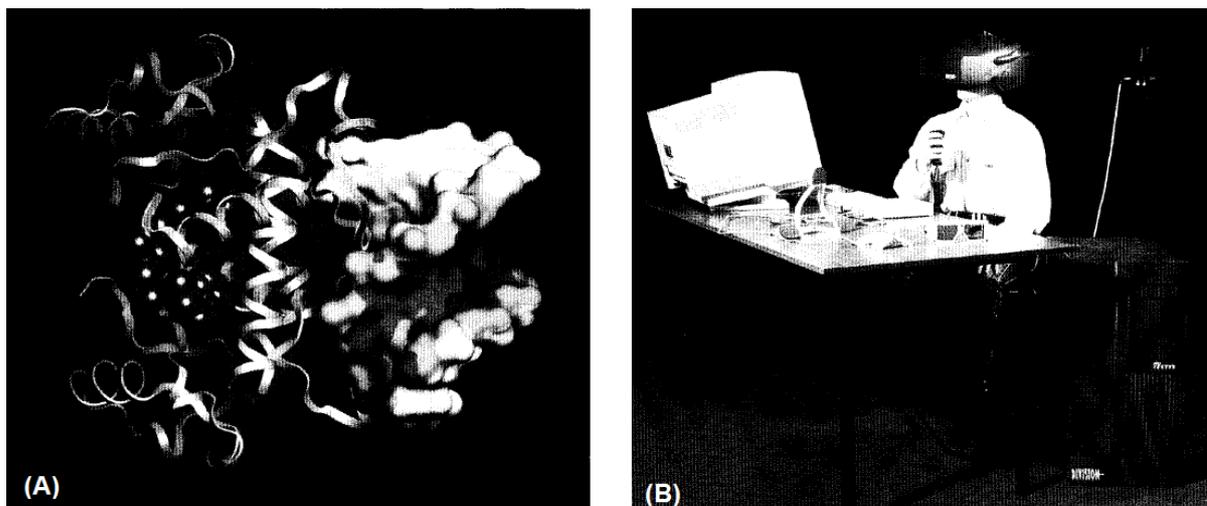
3.1 Artigos Encontrados Durante a Pesquisa Bibliográfica que Relacionam Biologia Celular com RV

Após a leitura dos resumos, 17 artigos foram selecionados e lidos na íntegra. Em 12 artigos, encontraram-se relatos de experiências de RV associadas ao ensino de Biologia Celular e Molecular. A seguir essas experiências serão relatadas.

a) Exploring Molecular Structure by Virtual Reality (HARTSHORN et al., 1995).

Os autores apresentam o desenvolvimento de ferramentas de RV para visualização das estruturas moleculares do DNA, através de modelagem que antes eram estáticas e agora podem ser giradas em tempo real em uma tela gráfica bidimensional. Seu modelo ainda não representava uma modelagem verdadeiramente tridimensional. A molécula de DNA é complexa, por isso é importante que o aluno visualize e interaja com essas estruturas (figura 9A), a modelagem do DNA é visualizada através dos óculos de RV (figura 9B).

Figura 9 - Representação do DNA e dos óculos RV



Fonte: HARTSHORN et al., 1995.

- b) The Gentechique Project: Developing an open Environment for Learning Molecular Genetics (CALZA; MEADE, 1998).

Os autores enfatizam a importância de metodologias de ensino diferenciadas, especialmente para conteúdos tão abstratos, como o estudo da genética molecular e da biotecnologia que exige a compreensão dos alunos acerca da Biologia Celular e Molecular, como a replicação do DNA e a síntese de proteínas. Descrevem como a Universidade Estadual de Washington, juntamente com as Faculdades de Ciências e Agricultura, utilizaram o projeto *GenTechnique*, que visa a construção de um ambiente de aprendizagem de genética molecular, com objetivo de melhorar o desempenho acadêmico dos graduandos. O ambiente possui animações, hipertextos e exercícios interativos.

Este projeto, através de um módulo de aprendizado baseado na *Web* sobre replicação de DNA, promove a motivação do aluno e permite que construam seus conhecimentos. Para isso, os temas são desenvolvidos em dois caminhos: a narrativa textual e a visualização gráfica, que incluem interação entre moléculas, enzimas e estruturas celulares. Os autores afirmam que a utilização do *GenTechnique* facilita no processo de aprendizagem.

- c) A Virtual Environment for Steered Molecular Dynamics (PRINS et al., 1999).

Nesta pesquisa, os autores descrevem uma aplicação do sistema de dinâmica molecular dirigida (*Steered Molecular Dynamics – SMD*) na extração de pequenas proteínas em um ambiente 3D virtual imersivo, onde é possível visualizar e interagir com estruturas

tridimensionais de proteínas. A estrutura da molécula pode ser manuseada, movimentada e observada por diferentes ângulos, retirando ou adicionando ligações.

Os autores desenvolveram um sistema integrado de ambiente virtual para SMD usando o *software Protein Interactive Theater (PIT)*, um sistema de exibição estéreo de tela dupla para dois operadores simultaneamente. Cada usuário utiliza óculos e controladores que exibem uma imagem com som e movimento e lhes proporcionam os 6GDL e as manipulações (figura 10).

Figura 10 - Sistema PIT



Fonte: PRINS et al., 1999.

Os autores acreditam que o sistema SMD é uma ferramenta valiosa para os biofísicos, na execução de um análogo computacional de tais experimentos, pois melhora o entendimento acerca das forças moleculares e suas reações.

- d) Simulated Site-directed Mutations in a Virtual Reality Environment as a Powerful aid for Teaching the Three-dimensional Structure of Proteins (SOTRES et al., 2009).

Os autores afirmam que a visualização molecular das consequências de uma mutação pode auxiliar estudantes de graduação e pós-graduação, no ensino da relação entre a estrutura e atividade de uma proteína. Então, criaram um banco de dados com modelos de mutações sutis (alanina) ou agressivas (homodímero de pirofosfatase de levedura), exibidos no *Visual Molecular Dynamics (VMD)* um programa de computador para modelagem

molecular, que foi visualizado pelos alunos no IXTLI, um observatório de RV imersiva da Universidade Nacional Autônoma do México (UNAM).

Foi programada uma interface de usuário para criar a ilusão de mutações em tempo real em um clique do mouse. Durante a imersão, os alunos são guiados até aprenderem a explorar o *software*. A interação dos alunos variou substancialmente, mas a maioria estava altamente motivada e parecia ter se beneficiado com a utilização da RV.

A interface do usuário inclui a imagem da estrutura da proteína 3D gerada em uma janela OpenGL VMD e um *widget* de controle de usuário escrito diretamente em Tcl/Tk 8.4 vinculado aos comandos do VMD, que permitem fazer a rotação nos eixos X, Y e Z, controlar o zoom e selecionar o que quer visualizar.

Os autores validaram o produto com 16 graduandos da Faculdade de Química da UNAM que já haviam cursado a disciplina Bioquímica Celular. A validação teve início com uma abordagem teórica acerca da estrutura das proteínas. Antes de iniciar a sessão de RV, fez-se uma breve descrição da enzima em estudo e explicou-se como o *software* funciona. Os alunos foram separados em quatro equipes, e cada uma teve aproximadamente dez minutos para responder uma atividade utilizando o *software*.

Ao término da atividade, foram convidados a dar suas impressões pessoais sobre a utilização do *software* como uma ferramenta de aprendizado, avaliando seu próprio desempenho. De um modo geral, avaliaram o ambiente de RV como estimulante e completo, pontuando que a experiência permitiu que se sentissem capazes de “viajar dentro da proteína” e visualizar fatores que eles não conseguiam ver nas representações bidimensionais de proteínas. Curiosamente, em seus comentários, todos fizeram referência a uma melhoria na compreensão das interações entre aminoácidos e seu papel nas mudanças estruturais das proteínas.

Além dos alunos, os autores convidaram professores da Faculdade de Química da UNAM a utilizarem o produto. Todos os professores convidados lecionavam bioquímica em nível de graduação e/ou pós-graduação. Surpreendentemente, e ao contrário dos estudantes, a maioria deles relutaram em assumir os controles. Apenas 2 dos 20 professores presentes na validação do produto se apresentaram para manipular as imagens pessoalmente. Ao término da sessão, avaliaram o *software* como um recurso útil no auxílio do ensino e sugeriam algumas mudanças para aumentar a complexidade da interface e seus recursos.

- e) Journey to the Centre of the Cell: Virtual Reality Immersion into Scientific Data (JOHNSTON et al., 2017).

Nesse artigo, os autores destacam como utilizaram técnicas de imagem de ponta para criação de um modelo virtual 3D de uma célula a partir de dados de imagem obtidos pelo microscópio eletrônico de varredura em bloco (SBEM).

Eles criaram um modelo de célula cancerosa da mama, a modelagem foi feita no *Autodesk Maya*³ e depois exportado para *software Unity*. O modelo criado permite que cientistas, estudantes e membros do público explorem e interajam com uma célula “real”.

Testes iniciais desse ambiente imersivo indicaram uma melhoria significativa na compreensão dos alunos sobre processos celulares. Os autores especulam que a RV pode se tornar uma nova ferramenta para pesquisadores que estudam arquitetura celular e processos, preenchendo modelos de RV com dados moleculares.

Para facilitar a compreensão do usuário no momento da imersão, criaram dois ambientes de RV diferenciados. Um que nomearam de “*paddock*”, que é aberto e permite explorar a superfície da célula, e o outro chamado de “*catedral*”, onde o interior da célula pode ser explorado.

O produto foi testado com graduandos do curso do bacharelado em farmacêutica. Primeiramente, tiveram uma aula teórica acerca do assunto e depois foram convidados a explorar a célula RV, 48 estudantes optaram pela não exploração da célula e cada um dos 15 alunos que se voluntariaram para explorar a célula tiveram 15 minutos para isso. Depois, os 63 alunos que estavam participando da pesquisa foram submetidos a um teste no qual deveriam explicar o mecanismo pelo qual uma partícula poderia ser internalizada em uma célula, e qual o destino provável que a nanopartícula teria.

Analisando o resultado, os autores afirmam que os alunos que navegaram na célula RV tiveram um desempenho 5% melhor na questão de Biologia Celular do que no resto do exame. Em comparação, os alunos que não experimentaram a RV tiveram um desempenho 35% pior na questão da Biologia Celular. Esses resultados preliminares sugerem que a RV pode ter um impacto positivo e significativo na compreensão e no aprendizado dos alunos.

f) From Atoms to Cells: Using Mesoscale Landscapes to Construct Visual Narratives (GOODSELL et al., 2018).

Os autores destacam os avanços dos métodos experimental e computacional que permitem a materialização de conteúdos abstratos da Biologia Molecular e Celular. O

³ *Software* de animação computadorizada, modelagem, simulação e renderização 3D.

objetivo dos autores é a criação de representações precisas da estrutura molecular das células, integrando dados da Biologia Estrutural, Bioquímica e Biologia Celular.

Os autores utilizaram vários *softwares* que apresentam modelagens de estruturas celulares e também permitem que novas estruturas sejam criadas, como o *MolecularMaya*⁴, *BioBlender*⁵, *GraphiteLifeExplorer*⁶ e *CellPAINT*⁷.

Os autores afirmam que as ilustrações em 3D são úteis no processo de ensino-aprendizagem, pois permitem uma melhor exploração das estruturas celulares pelos alunos. E destacam ainda que muitas vezes os alunos memorizam o conteúdo sem compreendê-lo, então os esquecem rapidamente. Visando sanar essa dificuldade, os autores utilizaram as páginas para colorir em escala de cinza e os cartões de memória *flash* que acompanham uma paisagem celular em panorama, ambos criados pelo Centro de Modelagem BioMolecular.

g) Virtual Reality: Beyond Visualization (BEHEIRY et al., 2019)

A proposta dos autores é, através da RV, utilizar a microscopia de localização de molécula única, que é uma metodologia chave para explorar a função celular, mas difícil de ser localizada em uma imagem 2D, portanto, a RV pode ser uma ferramenta fundamental nessa tarefa.

Os autores representaram, no ambiente virtual, imagens de neurônio do bulbo olfativo de camundongos para que os usuários desenvolvessem atividades de segmentação. Os controladores permitem o mapeamento do interior da célula e a medição dos segmentos dos axônios (figura 11).

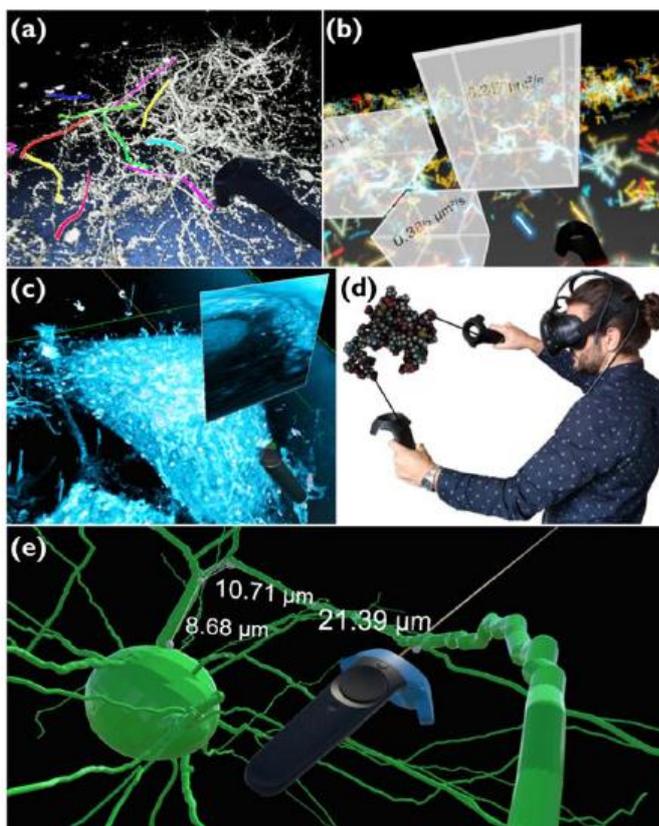
⁴ Um *plug-in* gratuito para o *Autodesk Maya* que permite aos usuários importar, modelar e animar estruturas moleculares (<https://clarafi.com/tools/mmaya/>).

⁵ Uma implementação do Blender, com o *BioBlender*, os usuários podem manipular proteínas no espaço 3D, exibindo sua superfície de maneira fotorrealista e elaborar movimentos de proteínas com base em conformações conhecidas (<http://www.bioblender.org/>).

⁶ Uma ferramenta de modelagem que permite criar montagens moleculares 3D de proteínas e DNA a partir de arquivos do Protein Database (PDB). O DNA atômico pode ser modelado a partir do zero ou reconstruído a partir da simulação (<http://www.lifeexplorer.info/>).

⁷ Usa a abordagem de pintura digital (<http://cellpaint.scripps.edu>).

Figura 11 - Uso de RV em uma tarefa de segmentação



Fonte: BEHEIRY et al., 2019.

Os autores acreditam que a RV terá um impacto importante nas atividades de Biologia Celular, pois a visualização em 3D fornece uma compreensão visual intuitiva de dados volumétricos, o que pode promover uma rápida transmissão e treinamento de conhecimento no laboratório.

- h) Exploration of an Interactive “Virtual and Actual Combined” Teaching mode in Medical Developmental Biology (XU et al., 2018).

Neste artigo, os autores analisaram a eficiência da RV no ensino. A pesquisa foi realizada na Universidade Médica da China (CMU), com 453 graduandos de medicina, sendo o experimento realizado na disciplina Biologia do Desenvolvimento e Medicina Regenerativa, que possui muitos conteúdos relacionados à Bioquímica Molecular, considerada pelos docentes como uma disciplina muito difícil para estudantes, pois as técnicas moleculares bioquímicas só podem ser visualizadas a nível microscópico, ou seja, tem natureza abstrata. O uso da RV nessa disciplina pode auxiliar os alunos na compreensão da teoria, além de fornecer práticas científicas e laboratoriais.

O Laboratório de Simulação Virtual (VSL) foi construído de forma altamente realista, portanto, relaciona-se muito bem com a prática real do laboratório; e, como resultado, simula um aprendizado interessante e que motiva os alunos, além de economizar tempo e esforço dos professores na preparação das aulas práticas.

Ao utilizar a plataforma CMU VSL, os alunos podem facilmente conectar-se aos recursos abertos de aprendizado, usando o ID do aluno, onde têm acesso a vídeo didático e a vários exercícios práticos interativos relacionados. Na disciplina Desenvolvimento Biologia e Medicina Regenerativa, existem atualmente várias aulas práticas com o objetivo de treinar os alunos a lidar com variadas técnicas envolvendo princípios bioquímicos e moleculares.

Os autores relatam que, após a conclusão de todas as sessões práticas, os professores descobriram que os resultados da aprendizagem foram totalmente alcançados. Além disso, a motivação dos alunos para aprender havia sido aumentada usando o sistema VSL. Coletando os dados de “*e-learning*”, que incluem o tempo que os alunos ficam *on-line* e suas pontuações práticas finais, detectaram que 96,9% dos estudantes trabalharam mais de duas horas *on-line* em horários contrários ao que frequentam a universidade, e 15% deles trabalharam mais de cinco horas. Os autores veem esses resultados como algo encorajador, pois indicam que os alunos parecem estar muito interessados no aprendizado utilizando RV.

Os resultados da pesquisa mostram que os alunos melhoraram significativamente sua habilidade na análise de dados e na compreensão dos resultados científicos, o que é altamente necessário em seus empregos futuros, bem como seu conhecimento processual, motivacional e interesse no tópico. E no questionário entregue a eles para obter *feedback* sobre os métodos de ensino utilizados na plataforma VSL, quantificaram que 100% dos estudantes consideraram a plataforma VSL útil para aprendizado; 95% dos estudantes mencionaram que o uso da RV facilitou a compreensão de tópicos, o que era impossível apenas com a aula teórica.

- i) A Practical Guide to Developing Virtual and Augmented Reality Exercises for Teaching Structural Biology (GARCIA-BONETE et al., 2019).

O produto apresentado nesse artigo faz uso da RV e da realidade aumentada (RA) na Biologia Molecular Estrutural. A molécula de proteína pode ser girada ao clicar no botão e deslizar o *mouse* em sua direção. Foi utilizado o sistema do *Google Daydream Vista*, juntamente com um *smartphone Samsung Galaxy S8* como a plataforma RV.

Para desenvolver o produto, utilizou-se o *Sketchfab*, uma plataforma para publicação e compartilhamento de estruturas 3D. Os modelos 3D carregados no *Sketchfab* podem ser

privados ou públicos. O visualizador Web RV para *Sketchfab* é gratuito. Para visualização foi utilizado o *Android Google Chrome*. Os *Oculus Rift* e *HTC Vive* também podem visualizar o *Sketchfab* através do *Google Chrome/Chromium* ou *Firefox*, navegadores da *Web*. Os aplicativos *Sketchfab* para *Android* e *iOS* podem ser baixados gratuitamente na *Play Store* e *App Store*, respectivamente.

O modelo virtual foi disponibilizado em uma sala e os participantes do teste podiam passear e assistir através da tela do *smartphone* de diferentes ângulos⁸. Cada tarefa de aprendizagem foi inteiramente baseada em um modelo 3D multiplataforma carregado no site *Sketchfab*, disponível sob uma licença *Creative Commons*.

O modelo virtual da proteína foi desenvolvido, porque a visualização molecular tem por objetivo mostrar o arranjo de átomos de forma que o observador possa perceber e interpretar, e, frequentemente, os átomos são visualizados como bolas com cores correspondentes ao tipo de elemento. Mas, para visualização de proteínas, essa representação não é ideal, pois são constituídas por milhares de átomos. Então a cadeia principal da proteína é normalmente substituída por um modelo de desenho animado que segue o formato dos carbonos na cadeia de proteínas, ou seja, o estilo do desenho difere de acordo com os elementos estruturais secundários que constituem a proteína.

O modelo RV/RA foi baseado na estrutura atômica da bacterioferritina de *Blastochloris viridis*, representada por um desenho animado. Cada monômero foi colorido de maneira diferente para destacar a estrutura quaternária da bacterioferritina. Em um dos monômeros, o local da ferroxidase catalítica foi desenvolvido para que pudessem visualizar o modelo de bola e bastão, dois íons de ferro e átomos que pertencem aos resíduos de aminoácidos coordenadores. Similarmente, uma das moléculas heme-b é visualizada por uma bola e representação em bastão.

O modelo VRML foi carregado no repositório do *Sketchfab*, após o *upload*, o modelo recebeu um nome, uma breve descrição e palavras-chave, sendo atribuído à categoria Ciência e Tecnologia. Na RV, o modelo foi colocado na frente do visualizador e a escala inicial do modelo foi configurada para aproximadamente o dobro da altura do espectador, para que o nível dos olhos coincida com a origem em pé dentro da molécula virtual. Foi

⁸ A cena bacterioferritina e a voz associada à gravação foram compartilhadas através do link <https://sketchfab.com/3d-models/bacterioferritin-biological-unit-b8b4517e54884f3d98b02e538d37d4d4> e estão disponíveis para visualização, download e modificação sob Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

associado um arquivo de som contendo uma narração de dois minutos, sobre a simetria e características diferentes da bacterioferritina e seu papel biológico.

Os principais conteúdos abordados foram estrutura-função da bacterioferritina, atividade da ferroxidase no transporte e armazenamento de íons de ferro. Os autores destacam que é importante que o aluno visualize o local ativo onde a reação catalítica enzimática ocorre e compreenda sua relação com o suporte proteico.

O teste do produto foi realizado no Departamento de Química e Biologia Molecular, Universidade de Gotemburgo, e 13 alunos participaram do teste voluntário, sendo 3 pós-doutores, 6 doutorandos, 3 mestrados e 1 graduando. Essa variedade deve-se ao fato de que Bioquímica e Biologia Estrutural são ambientes multidisciplinares, onde químicos, biólogos, físicos e engenheiros trabalham juntos.

O teste foi feito individualmente e cada participante realizou as tarefas de RV e RA, sobre a supervisão de um estudante de doutorado que explicou brevemente como se utilizava o equipamento.

Após análise do questionário respondido pelos participantes, os autores concluíram que, no geral, a experiência foi positiva. A maioria dos usuários avaliou que a narrativa no áudio não foi útil, pois não conseguiram realmente se concentrar no que eles ouviram, porque sua atenção estava voltada para o que estavam visualizando. Em relação à visualização, ficaram fascinados e houve relato acerca da singularidade da experiência, pois não pensavam que a RV/RA era substancialmente diferente da visualização da estrutura em uma tela de computador, além disso, gostaram da possibilidade de girar e reposicionar a estrutura.

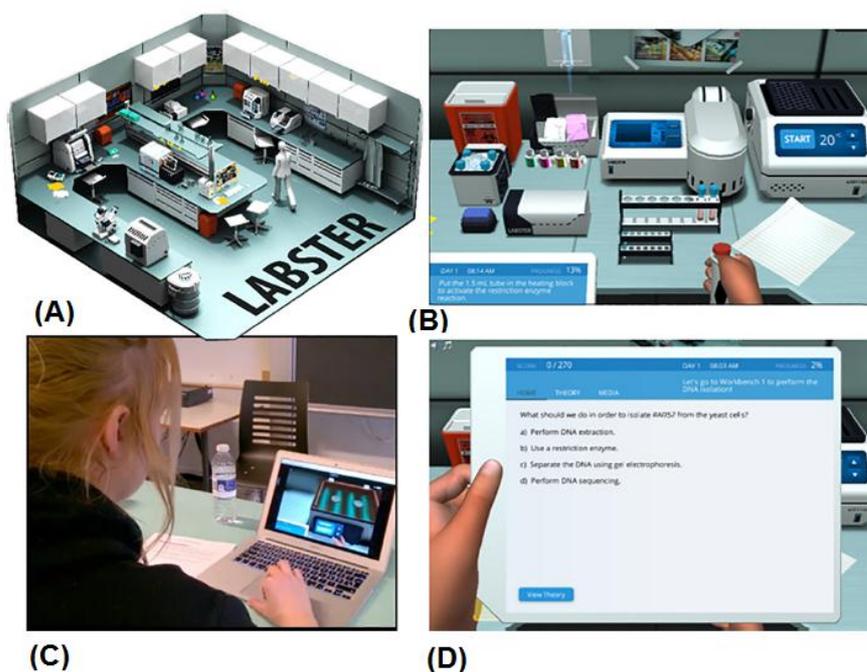
Quanto ao questionamento “Você poderia sugerir outra área onde RV/RA pode melhorar o ensino superior?”, sugeriram vários conteúdos e áreas, como visualização fisiológica, processos cirúrgicos, visualização de objetos de arte que normalmente não estão ao alcance do público. A diversidade de respostas reflete a interdisciplinaridade que a RV/RA pode proporcionar.

- j) Virtual Laboratory Simulation in the Education of Laboratory Technicians- motivation and Study Intensity (MAY; VRIES, 2019).

Nesse artigo, os autores apresentam uma avaliação do uso educacional dos laboratórios virtuais no Programa de Pós-Graduação em Ciência Química e Biotécnica da Universidade *College Copenhagen*, na Dinamarca. A pesquisa foi realizada entre 2014 e 2015, contando com 78 alunos. O objetivo era testar como as simulações de laboratório, mais especificamente do Labster⁹, poderiam ser aplicadas a uma prática educacional orientada para o ensino.

O laboratório virtual se assemelha a um laboratório “real” (figura 12). Com o *mouse*, o aluno se move no laboratório virtual e realiza vários testes de laboratório. Um assistente de laboratório virtual o orienta durante as atividades. Os experimentos virtuais são interrompidos por questões de múltipla escolha, que precisam ser respondidas corretamente antes de prosseguir (figura 12D), gerando pontos. O professor pode acompanhar as respostas individuais dos alunos e também verificar se os alunos concluíram a simulação.

Figura 12 - Ilustração de um laboratório virtual do Labster



Fonte: MAY; VRIES, 2019.

⁹ A Labster é uma empresa dedicada ao desenvolvimento de simulações de laboratório avançadas, totalmente interativas e baseadas em algoritmos matemáticos que suportam investigações abertas.

Para essa pesquisa, foram utilizados os laboratórios NGS (*Next Generation Sequencing*) e Clonagem Molecular. No laboratório NGS, a simulação é curta, e, para concluir, o aluno utiliza cerca de 20 a 40 minutos. A simulação é em torno de um extinto palaeo-esquimó, onde o aluno obtém uma amostra óssea dele, para extrair o DNA e analisar sua sequência de bases nitrogenadas. Na simulação da Clonagem Molecular, o processo é mais complexo e longo, levando aproximadamente 2 horas. A simulação é construída em torno de uma “história” sobre um pesquisador que procura testar uma proteína (RAD52) por sua função hipotética no reparo do DNA. A simulação inicia com um filme de animação onde o pesquisador recebe inspiração sobre como montar o experimento usando a proteína verde fluorescente (GFP) da água-viva. Durante o experimento virtual, os alunos trabalham com diferentes técnicas moleculares, incluindo extração de DNA e enzima de restrição. Realizam análise real para determinar se o RAD52 desempenha um papel importante no reparo do DNA.

No geral, a maioria dos estudantes avaliou positivamente o uso do simulador de laboratório, destacando-o como um complemento útil ao ensino tradicional e descreveram que os laboratórios ajudaram na visualização de procedimentos práticos, bem como as reações químicas e moleculares que ocorreram durante os experimentos. Além disso, disseram que a simulação virtual auxiliou na compreensão da teoria, bem como nos elementos da prática de trabalho laboratorial, o que lhes proporcionou uma melhor aprendizagem.

Os autores atribuíram que existem dois aspectos de como o laboratório virtual auxilia na aprendizagem: 1) A animação dos processos moleculares ajuda o aluno a entender a teoria; 2) O laboratório virtual com visualização de equipamentos e técnicas ajuda os alunos a realizar procedimentos práticos. Concluíram que o laboratório virtual provou ser uma ferramenta de ensino muito promissora, pois pode ser utilizado por alunos de diferentes níveis de ensino e permite uma interação constante do aluno, tornando-o ativo durante toda a simulação.

k) Equivalence of Using a Desktop Virtual Reality Science Simulation at Home and in Class (MAKRANSKY et al., 2019)

Os autores desse artigo pesquisaram os impactos da utilização de um laboratório de RV para aprendizagem. A pesquisa foi realizada com uma amostra de 112 graduandos de biologia, da Universidade de Glasgow, na Escócia. Essa amostra foi dividida em dois grupos, um de 62 alunos que utilizaram a simulação do laboratório virtual em casa em

seu próprio tempo, e o outro grupo de 50 alunos fez uso da mesma simulação, porém em sala de aula, com supervisão do professor.

A simulação virtual interativa utilizada na pesquisa foi intitulada “*Bacterial Isolation*”¹⁰, um laboratório de um catálogo que está disponível na empresa Labster, desenvolvido para facilitar o aprendizado dos principais conceitos e técnicas em microbiologia.

Especificamente, os conceitos abordados foram: a importância do crescimento bacteriano para a investigação de patologias; a necessidade de trabalhar em condições assépticas; conceito de colônia; técnicas de riscagem; função e importância dos meios de cultura seletivos. A simulação permitiu ao usuário trabalhar através dos procedimentos em um laboratório virtual usando e interagindo com o equipamento de laboratório relevante e o conteúdo essencial é ensinado por meio de uma abordagem de aprendizado baseada em perguntas. Os alunos são orientados através da simulação por um agente pedagógico que fornece as instruções específicas, o que auxilia na progressão dos alunos no decorrer da simulação.

A simulação da aula virtual inicia-se com um aluno que está sendo apresentado através de uma breve introdução à história por trás do cenário de laboratório e, em seguida, descreve a tarefa do aluno na resolução da investigação experimental. O aluno precisa investigar um surto de intoxicação alimentar bacteriana, e tem que isolar uma estirpe resistente aos antibióticos da bactéria a partir de amostras recolhidas de uma exploração avícola, que é fonte suspeita de infecção. Após a introdução dos princípios de meio de cultura seletivo e diferencial em microbiologia, os alunos têm várias oportunidades para a prática listando as bactérias em placas de ágar, incubando-as de forma adequada, e isolando culturas de colônias livres de qualquer contaminação.

Essa simulação permite cinco formas diferentes de interatividade que são comumente utilizadas em ambientes de aprendizado multimídia, incluindo: dialogar, controlar, manipular, pesquisar e navegar. O diálogo é alcançado através de uma interação com o instrutor de laboratório virtual *on-line* e através da seleção opcional de informações adicionais por meio dos *wikilinks*. Os alunos também são capazes de controlar o ritmo da simulação de isolamento bacteriano, decidindo quando prosseguir com as experiências, escolhendo se deseja fazer mais leituras, quando solicitado a responder questões de múltipla escolha, e controlando o número de vezes que praticam a remoção de bactérias em placas de

¹⁰ Que pode ser acessado através deste link: <https://www.youtube.com/watch?v=zZYUob44efE>.

ágar. Isso inclui a seleção do meio de cultura inócuos e controles apropriados usados no experimento.

O aluno precisa encontrar as ferramentas corretas e prepará-las adequadamente para trabalhar com a técnica estéril exigida pelo protocolo e, finalmente, tem que determinar os parâmetros para o sucesso da incubação e crescimento das bactérias. A chave para a simulação é a capacidade do aluno de usar um *loop* de nícrômio estéril para riscar bactérias em uma placa de ágar para poder cultivar colônias bacterianas isoladas, livres de contaminação. O laboratório virtual também exige a escolha do aluno para o descarte seguro de materiais de laboratório contaminados, além de oferecer a oportunidade de se envolver na busca de informações, fornecendo material escrito, dando suporte aos conceitos, técnicas e materiais. Finalmente, os alunos também recebem interação com a navegação porque estão em um laboratório virtual, onde são capazes de determinar o conteúdo dos episódios de aprendizagem, selecionando um equipamento de várias fontes disponíveis e decidirem o que fazer no laboratório virtual.

O grupo da sala de aula teve a simulação agendada em seu horário, permitindo a eles uma hora em um laboratório de informática no *campus*, que tinha capacidade para acomodar até 40 alunos de cada vez, e o mesmo assistente (um aluno de doutorado no último ano) estava presente em cada sessão. Em média, os alunos utilizaram 59,21 minutos na simulação. A maioria dos alunos do grupo que utilizou a simulação fora da Universidade optou por fazer a simulação em casa (52 alunos), apenas 10 alunos relataram fazer a simulação em outro lugar, como biblioteca. Os alunos deste grupo passaram em média 61 minutos usando a simulação.

Após o término da simulação, os alunos de ambos os grupos foram submetidos a uma avaliação e, de acordo com os resultados apresentados pelos autores, os grupos não diferiram significativamente em relação ao aprendizado. Os autores concluíram que o contexto virtual de uma simulação científica de RV, cuidadosamente projetada, pode ser uma excelente ferramenta pedagógica, pois os alunos ficam imersos nesse contexto virtual e podem experimentar uma sensação de presença, independentemente do ambiente em que está fisicamente presente.

- 1) A Virtual Tour of the Cell: Impact of Virtual Reality on Student Learning and Engagement in the Stem Classroom (BENNET; SAUNDERS, 2019).

Nesse artigo, há um relato da experiência virtual de 62 alunos de graduação, da turma de biologia celular na Universidade Otterbein. Essa experiência foi através da *Journey Inside a Cell* (Viagem dentro de uma célula), criada pelo *The Body VR*¹¹ usando o *HTC Vive*.

Havia dois HMDs disponíveis com o módulo “Viagem dentro de uma célula”, que fornece uma visita virtual guiada e imersiva, com duração de 12 minutos aproximadamente. O aluno pode interagir com a célula e suas organelas citoplasmáticas, manipulando-as através do controlador, além de “disparar” anticorpos em um “ataque viral” que se aproximava. Ao término da experiência virtual, foi proposto um desafio, no qual o aluno precisava classificar as células. Trabalhando em dupla, combinaram as partes de células RV impressas com as etiquetas corretas.

Após a experiência virtual, os alunos participaram de uma pesquisa que tinha por objetivo avaliar o impacto que a RV de imersão total na célula trouxe para o aprendizado de Biologia Celular. Analisando os resultados da pesquisa, os autores verificaram que 93% dos alunos afirmaram que a RV facilitou na sua aprendizagem e as justificativas mais encontradas para isso foram agrupadas nas categorias: aumento de interesse; melhor entendimento e novas perspectivas.

3.2 Comparação entre os Trabalhos

Dos 12 trabalhos apresentados anteriormente, todos os que apresentaram validação foram avaliados positivamente. E as validações foram muito semelhantes com a testagem feita no produto desta dissertação, sendo primeiramente voluntários da graduação e/ou docentes do ensino superior convidados a utilizar o simulador e avaliá-lo por meio de questionário.

Em todos os trabalhos levantados ficou evidente o quanto é importante a modelagem de conteúdos abstratos da Biologia Celular para o processo de ensino, e como isso reflete positivamente na aprendizagem, o que reforça a importância do presente estudo.

Nem todos os ambientes de RV apresentam as sete características, destacadas na figura 6 e apresentadas no capítulo I desta pesquisa, além de se diferenciarem de acordo com os tipos: de imersão (imersiva e não-imersiva); de cenário (reais ou fictícios); de interação; de consoles utilizados; dentre outros.

¹¹ Disponível em: <http://thebodyvr.com/products/>.

Considerando algumas características de ambientes virtuais, fez-se um quadro comparativo (quadro 2), com os 12 trabalhos apresentados anteriormente e estes foram numerados da seguinte forma:

- I.** *Exploring molecular structure by virtual reality;*
- II.** *The gentechnique project: developing an open environment for learning molecular genetics;*
- III.** *A virtual environment for steered molecular dynamics;*
- IV.** *Simulated site-directed mutations in a virtual reality environment as a powerful aid for teaching the three-dimensional structure of proteins;*
- V.** *Journey to the centre of the cell: virtual reality immersion into scientific data;*
- VI.** *From atoms to cells: using mesoscale landscapes to construct visual narratives;*
- VII.** *Virtual reality: beyond visualization;*
- VIII.** *Exploration of an interactive “virtual and actual combined” teaching mode in medical developmental biology;*
- IX.** *A practical guide to developing virtual and augmented reality exercises for teaching structural biology;*
- X.** *Virtual laboratory simulation in the education of laboratory technicians- motivation and study intensity;*
- XI.** *Equivalence of using a desktop virtual reality science simulation at home and in class;*
- XII.** *A virtual tour of the cell: impact of virtual reality on student learning and engagement in the stem classroom.*

Quadro 2 - Trabalhos correlatos e as características da RV

TRABALHOS CORRELATOS	SINTÉTICO	3D	MULTIS-SENSORIAL	INTERATIVO	REALÍSTICO	IMERSIVA	COM PRESENÇA	DE QUE FORMA É FEITA A INTERAÇÃO	DISPONIBILIZAÇÃO	CATEGORIA
I	*		*	*	*	*	*	Utiliza óculos de imersão, mas na pesquisa não especifica o modelo.	Não há informação se foi disponibilizado	Educativo
II		*	*	*				Visualiza na tela do computador e a interação é feita através do <i>mouse</i>	Gratuita	Educativo
III	*	*	*	*	*	*	*	Sistema de exibição PIT	Não há informação se foi disponibilizado	Pesquisa
IV	*	*	*	*	*	*	*	Em sessões no IXTLI, o observatório da Realidade Virtual da UNAM.	Na pesquisa, não há informação se foi disponibilizado	Educativo
V	*	*	*	*	*	*	*	<i>Oculos Rift e HTC VIVE Oculos</i>	Autores não informam se o produto foi disponibilizado	Educativo

TRABALHOS CORRELATOS	SINTÉTICO	3D	MULTIS-SENSORIAL	INTERATIVO	REALÍSTICO	IMERSIVA	COM PRESENÇA	DE QUE FORMA É FEITA A INTERAÇÃO	DISPONIBILIZAÇÃO	CATEGORIA
VI	*	*	*	*	*	*	*	Evidenciam que há imersão e interação, mas não informam o console utilizado para isso.	Autores não informam se o produto foi disponibilizado	Educativo
VII	*	*	*	*	*	*	*	<i>HTC VIVE Oculus</i>	Autores não informam se o produto foi disponibilizado	Educativo
VIII	*	*	*	*	*			Através plataforma CMU VSL	Gratuito	Educativo
IX	*	*	*	*	*	*	*	<i>Android Google Chrome Oculus Rift HTC VIVE Oculus</i>	Gratuito	Educativo
X	*	*	*	*	*			Através do Labster	Pago	Educativo
XI	*	*	*	*	*			Através do Labster	Pago	Educativo
XII	*	*	*	*	*	*	*	<i>HTC VIVE Oculus</i>	Gratuito	Educativo

Fonte: autora, 2019.

Sete trabalhos apresentam todas as características de um ambiente virtual descritas por Martins (2000) e Vince (2004), explicadas no capítulo I desta dissertação. Dentre os 12 trabalhos apresentados, apenas um não foi desenvolvido para a educação. E em relação às funcionalidades do recurso, quatro utilizam o mesmo *headset* desta pesquisa, o *HTC Vive Oculus*.

Com a realização da pesquisa bibliográfica, nota-se que o avanço tecnológico e as novas metodologias e técnicas de ensino na área da educação permitem uma nova visão para o ensino voltado ao estudo das células, um conteúdo de extrema relevância para compreender as áreas das Ciências Biológicas. Os trabalhos apresentados permitem que o professor faça uso de metodologias inovadoras e diversificadas que possibilitam uma melhor compreensão do conteúdo, ao invés de se restringir a aulas expositivas e metodologias passivas, com utilização apenas de *slides*, vídeos e construção de maquetes com modelos tridimensionais nas quais os alunos apenas recebem as informações, mas não são capazes de interagir com elas.

O trabalho que mais se assemelha com o produto desta dissertação é a experiência do *Journey Inside a Cell* (Viagem dentro de uma célula), criado pelo *The Body VR* e que foi descrito no trabalho de Bennett e Saunders (2019), pois ambos permitem que o usuário interaja com os componentes celulares presentes no ambiente virtual e também permitem a simulação de processos que ocorrem no interior da célula.

Dessa forma, o presente trabalho, buscando colaborar no processo cognitivo do aprendiz, propõe um modelo da membrana plasmática em RV, que proporciona uma educação exploratória e oferece ao aprendiz a oportunidade de compreender melhor seu objeto de estudo.

4. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO PRODUTO

Não mais representar o visível, mas tornar visível.

(Paul Klee)

Esta seção contém todo o processo de construção do simulador em ambiente de realidade virtual para o ensino da membrana plasmática. Descrevendo todo o processo de modelagem realizado pela pesquisadora e explicado o processo de exportação para o aplicativo *Unity*, realizado pela equipe de programadores do LAAI.

4.1 Modelagem das Estruturas

Para a construção do modelo da membrana plasmática em RV, optou-se por usar o *software* de modelagem Blender 3D versão 2.78, distribuído sob a licença GNU-GPL (*General Public Licence*), que permite a construção e renderização de objetos tridimensionais. Esse *software* pode ser utilizado para criar visualizações de espaços tridimensionais, imagens estáticas, bem como vídeos de alta qualidade (BRITO, 2011).

A membrana plasmática tem constituição lipoprotéica e as estruturas modeladas foram lipídios: colesterol e cinco tipos de fosfolipídeos (esfingomielina, fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol e fosfatidilserina); oito tipos de proteínas (proteína transmembrana com uma única α -hélice; proteína transmembrana com múltiplas α -hélice; proteína transmembrana com uma folha β ; proteína totalmente exposta à superfície externa da célula; proteína localizada inteiramente no citosol e anexada à monocamada citosólica através de uma α -hélice; proteína localizada inteiramente no citosol e ancoradas à monocamada citosólica, por cadeias lipídicas covalentes; proteína periférica ligada à face interna da membrana e proteína periférica ligada à face externa da membrana); glicolipídeos e glicoproteínas.

Para que as estruturas das modelagens fossem precisas e confiáveis, ao criá-las, utilizou-se como referência as imagens presentes nos livros “*Biologia Molecular da Célula*” (ALBERTS et al., 2017) e “*A Célula: uma abordagem molecular*” (COOPER; HAUSMAN, 2007), ambos presentes na bibliografia básica dos cursos de Ciências Biológicas e nos cursos da área de saúde.

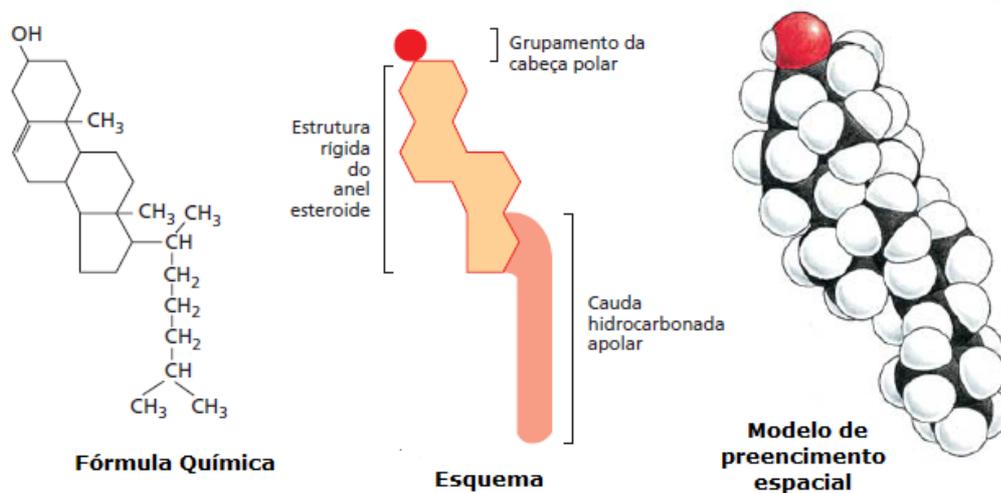
Os diferentes tipos de lipídeos e de proteínas, a glicoproteína e o glicolipídeo foram modelados separadamente, e depois organizados de acordo com o modelo de mosaico fluido da estrutura da membrana plasmática, conforme a figura 8 (página 34) apresentada na seção

do Ensino da Biologia Celular, do capítulo I desta pesquisa. A seguir, será descrito o processo de modelagem de cada estrutura celular.

a) Colesterol

O colesterol é um esterol que contém uma estrutura em anel rígida ligada a um único grupo hidroxila polar e uma pequena cadeia de hidrocarboneto apolar (ALBERTS et al., 2017). No processo de modelagem, considerou-se a fórmula espacial e química, bem como seu esquema didático, conforme ilustrado na figura 13.

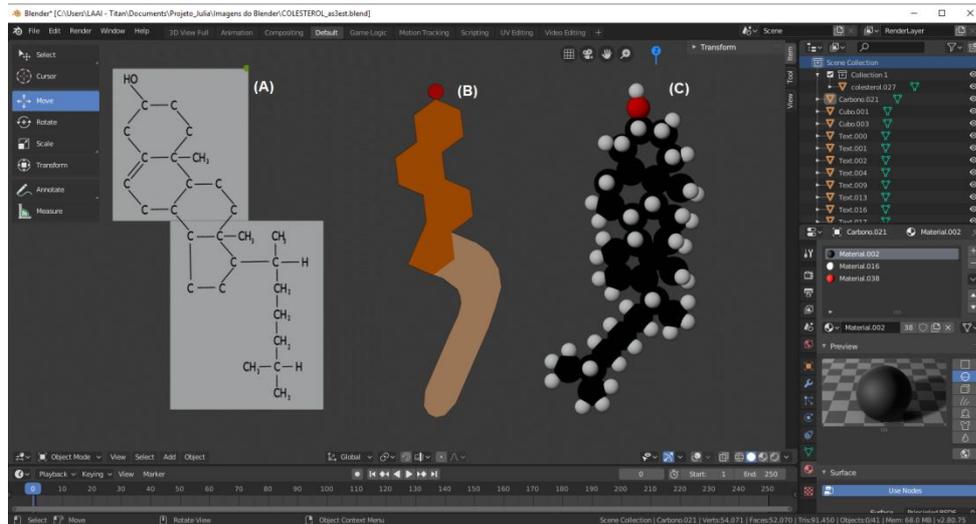
Figura 13 - Estrutura do Colesterol



Fonte: ALBERTS et al., 2017.

Quimicamente, o colesterol é constituído por 27 átomos de carbono, 46 átomos de hidrogênio e 1 átomo de oxigênio, que na modelagem foram representados por esferas nas cores pretas, brancas e vermelhas, respectivamente. O processo de modelagem (figura 14) foi baseado no modelo destacado por Alberts et al. (2017), figura 13.

Figura 14 - Interface do Blender e modelagem do Colesterol em sua fórmula química estrutural (A), seu esquema didático (B) e sua fórmula química espacial (C)

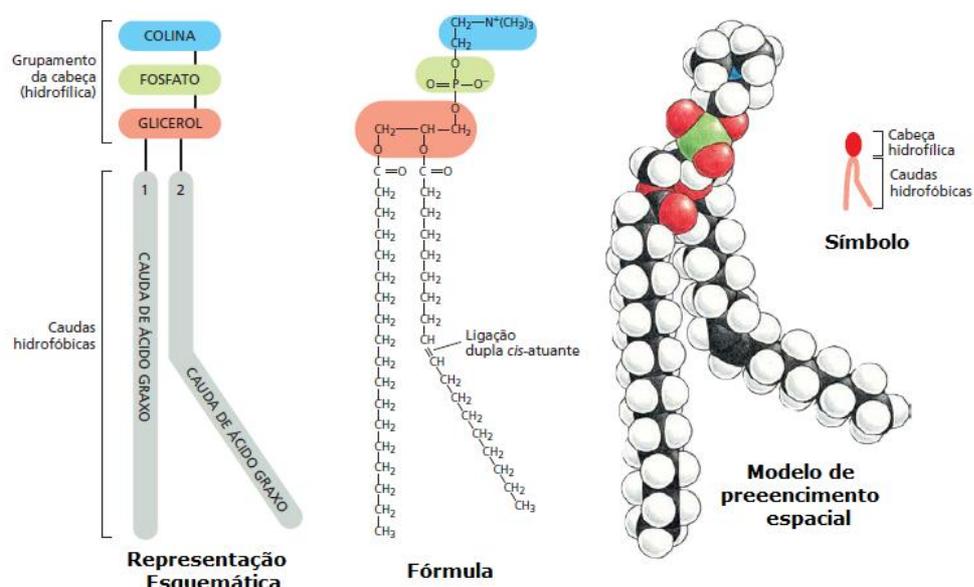


Fonte: autora, 2019.

b) Fosfolipídeos

Os fosfolipídeos são os mais abundantes lipídeos da membrana plasmática. São constituídos por um grupamento de cabeça polar contendo um grupo fosfato e duas caudas hidrocarbonadas hidrofóbicas, uma delas apresenta instaurações, isto é, ligações duplas entre os carbonos (COOPER; HAUSMAN, 2007), como se vê representado na figura 15.

Figura 15 - Partes de uma típica molécula de fosfolipídeo



Fonte: ALBERTS et al., 2017.

Nas células animais, a membrana plasmática é constituída principalmente pelos fosfoglicerídeos, que apresentam uma cadeia principal de glicerol com três carbonos ($C_3H_5O_3$). Os carbonos adjacentes ao glicerol se ligam nas duas longas cadeias de hidrocarbonos e o terceiro átomo de carbono do glicerol liga-se a um grupo fosfato. Este, por sua vez, se une a vários tipos de grupamentos, constituindo, assim, diferentes fosfoglicerídeos e os mais abundantes, na membrana plasmática de célula animal, são: fosfatidiletanolamina, fosfatidilserina, fosfatidilcolina e fosfatidilinositol (ALBERTS et al., 2017).

Outra importante classe de fosfolipídeos são os esfingolipídios, sendo que, ao invés de glicerol, apresentam esfingosina, que é uma longa cadeia acetil com um grupo amino (NH_2) e dois grupos hidroxila (OH) em uma das extremidades. Nesses fosfolipídeos, uma cauda de hidrocarbonetos é ligada ao grupo amino e um grupo fosfocolina é ligado ao grupo hidroxila terminal, como é o caso da esfingomielina (ALBERTS et al., 2017).

Os fosfolipídeos foram modelados de três maneiras diferentes: seu símbolo, sua fórmula química estrutural e sua fórmula química espacial. O símbolo, conforme pode ser observado na figura 15, é constituído por uma cabeça hidrofílica e uma cauda hidrofóbica, para que os fosfolipídeos pudessem ser identificados, as cabeças foram representadas por cores diferentes. E as caudas hidrocarbonadas também apresentaram cores distintas para diferenciar os fosfoglicerídeos do esfingolipídio, conforme apresetado no quadro 3.

Quadro 3 - Identificação das Representações Fosfolipídicas Didáticas

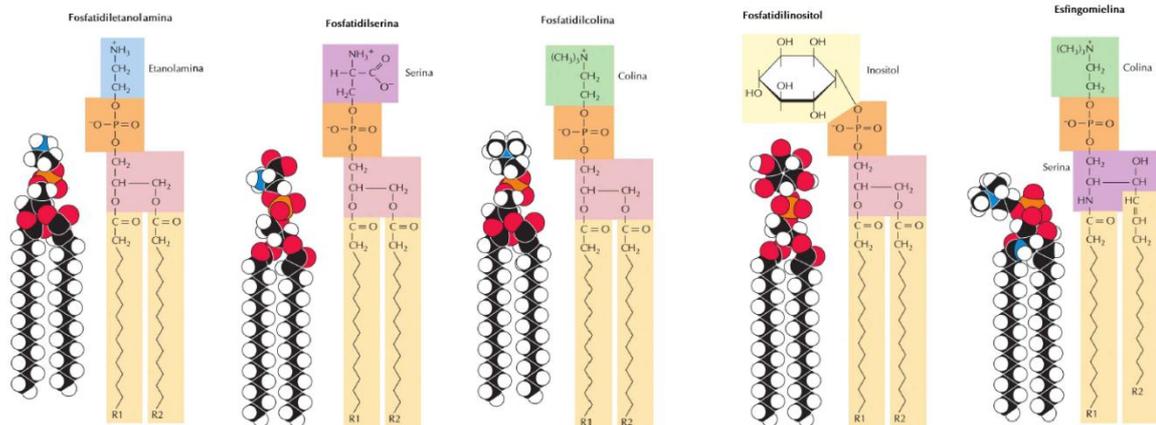
FOSFOLIPÍDEO	COR DA CABEÇA POLAR	COR DA CAUDA HIDROCARBONADA	LOCALIZAÇÃO NA MEMBRANA
Fosfatidilinositol	Verde Escuro	Rosa	Monocamada Interna
Fosfatidiletanolamina	Amarelo	Rosa	Monocamada Interna
Fosfatidilserina	Verde Claro	Rosa	Monocamada Interna
Fosfatidilcolina	Vermelho	Rosa	Monocamada Externa (predominantemente)
Esfingomielina	Marrom	Vermelha	Monocamada Externa (predominantemente)

Fonte: autora, 2018.

As modelagens das fórmulas químicas espaciais e estruturais dos fosfolipídeos foram desenvolvidas a partir dos modelos presentes em (COOPER; HAUSMAN, 2007), conforme exposto na figura 16. Na modelagem das fórmulas espaciais, utilizou-se esferas de cores e tamanhos diferentes, representando os átomos que os constituem, sendo aplicadas transformações nas esferas, de escala, rotação e translação para conseguir a forma desejada.

Os átomos que constituem os fosfolipídeos são carbono, hidrogênio, fósforo, nitrogênio e oxigênio, que foram representados pelas cores preta, branca, verde, azul e vermelha, respectivamente.

Figura 16 - Estrutura dos fosfolipídeos (fórmulas espaciais e estruturais)

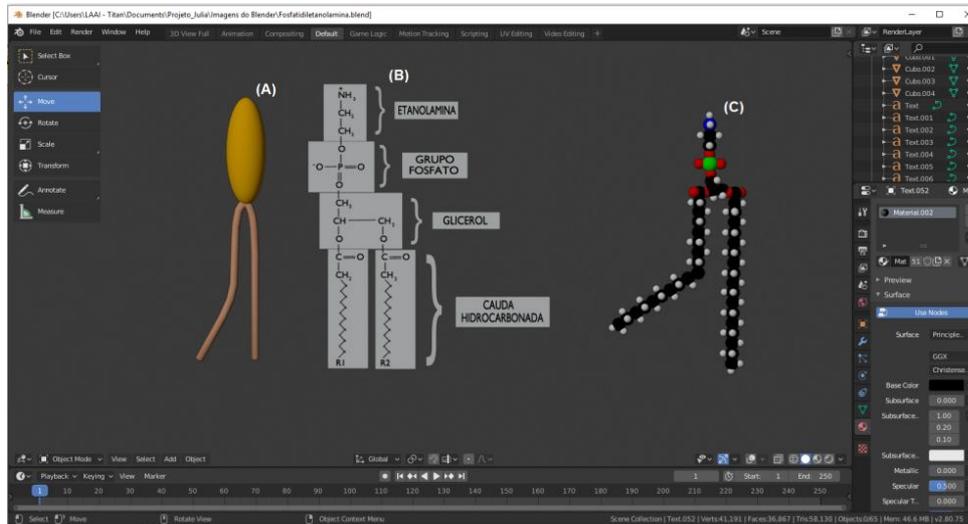


Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

Segundo ALBERTS et al. (2017), os ângulos que os átomos estabelecem entre si no momento que realizam as ligações químicas, por isso existe uma inclinação de aproximadamente 45° em uma das cadeias hidrocarbonadas dos fosfolipídeos, pois representa a presença de uma insaturação, ou seja, situação em que o carbono realiza uma dupla ligação, o que causa mudança na angulação da ligação química estabelecida entre esses átomos, destacado na figura 15.

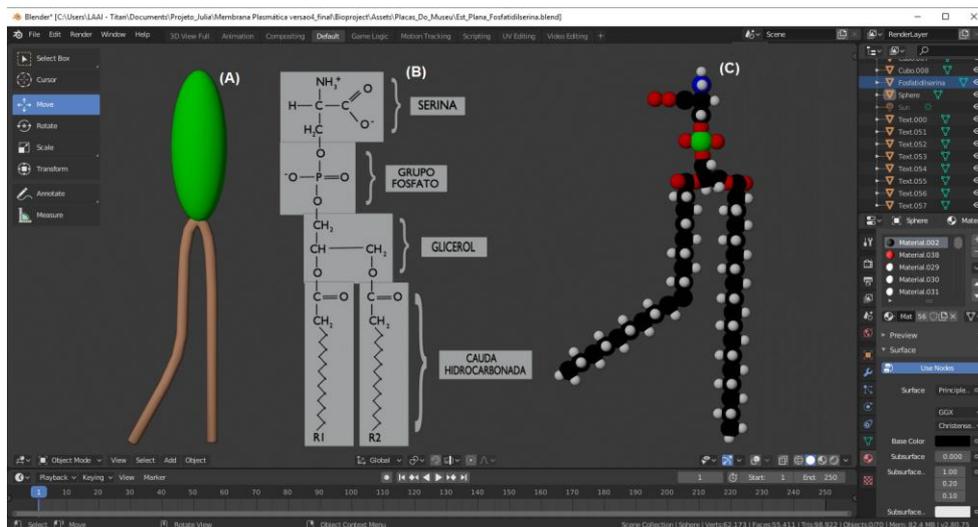
As figuras 17, 18, 19, 20 e 21 representam as modelagens do símbolo, da fórmula química estrutural e da fórmula química espacial dos fosfoglicerídeos (fosfatidiletanolamina, fosfatidilserina, fosfatidilcolina e fosfatidilinositol) e do esfingolipídio (esfingomielina).

Figura 17 - Interface do Blender e modelagem do Fosfatidiletanolamina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C)



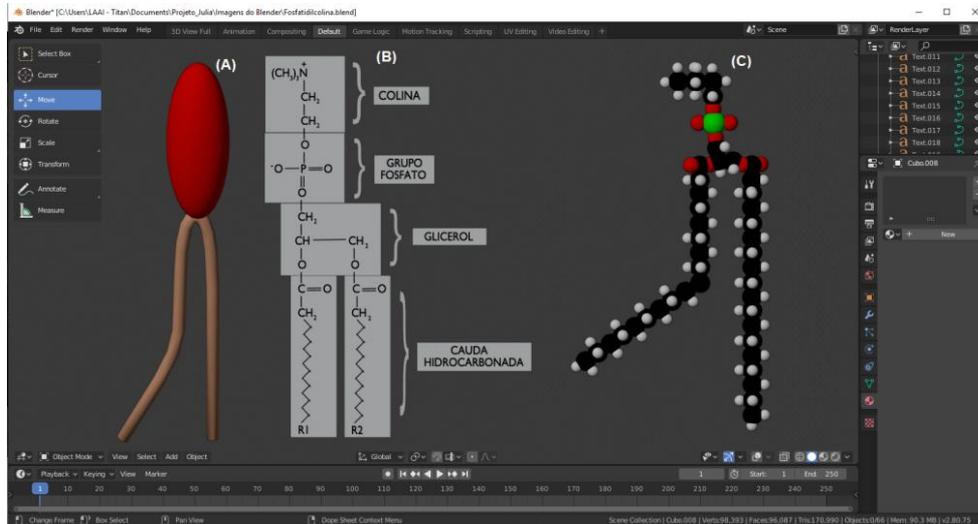
Fonte: autora, 2019.

Figura 18 - Interface do Blender e modelagem do Fosfatidilserina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C)



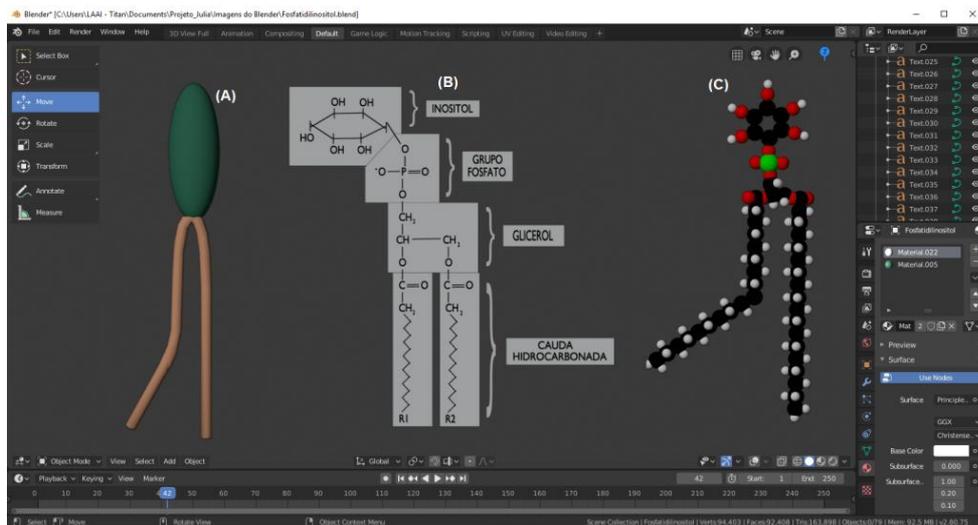
Fonte: autora, 2019.

Figura 19 - Interface do Blender e modelagem do Fosfatidilcolina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C)



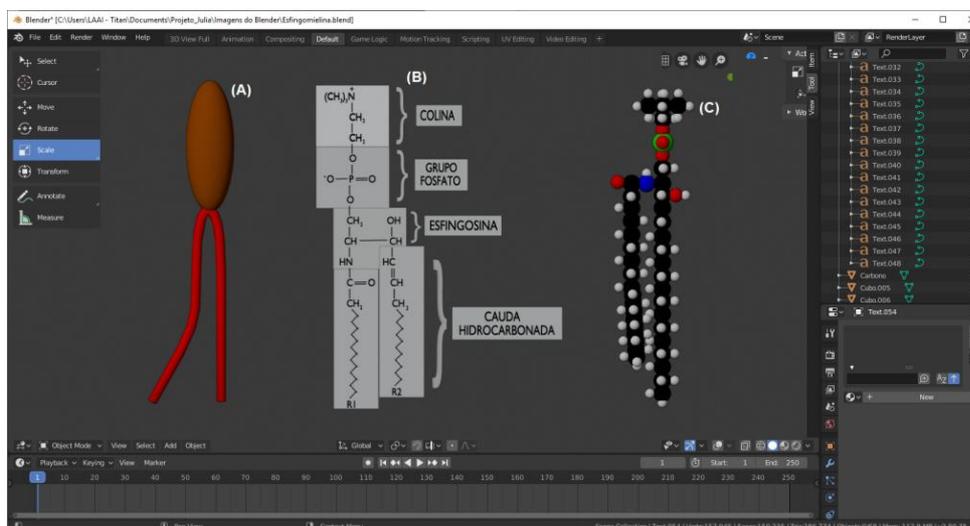
Fonte: autora, 2019.

Figura 20 - Interface do Blender e modelagem do Fosfatidilinositol em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C)



Fonte: autora, 2019.

Figura 21 - Interface do Blender e modelagem do Esfingomielina em forma de símbolo (A), na sua fórmula química estrutural (B) e na sua fórmula química espacial (C)



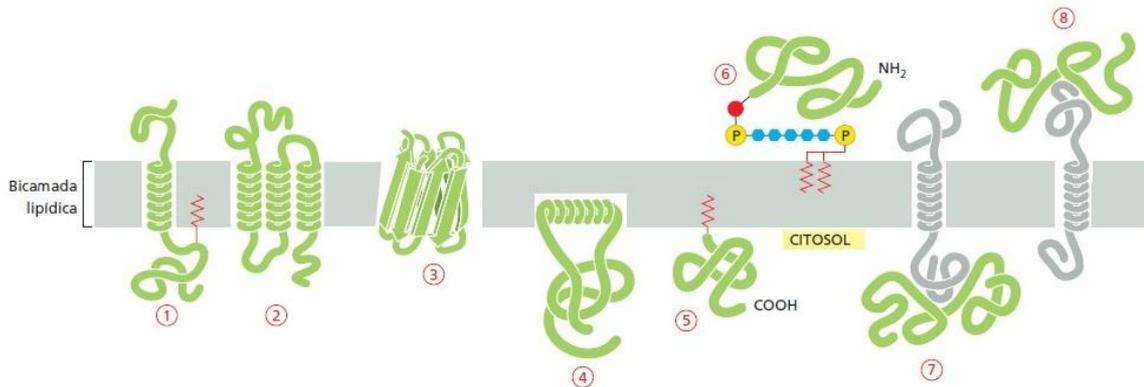
Fonte: autora, 2019.

c) Proteínas de Membrana

As proteínas de membranas são bidimensionais, fluidas e realizam funções específicas na membrana plasmática, encontrando-se inseridas nas bicamadas lipídicas. Existem duas classes de proteínas associadas à membrana: proteínas periféricas de membrana, que podem ser dissociadas da membrana plasmática através da utilização de reagentes polares ou com altas concentrações de sais; e as proteínas integrais de membrana, que ficam inseridas na bicamada lipídica e só são dissociadas com o uso de reagentes capazes de romper as interações hidrofóbicas (COOPER; HAUSMAN, 2007).

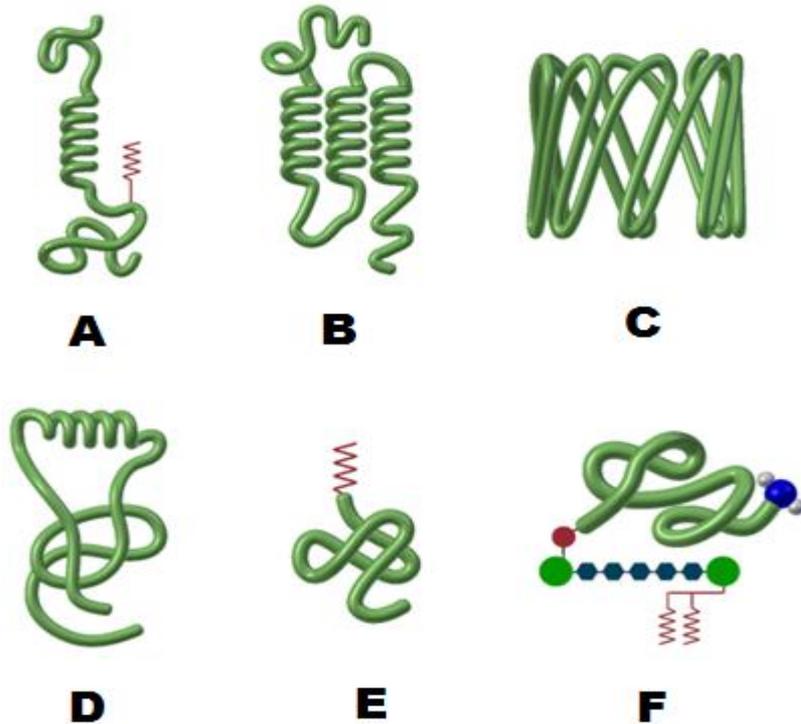
Para realizar as modelagens das proteínas, foi preciso compreender um pouco mais acerca das Curvas de *Bézier* e do *Bevel Object*, que permitem delimitar a forma que a modelagem deve seguir. A representação escolhida para modelagem da proteína foi forma cilíndrica, assemelhando-se com as proteínas representadas por (ALBERTS et al., 2017), que serviram como base na construção do modelo de membrana plasmática (figura 22).

Figura 22 - Várias formas pelas quais as proteínas se associam à bicamada lipídica



Fonte: ALBERTS et al., 2017.

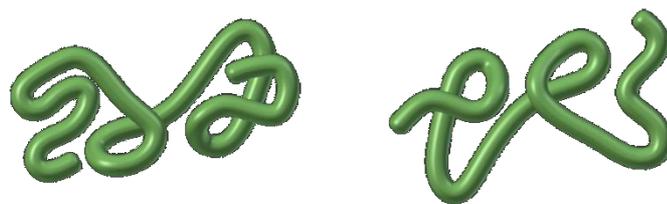
As proteínas transmembrana são as que atravessam a bicamada lipídica e apresentam regiões hidrofóbicas e hidrofílicas. A região hidrofóbica atravessa a membrana e interage com as caudas hidrocarbonadas dos fosfolipídeos, mantendo-se fora da água. As regiões hidrofílicas ficam expostas à água nos dois lados da membrana (ALBERTS et al., 2017). Foram modeladas as seguintes proteínas transmembrana: proteína transmembrana com uma única α -hélice (figura 23A); proteína transmembrana com múltiplas α -hélice (figura 23B); proteína transmembrana com uma folha β (figura 23C); proteína localizada inteiramente no citosol e anexada à monocamada citosólica através de uma α -hélice (figura 23D); proteína localizada inteiramente no citosol e anexada à monocamada citosólica, por cadeias lipídicas covalentes (figura 23E); e proteína totalmente exposta à superfície externa da célula (figura 23F).

Figura 23 - Renderização das Proteínas

(A) Transmembrana com uma única α -hélice; (B) Transmembrana com múltiplas α -hélice; (C) Transmembrana com uma folha β ; (D) Proteína localizada inteiramente no citosol e anexada à monocamada citosólica através de uma α -hélice; (E) Proteína localizada inteiramente no citosol e anexada à monocamada citosólica, por cadeias lipídicas covalentes; (F) Proteína totalmente exposta à superfície externa da célula.

Fonte: autora, 2018.

Na constituição da membrana plasmática, também há as proteínas associadas à membrana, que são aquelas que não se estendem para o interior hidrofóbico da bicamada lipídica, sua ligação à membrana plasmática ocorre em uma das faces, interna ou externa, da membrana, por meio de interações não covalentes com outras proteínas da membrana (ALBERTS et al., 2017). Foi modelada a proteína periférica ligada à face interna da membrana e a proteína periférica ligada à face externa da membrana (figura 24), suas diferenças só serão perceptíveis no modelo da membrana plasmática (figura 29).

Figura 24 - Renderização das proteínas associadas à membrana.

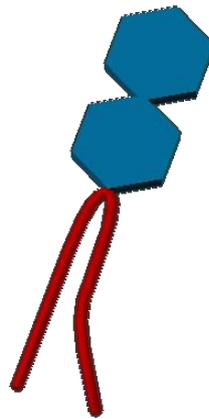
Fonte: autora (2018).

d) Glicolipídeos

Assim como os fosfolipídeos, esses compostos são formados por uma região hidrofóbica contendo duas caudas hidrocarbonadas longas e uma região polar, mas, ao invés de um grupo fosfato ligado à cabeça, possui um ou mais açúcares (ALBERTS et al., 2017).

A modelagem dos glicolipídeos (figura 25) foi semelhante ao que foi feito na modelagem do símbolo dos fosfolipídeos, o que diferenciou foi a cabeça, que nos glicolipídeos tem formato hexagonal.

Figura 25 - Renderização do glicolipídeo



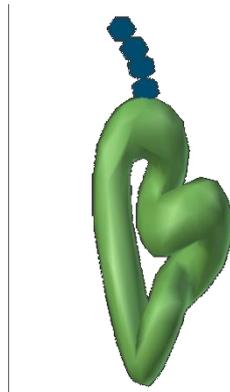
Fonte: autora, 2018.

e) Glicoproteínas

A glicoproteína é um tipo de proteína que tem um carboidrato ligado a ela, o processo de ligação desse carboidrato ocorre durante a tradução da proteína ou como uma modificação pós-tradução, num processo chamado glicosilação (ALBERTS et al., 2017).

Na modelagem dessa estrutura (figura 26), foi utilizada a mesma técnica das outras proteínas. Em seguida, criaram-se os hexágonos, para representar os glicídios, que foram unidos a proteínas, constituindo, assim, as glicoproteínas.

Figura 26 - Renderização da glicoproteína

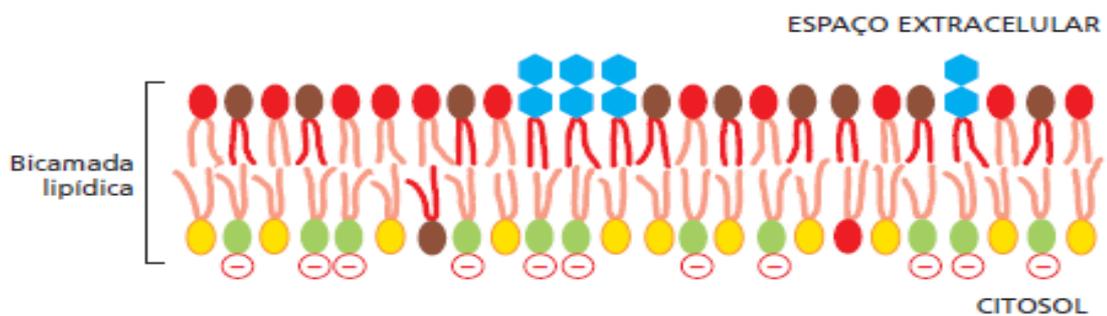


Fonte: autora, 2018.

f) Membrana Plasmática

Para a representação da membrana plasmática no ambiente virtual, levou-se em consideração a distribuição assimétrica dos fosfolipídeos e glicolipídeos na bicamada lipídica (figura 27), e optou-se por duas representações, uma em mosaico fluido e outra “didática”, demonstrando apenas uma camada de fosfolipídeos e destacando vários tipos de proteínas transmembrana, objetivando proporcionar um melhor entendimento e uma melhor interação no ambiente virtual.

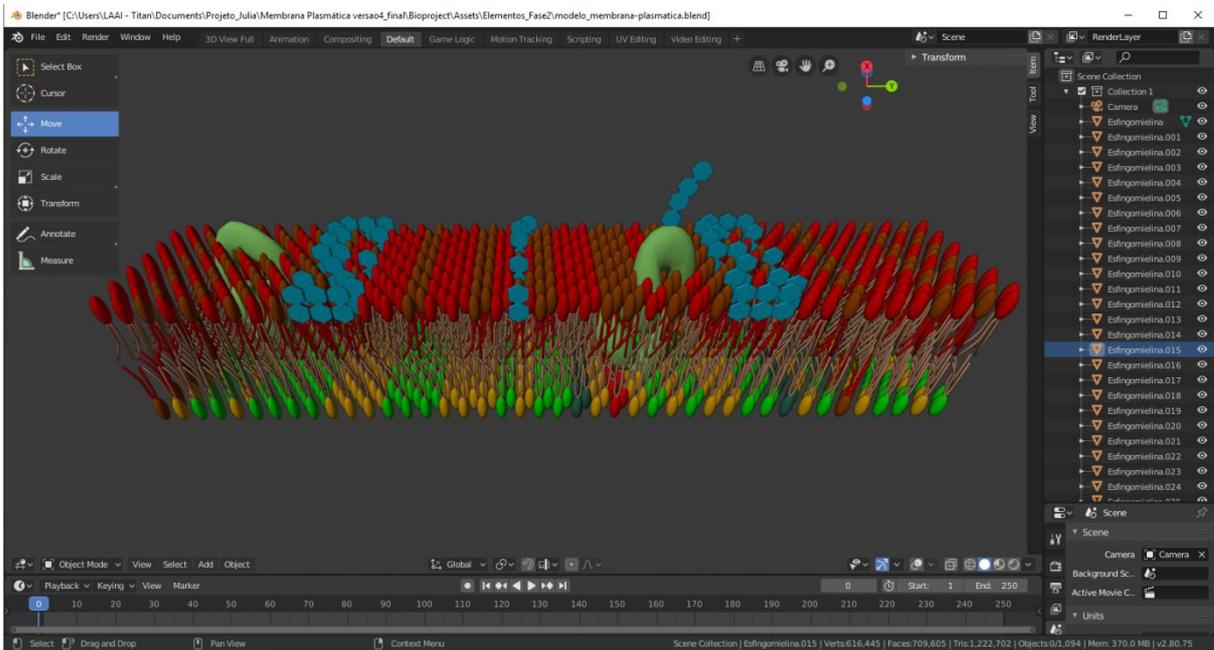
Figura 27 - Distribuição assimétrica dos fosfolipídeos e glicolipídeos na bicamada lipídica



Fonte: ALBERTS et al., 2017.

No processo de modelagem da membrana plasmática em mosaico fluido, foram duplicadas diversas vezes as camadas de fosfolipídios, modificando a posição do conjunto criado no eixo Z e levemente no eixo Y. Em seguida, foram inseridos os glicolipídeos, algumas proteínas transmembrana e o colesterol, constituindo-se, assim, a membrana plasmática (figura 28).

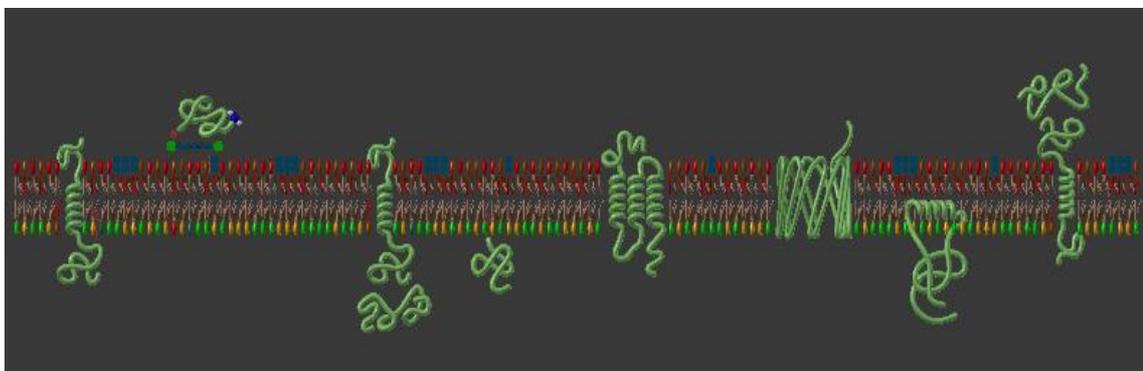
Figura 28 - Interface do Blender e modelagem da membrana plasmática mosaico fluido



Fonte: autora, 2018.

A figura 29 mostra o modelo “didático” da membrana plasmática. Para sua construção, utilizou-se a modelagem do símbolo dos fosfolipídeos e do colesterol; os glicolipídeos e diversos tipos de proteínas, sendo todos alinhados nos eixos X, Y e Z. Foi respeitada a assimetria dos fosfolipídeos, bem como as cores dos que ficam voltados para o ambiente externo e os que ficam voltados para o citosol (quadro 3). Foram deixados espaços suficientes na membrana para inserir os diversos tipos de proteínas criadas, havendo que remover as instâncias do colesterol onde a proteína estivesse inserida, visto que é isso que ocorre numa membrana plasmática real.

Figura 29 - Renderização da membrana plasmática didática



Fonte: autora, 2018.

g) Moléculas que Participam do Transporte através da Membrana

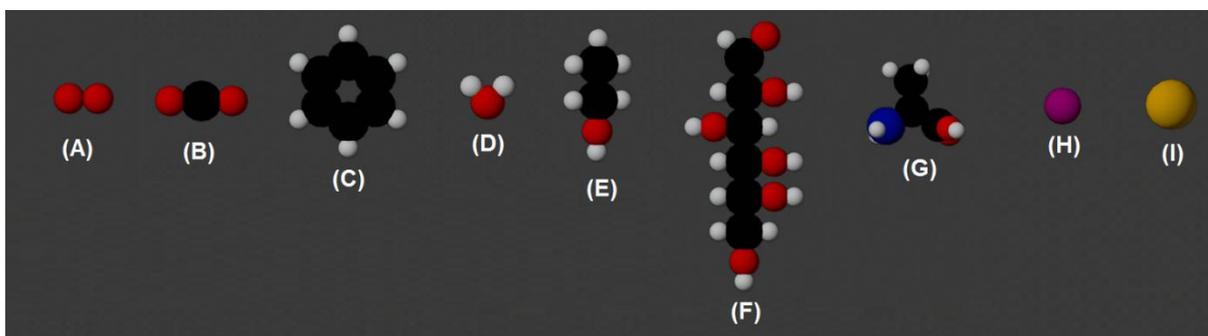
A composição interna da célula é mantida porque a membrana plasmática é seletiva e permeável para moléculas pequenas, ou seja, a maioria das moléculas biológicas é capaz de difundir-se através da bicamada lipídica, de maneira que a membrana plasmática forme uma barreira para bloquear a troca livre de moléculas entre o citoplasma e o meio externo da célula (COOPER; HAUSMAN, 2007).

Essa passagem de moléculas através da membrana plasmática determina os transportes, que podem ser passivo (difusão simples, difusão facilitada, canais iônicos) ou ativo (bomba de sódio e potássio). Esses transportes são simulados no ambiente virtual desenvolvido, portando, fez-se necessária a modelagem de algumas dessas moléculas.

Foram modelados os gases oxigênio (figura 30A) e carbônico (figura 30B); a molécula hidrofóbica, benzeno (figura 30C); as moléculas polares pequenas, água (figura 30D) e etanol (figura 30E); a molécula polar grande, glicose (figura 30F) e as moléculas carregadas: aminoácidos (figura 30G), íon sódio (Na^+) (figura 30H) e íon potássio (K^+) (figura 30I).

Na modelagem de todas essas moléculas, utilizaram-se esferas de cores e tamanhos diferentes, representando os átomos que as constituem. E para que adquirissem o formato desejado, foram aplicadas transformações nas esferas, de escala, rotação e translação. Os átomos que constituem as moléculas modeladas são carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, sódio e potássio, que foram representados pelas cores preta, branca, azul, vermelha, roxo e laranja, respectivamente.

Figura 30 - Renderização das moléculas biológicas que participam dos transportes através da membrana



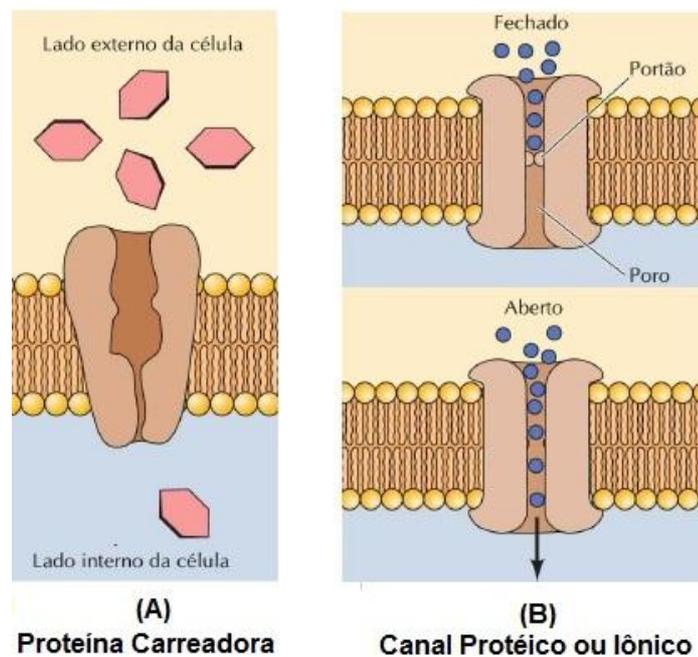
Fonte: autora, 2019.

h) Proteínas Carreadoras e Canais Iônicos que Permitem a Passagem de Moléculas

Os transportes de substâncias através da membrana plasmática podem ocorrer pela bicamada fosfolipídica ou mediada por proteínas carreadoras e canais iônicos, também

denominados de canais protéicos. As proteínas carreadoras ligam seletivamente e transportam pequenas moléculas específicas, como a glicose. Portanto, agem como enzimas para facilitar a passagem de moléculas específicas através da membrana. Ao se ligar a estas moléculas, sofrem mudanças conformativas que abrem os canais através dos quais a molécula a ser transportada pode cruzar a membrana e ser liberada do outro lado (figura 31A). Os canais iônicos formam poros abertos através da membrana, possibilitando a difusão livre de qualquer molécula com tamanho e carga apropriados. Os poros formados por esses canais protéicos não estão permanentemente abertos, podem ser seletivamente abertos ou fechados em respostas a sinais extracelulares, permitindo à célula controlar o movimento de íons através da membrana, figura 31B (COOPER; HAUSMAN, 2007).

Figura 31 - Proteína Carreadora e Canal Protéico/Iônico

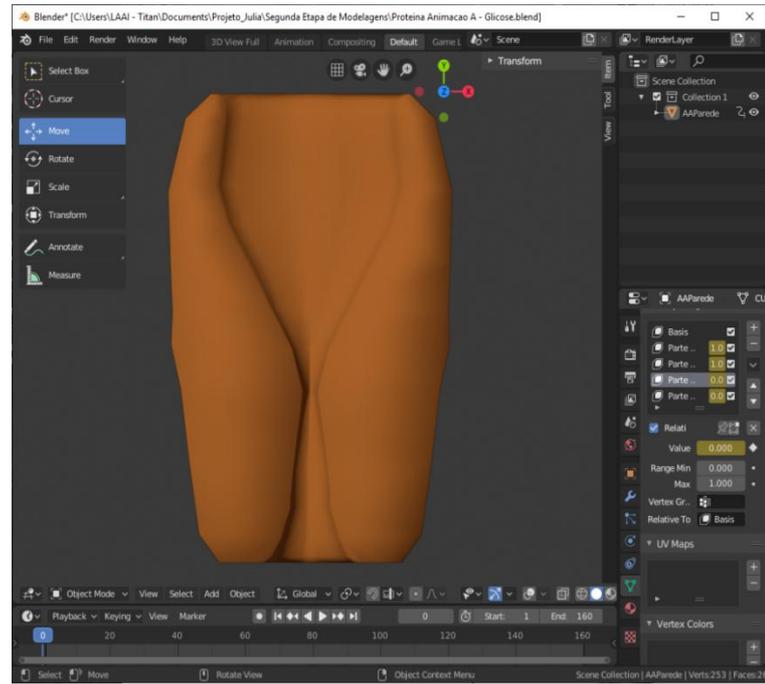


Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

Para simulação dos transportes através da membrana plasmática, fez-se necessário realizar a modelagem da proteína carreadora (figura 32) e dos canais iônicos (figura 33), que participam dos transportes passivos (figura 34) e ativos (figura 35), demonstrados no simulador.

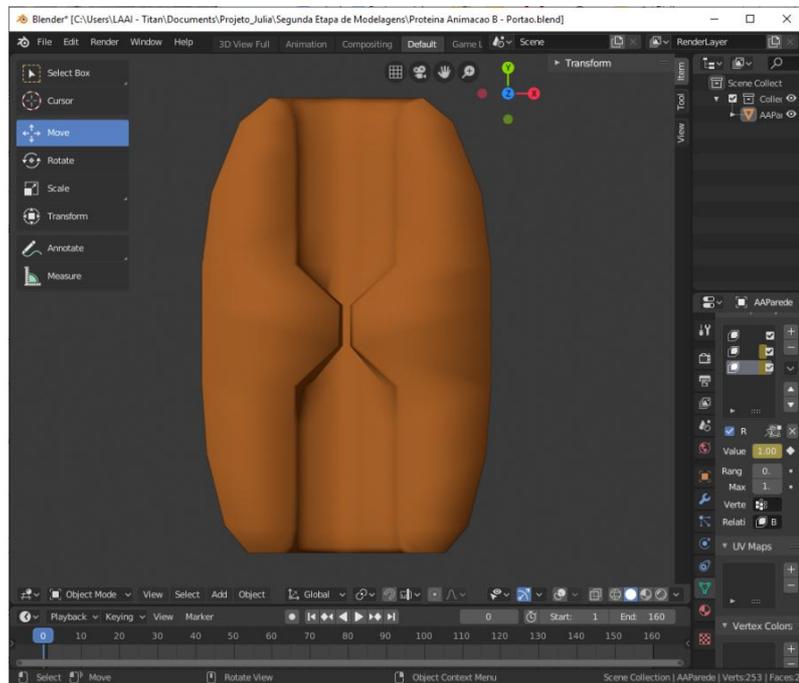
Por se tratar de um objeto complexo, as modelagens dessas estruturas seguiram o padrão da modelagem das proteínas, com a utilização do *Nurbs Circle*, que permite a modificação da modelagem para o formato que se deseja.

Figura 32 - Interface do Blender e modelagem da proteína carreadora



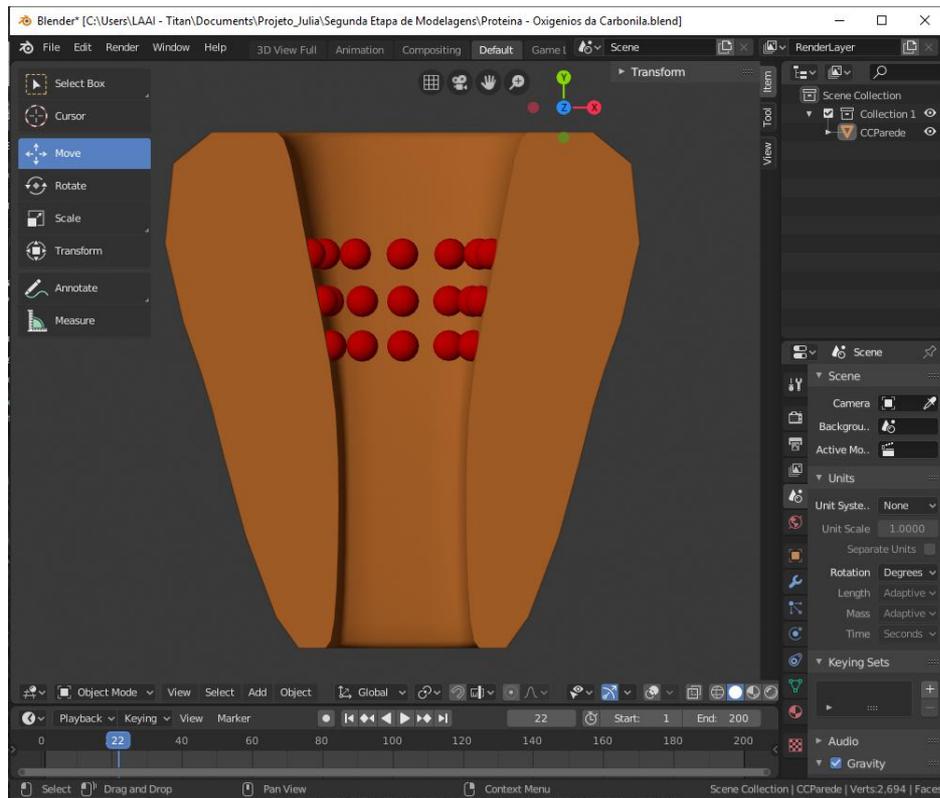
Fonte: autora, 2019.

Figura 33 - Interface do Blender e modelagem do canal iônico



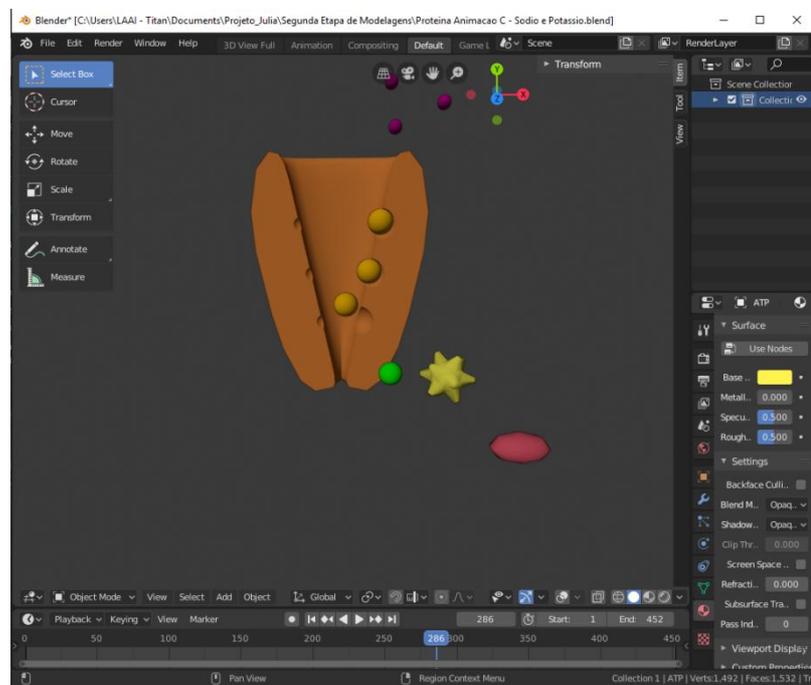
Fonte: autora, 2019.

Figura 34 - Interface do Blender e modelagem do canal iônico do potássio



Fonte: autora, 2019.

Figura 35 - Interface do Blender e modelagem da proteína que participa do transporte ativo

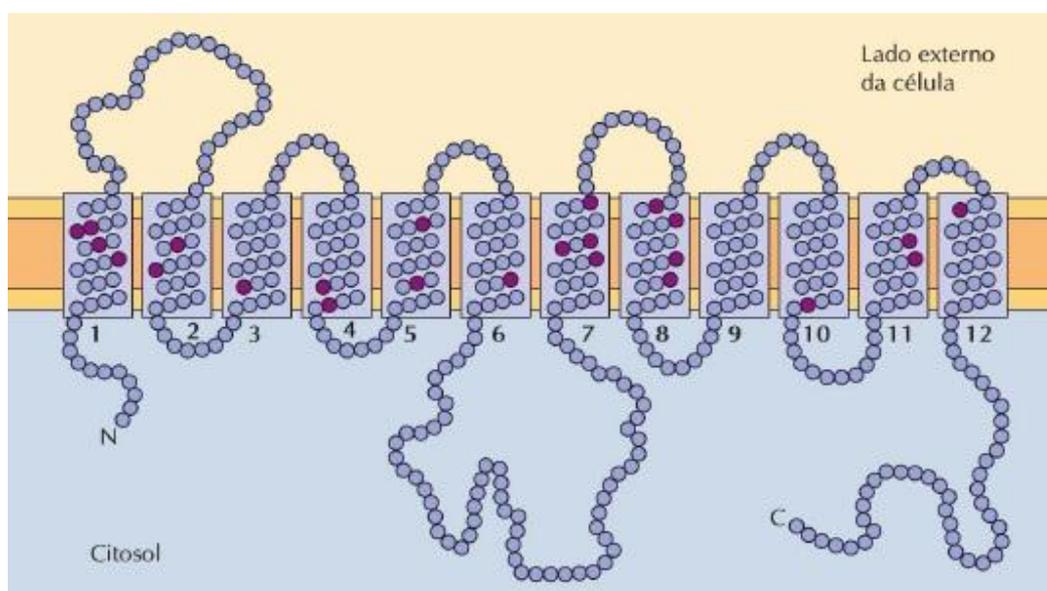


Fonte: autora, 2019.

i) Estrutura do Transportador de Glicose

Dentre os vários tipos de proteínas carreadoras existentes na espécie humana, o transportador de glicose foi o mais bem estudado. Inicialmente, este transportador foi identificado como uma proteína de 55 kD nos glóbulos vermelhos humanos, onde representa aproximadamente 5% do total das proteínas de membrana. Posteriormente, através do isolamento e análise sequencial de clones de cDNA¹², concluíram que o transportador de glicose é uma proteína transmembrana α -hélice, que ultrapassa a camada bilipídica doze vezes (figura 36).

Figura 36 - Estrutura do Transportador de Glicose



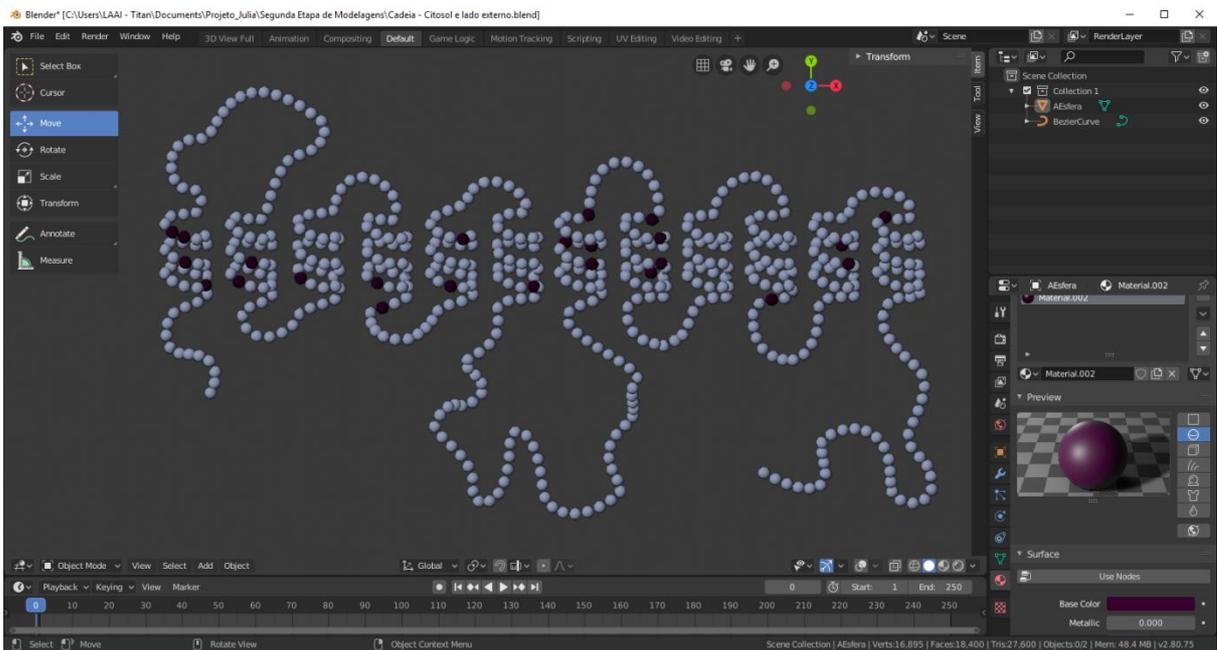
Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

Por se tratar de uma proteína carreadora importante para espécie humana, julgou-se necessário sua modelagem, para que o aluno compreendesse que os modelos de proteínas carreadoras e de canais iônicos presentes no simulador representam uma modelagem didática para compreensão de seu processo, e não necessariamente mostra sua estrutura química.

No processo de modelagem do transportador de glicose (figura 37), utilizou-se a curva de *Bezier*, que permite uma edição no formato desejado.

¹² É o DNA sintetizado a partir de uma molécula de RNA mensageiro, cujos íntrons já foram removidos, ou seja, o mRNA já passou pelo processo de *splicing*, sendo uma reação catalisada pela enzima transcriptase reversa.

Figura 37 - Interface do Blender e modelagem do Transportador de Glicose

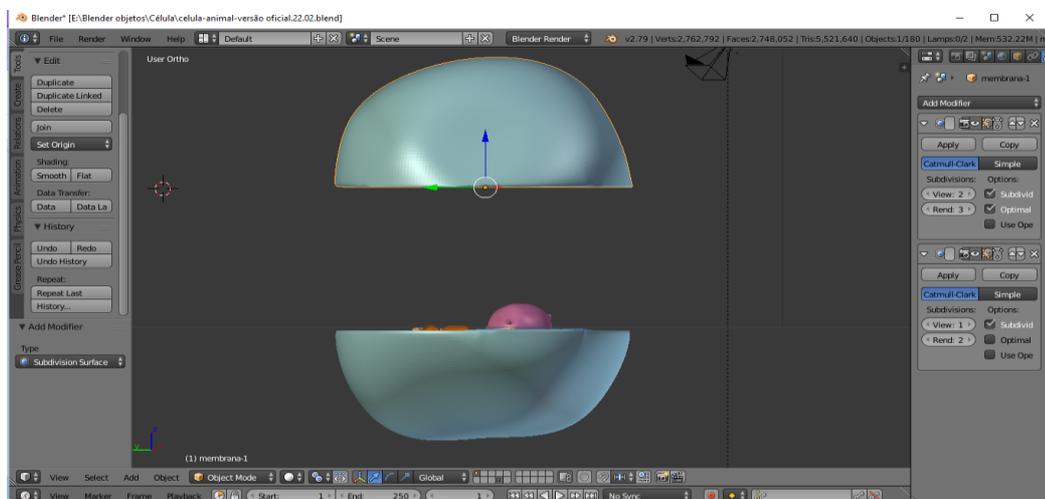


Fonte: autora, 2019.

j) Célula Animal

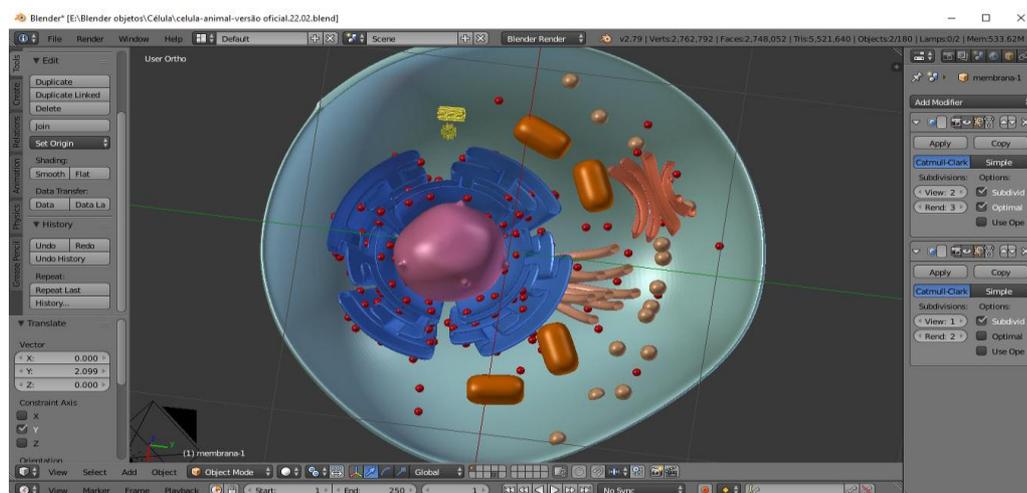
Após o desenvolvimento das estruturas que irão compor o simulador em ambiente de RV da membrana plasmática, julgou-se necessário que o usuário precisaria ter uma visão geral da célula e não apenas da membrana plasmática. Então, foi desenvolvida a modelagem de uma célula animal (figura 38), com suas principais organelas citoplasmáticas (figura 39), na qual o usuário pode interagir com todas as estruturas celulares e realizar a simulação dos transportes de substâncias através da membrana plasmática.

Figura 38 - Interface do Blender: Visualização externa da célula



Fonte: autora, 2019.

Figura 39 - Interface do Blender: Visualização interna da célula evidenciando as organelas citoplasmáticas



Fonte: autora, 2019.

Concluídas as modelagens das estruturas celulares, foi esclarecido para a equipe como ocorre os movimentos dos fosfolípídeos e os transportes de substâncias através da membrana plasmática a ser desenvolvidos no simulador, e direcionou-se para a etapa de integração ao ambiente de RV.

4.2 Integração ao Ambiente de RV

A essência da RV está na criação de mundos simulados, totalmente construídos pelo computador, com os quais o participante pode interagir de forma direta e em tempo real, descobrindo e aprendendo por meio de sensações provenientes essencialmente da visão, da audição e do tato.

Todos nós aprendemos, sobretudo, fazendo; é pela prática, pela experiência em primeira mão, que descobrimos a realidade e aprendemos a conhecê-la. Nesse sentido, a RV possui atributos e especificidades múltiplas, que, se forem utilizados corretamente na área da educação, representa um excelente instrumento de ensino aprendizagem, reunindo todos os elementos que uma eficiente didática exige: ensinar por meio dos sentidos; integrar a teoria com a prática; transformar o complexo no simples; transformar o abstrato no real. O que permite uma aprendizagem pela própria experiência, e pode tornar-se uma poderosa ferramenta de ensino para os professores de todas as áreas (CAMACHO, 1996).

A utilização de simuladores em RV é recomendada para conteúdos muitos formalizados e abstratos, pois as representações visuais favorecem a compreensão e aprendizagem. A utilização dos simuladores de RV na educação representa uma excelente ferramenta para facilitar a aprendizagem, pois permite que o aluno tenha uma profunda

interação com o conteúdo, manipulando e obtendo, com essa atividade, uma experiência ativa e enriquecedora que lhes permitirá de forma eficiente e duradoura compreender o conteúdo (EICHLER; PINO, 2006).

Após a modelagem de todas as estruturas necessárias para construção do ambiente virtual, essas foram importadas para o motor de desenvolvimento de jogos *Unity 3D*. Como os óculos de RV *HTC VIVE Oculus* (figura 40) utilizados no simulador não possuem um programa específico para manuseá-los e criar ambientes em RV, optou-se por utilizar o *Unity 3D* para integrar o *VIVE* ao ambiente desenvolvido. A imersão do aluno no ambiente virtual da membrana plasmática é realizada pela utilização do *HTC VIVE Oculus hardware*, constituído pelos óculos, controladores e estação base. Um completo equipamento de realidade virtual, que apresenta um complexo sistema de lentes e tecnologia; detectores com circulação interna e externa, que permite ao usuário uma experiência virtual real sem limites. Com 32 sensores instalados, permite uma visão, sem pontos cegos, e a tampa 360 permite a locomoção com total liberdade. Os óculos possuem correias ajustáveis (figura 40B); inserções intercambiáveis; câmera frontal (figura 40A); e ajustes de alívio dos olhos que proporcionam conforto ao usuário, pois os óculos se encaixam perfeitamente ao seu rosto (Vive s.d., VIVE™ | Sistema de Realidade Virtual 2018).

A estação base é responsável pela imersão da RV, que é feita pela captação do sinal emitido por uma fonte, que então é processado por uma caixa de controle e enviado ao computador, e, a partir de um ponto de referência inicial, mede as alterações na orientação e na posição do mecanismo onde o sensor se encontra instalado, isso permite a cobertura de rastreamento da área de reprodução de 360 graus, através de uma sincronização sem fio. A configuração dessas estações é bastante simples, necessita apenas de um cabo de força para executar. Cada um dos controladores possui vinte e quatro sensores que possibilitam que as ações dos usuários sejam sem fio e fielmente recriadas no mundo virtual onde está inserido, o que lhes permitem a interação (VIVE, 2018).

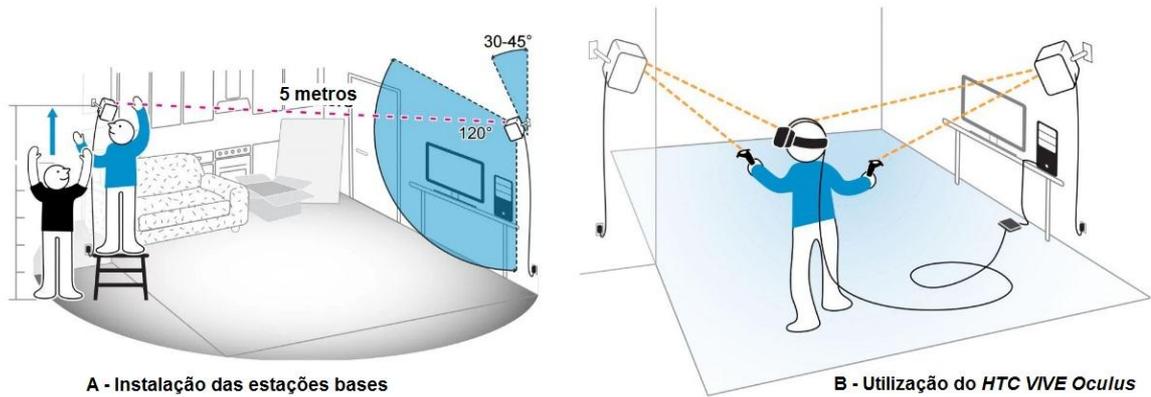
Figura 40 - HTC VIVE Oculus



Fonte: VIVE, 2018.

A instalação do *HTC VIVE Oculus* requer espaço, para que os óculos de RV funcionem da melhor maneira possível. Recomenda-se uma área aberta com, no mínimo, 1,5 metro de largura por 2 metros de altura. Os sensores que farão o reconhecimento do dispositivo no ambiente não podem ultrapassar os 5 metros de distância entre si, 2 metros de altura e devem estar angulados de 30 a 45 graus, enquanto perpendicular à parede, caso contrário, o aparelho não vai operar com fluidez (figura 41A). Além disso, o computador que funcionará em conjunto com o *headset* também estar num campo de visão de até 5 metros. As estações base não precisam estar conectadas ao *HTC VIVE* ou ao seu computador para trocar dados de forma ativa. O *headset* identifica pulsos invisíveis de luz emitidos pelas duas torres para determinar sua posição no local, para que o *HTC VIVE* reconheça o usuário e seus movimentos, todo o ambiente precisa estar limpo, ou seja, sem nenhum obstáculo por perto, figura 41B (VIVE, 2018).

Figura 41 - Instalação do HTC VIVE Oculus

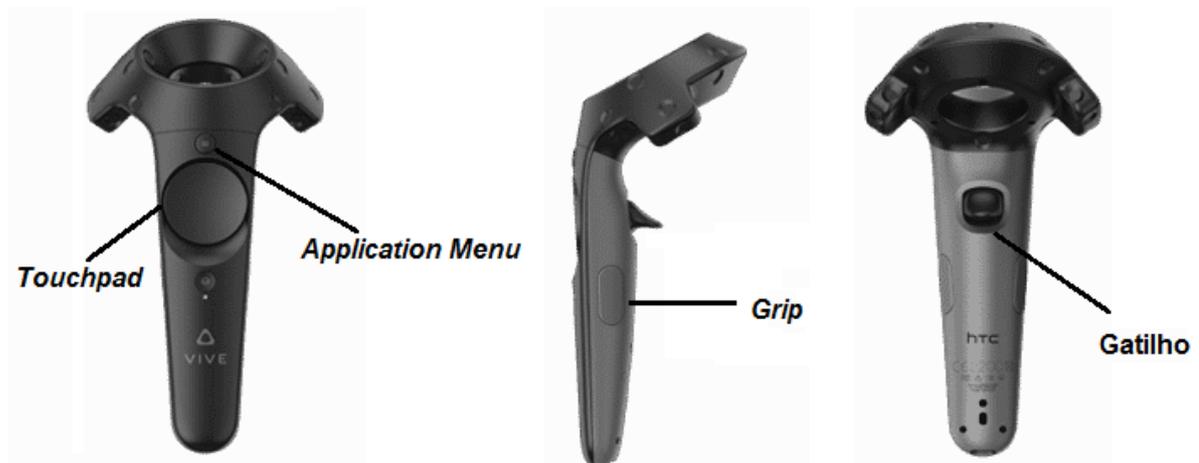


Fonte: VIVE, 2018.

O desenvolvimento do simulador foi iniciado após um processo de sensibilização e explanação da autora do trabalho à equipe de produção sobre a dinâmica dos movimentos dos fosfolípidos na membrana plasmática, e sobre como acontecem os transportes de moléculas pequenas através da membrana plasmática. O primeiro passo foi definir os comandos a serem determinados no controle, para a movimentação e interação do usuário no meio celular.

Definiu-se que o botão denominado “gatilho” seria utilizado para o usuário se movimentar no ambiente virtual, o botão *touchpad*, responsável pela seleção e manipulação das estruturas, e o botão *Grip* permitiria a mudança de visualização dos fosfolípidos e colesterol dentro do Museu da Membrana Plasmática; e a repetição dos processos nos ambientes que simulam os transportes de substâncias através da membrana plasmática (figura 42).

Figura 42 - Controles do HTC VIVE Oculus

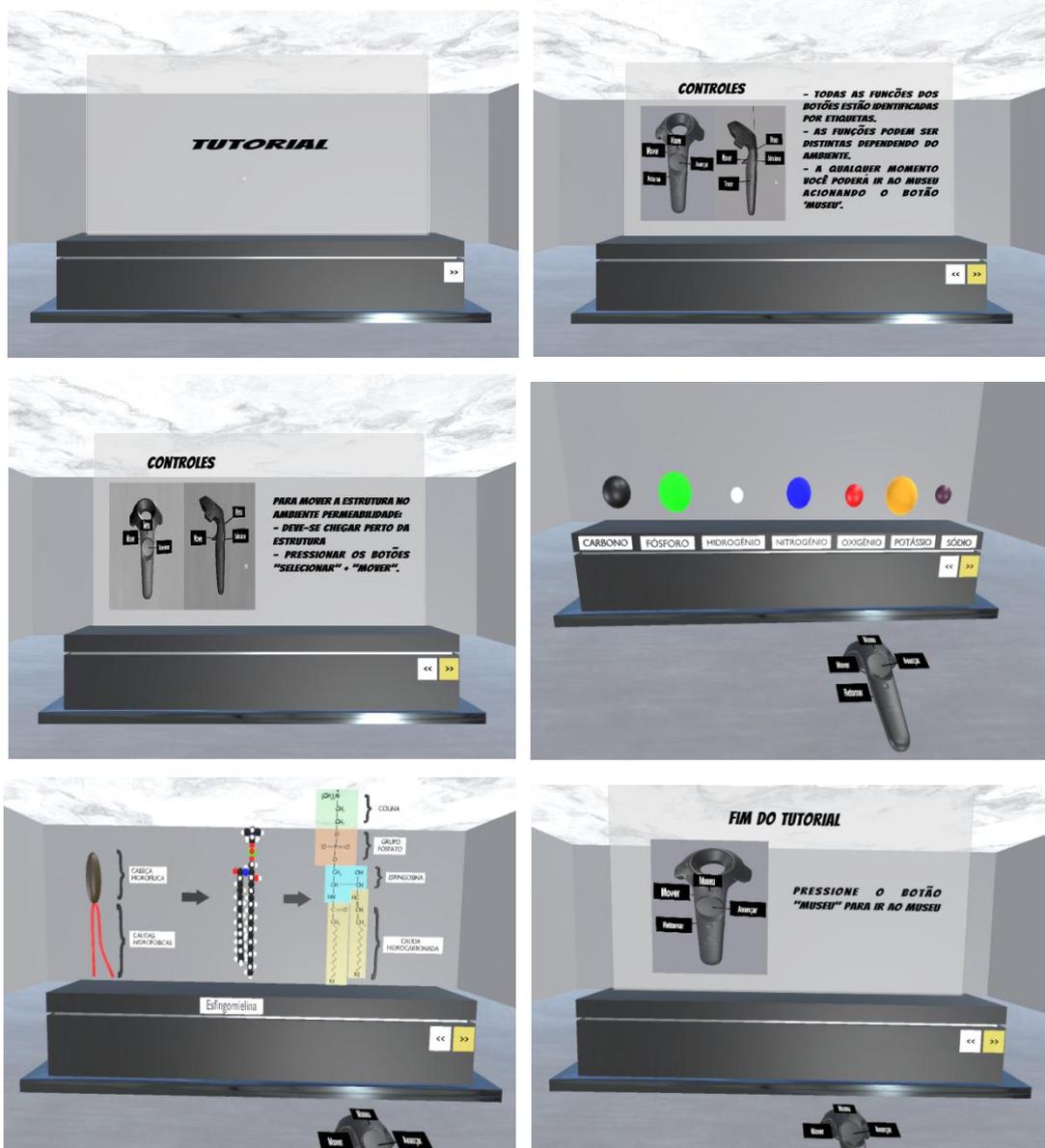


Fonte: VIVE, 2018.

Definiu-se que, durante a navegação, o usuário teria total liberdade para movimentar-se pelo meio celular e explorar suas estruturas. Em seguida, estabeleceu-se a posição da membrana plasmática e das moléculas que participam do transporte de substâncias através da membrana e programou-se como seriam suas interações. Também se estabeleceu comandos que permitem ao usuário participar dos transportes de substâncias através da membrana plasmática.

Julgou-se necessário a construção de um tutorial (figura 43), com legenda dos átomos e íons que compõem as estruturas presentes no simulador, para que o usuário se familiarize com o ambiente virtual.

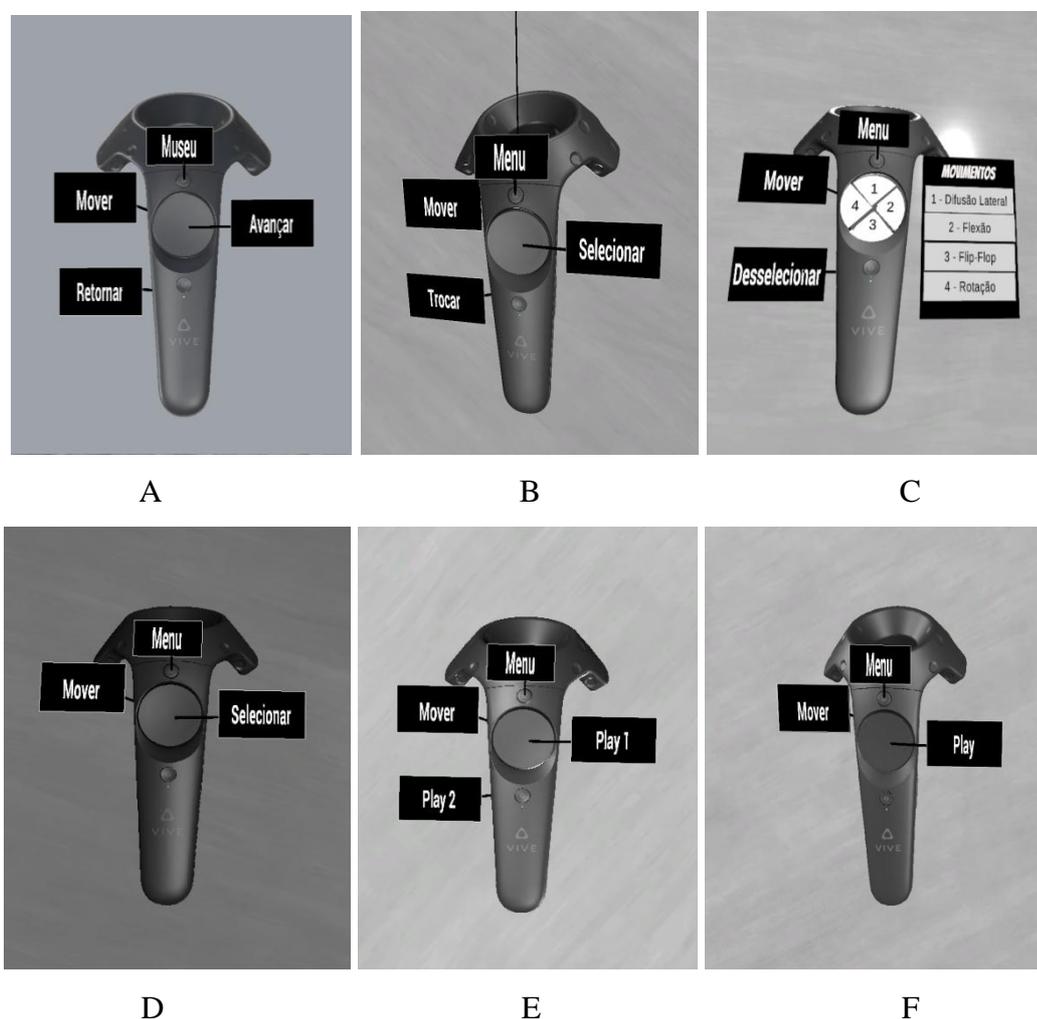
Figura 43 - Visualização do Tutorial no ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

Além disso, o tutorial explica ao usuário como funcionam os botões do controlador, afinal, eles são essenciais para que o usuário se sinta imerso no ambiente em RV e interaja com as estruturas presentes no ambiente. Portanto, é importante que o usuário compreenda seus comandos e aprenda a manuseá-los para que possíveis dificuldades durante a navegação sejam minimizadas. Alguns ambientes possuem comandos de interação diferenciados, então, para orientar o usuário, foram adicionados aos controles placas de identificação indicando a funcionalidade de cada botão de acordo com o ambiente virtual em que está inserido (figura 44).

Figura 44 - Visualização dos comandos nos controladores de cada ambiente de RV



(A) controle do tutorial; (B) controle do museu; (C) controle dos movimentos dos fosfolipídeos; (D) controle difusão simples; (E) controle das cenas: difusão facilitada, canal iônico, canal de Na^+ , canal de K^+ , e transporte ativo; (F) controle do transporte de moléculas pequenas.

Fonte: autora, 2019.

Ao entrar no ambiente virtual, o usuário pouco sabe sobre esse mundo, mas em pouco tempo percebe que esse ambiente responde às suas ações, apresenta novas perspectivas

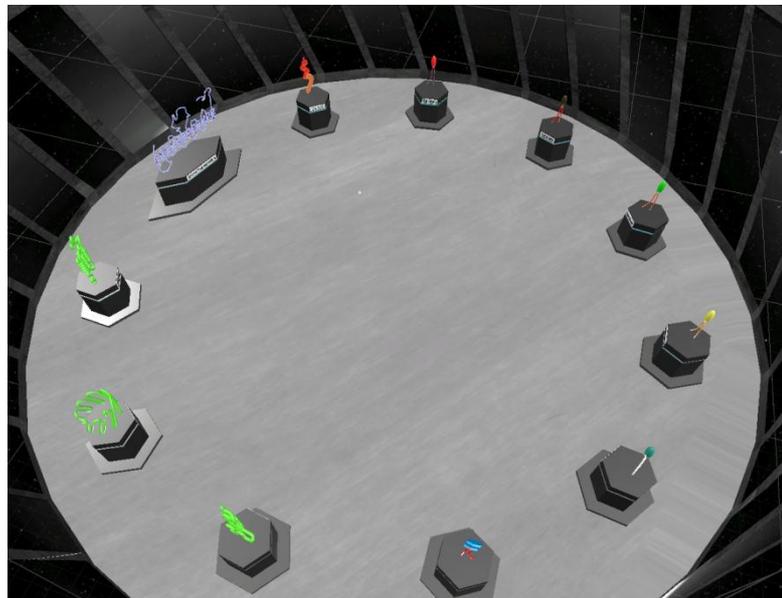
visuais quando se movimenta, respondendo em tempo real às suas ações. Para que essa experiência do aluno no ambiente virtual seja eficaz, é interessante que ele tenha um comportamento natural e intuitivo, facilitando a navegação e a interação com o ambiente.

a) Museu da Membrana Plasmática

Assim que se encerram as orientações do tutorial, o usuário é imerso no Museu da Membrana Plasmática (figura 45), que tem por objetivo evidenciar as estruturas que constituem a membrana celular, permitindo ao usuário observar as estruturas moleculares tridimensionais. Imerso nesse ambiente, o usuário poderá visualizar a proteína α hélice simples; a proteína α hélice múltipla; a proteína folha β ; o transportador de glicose; o glicolípido; o colesterol e os fosfolípídeos, todos apresentados separadamente, em pedestais.

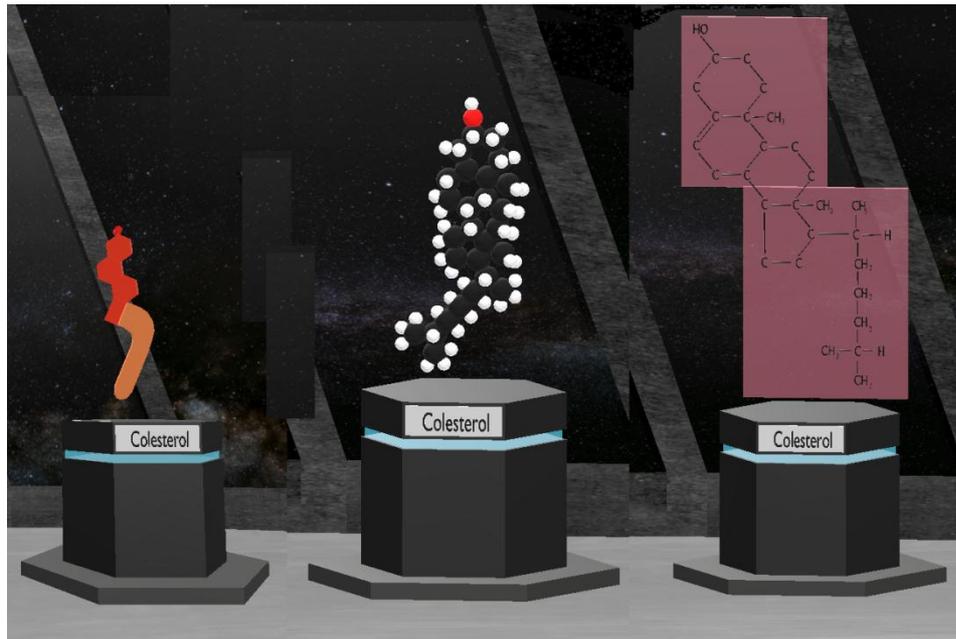
O colesterol (figura 46) e os fosfolípídeos (figura 47) são apresentados em três aspectos diferentes, o símbolo, a fórmula química estrutural e a fórmula química espacial, modelos que são comumente apresentados nos livros didáticos de Biologia Celular. Ao entrar no Museu, o usuário visualizará o símbolo dos referidos compostos moleculares, para conseguir visualizar os demais modelos é necessário que pressione o botão *grip* do controle (figura 42).

Figura 45 - Visualização do Museu da Membrana Plasmática no ambiente de RV



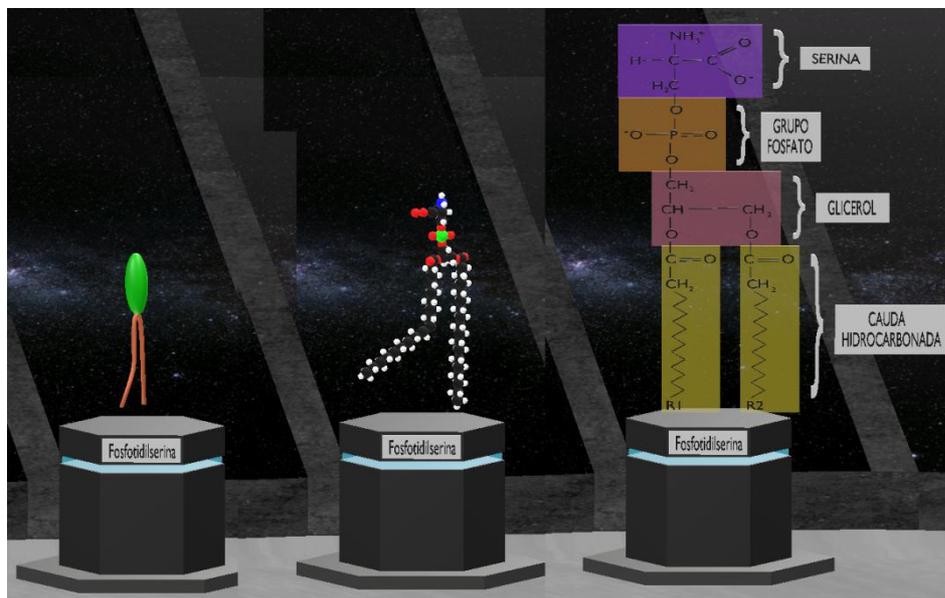
Fonte: autora, 2019.

Figura 46 - Visualização do Colesterol no Museu da Membrana Plasmática no ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

Figura 47 - Visualização do Fosfolípídeo (fosfatidilserina) no Museu da Membrana Plasmática no ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

O Museu da Membrana Plasmática é o primeiro ambiente virtual do simulador, além de visualizar as estruturas, o usuário tem acesso a um *menu* (figura 48) que permite sua passagem para vários outros mundos virtuais, que representam diferentes ambientes de aprendizagem. Essa passagem ocorre quando o usuário seleciona, através do botão *touchpad* do controle (figura 42), o ambiente que deseja explorar. Conforme pode ser observado na

figura 48, o simulador é composto por oito ambientes virtuais. Ao selecionar qualquer um deles, o usuário estará imerso no ambiente celular, estabelecendo uma relação de interatividade com a membrana plasmática, e na simulação tem a capacidade de agir sobre os transportes de substâncias através da membrana plasmática e visualizá-los sobre diferentes perspectivas.

A seguir, será detalhado o que ocorre em cada um desses ambientes.

Figura 48 - Menu principal do simulador em ambiente de RV

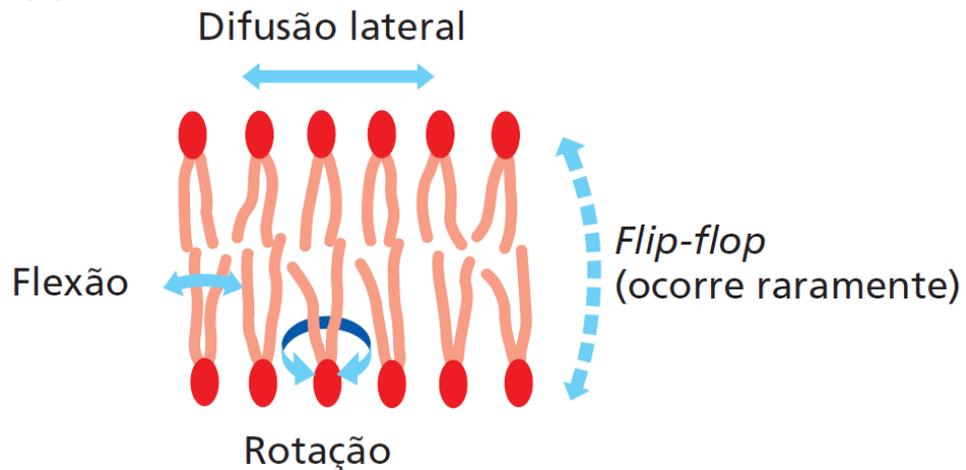


Fonte: autora, 2019.

b) Simulador dos Movimentos dos Fosfolípeos

A membrana plasmática não é uma estrutura rígida e estática, pelo contrário, os fosfolípeos estão em constante movimento lateral (movimento de difusão lateral), proporcionando uma fluidez à membrana. Também podem girar em torno do seu próprio eixo (movimento de rotação) e apresentar movimentos de flexão por causa das cadeias de hidrocarbonetos. E muito raramente realiza o movimento de *flip-flop*, que é quando migra de uma monocamada para outra, esse movimento é raro porque exige que a porção polar da molécula deixe de interagir favoravelmente com a água e atravesse o centro hidrofóbico da bicamada, um processo muito endergônico (NELSON; COX, 2019). Todos os movimentos citados estão representados na figura 49.

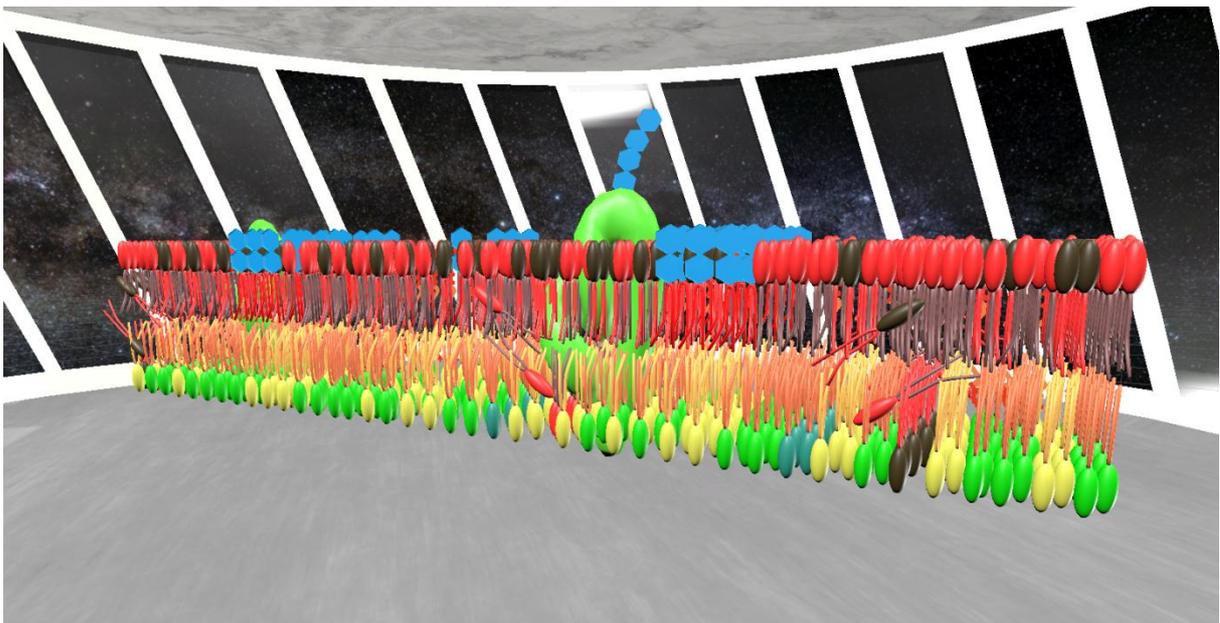
Figura 49 - As diferentes movimentações dos fosfolipídeos na membrana plasmática



Fonte: ALBERTS et al., 2017.

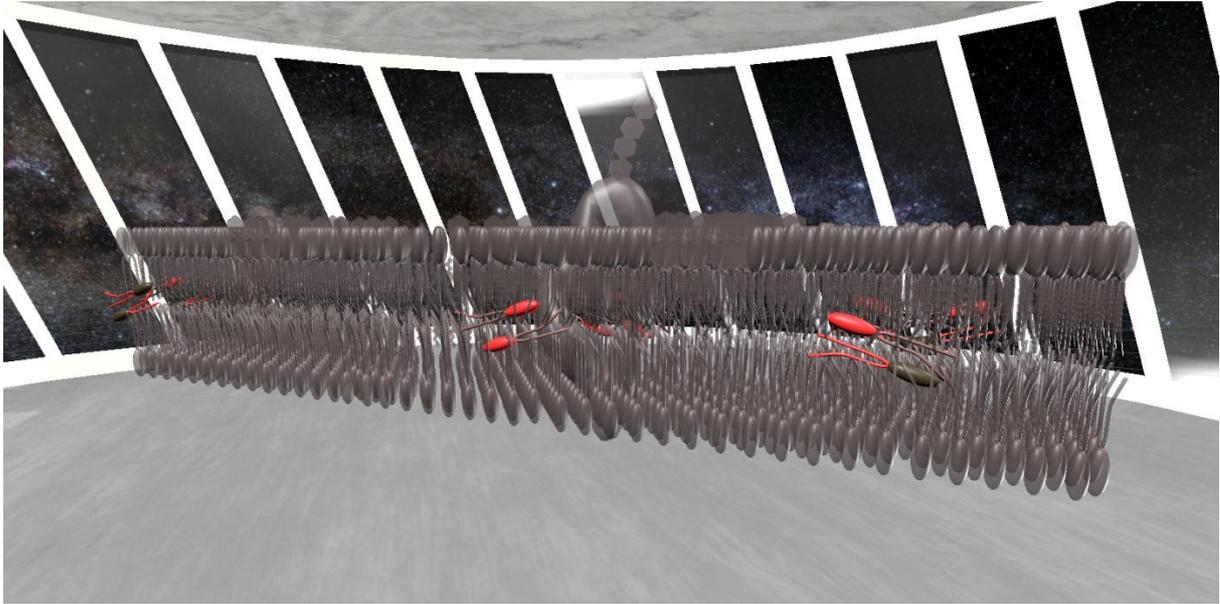
Na primeira versão do simulador, esses movimentos ficaram difíceis de serem identificados pelos usuários, pois, como ocorrem simultaneamente no ambiente virtual, o usuário tinha dificuldade de diferenciar cada um deles (figura 50). Então, modificou-se a forma de visualização, através de comandos no controle (figura 44C), que permite ao usuário selecionar o movimento que deseja visualizar. Feito isso, os fosfolipídeos que estão realizando movimento distinto do que fora selecionado, adquirem uma cor neutra, destacando, assim, os fosfolipídeos que estão realizando o movimento selecionado (figura 51).

Figura 50 - Movimentos dos Fosfolipídeos do simulador em ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

Figura 51 - Destaque do Movimento dos Fosfolipídeos selecionado (flip-flop) no simulador em ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

c) Transporte de Pequenas Moléculas através da Membrana Plasmática

Devido ao seu interior hidrofóbico, a bicamada lipídica das membranas celulares serve como uma barreira à passagem da maioria das moléculas polares. Isso permite que a célula mantenha concentrações de solutos no citosol diferentes daquelas que estão no líquido extracelular e em cada um dos compartimentos intracelulares delimitados por membranas. No entanto, para fazer uso dessa barreira, as células desenvolveram meios para transferir moléculas hidrossolúveis específicas e íons através das suas membranas, afinal, a célula é uma unidade viva que precisa ingerir nutrientes essenciais, excretar produtos metabólicos tóxicos e regular concentrações intracelulares de íons (ALBERTS et al., 2017).

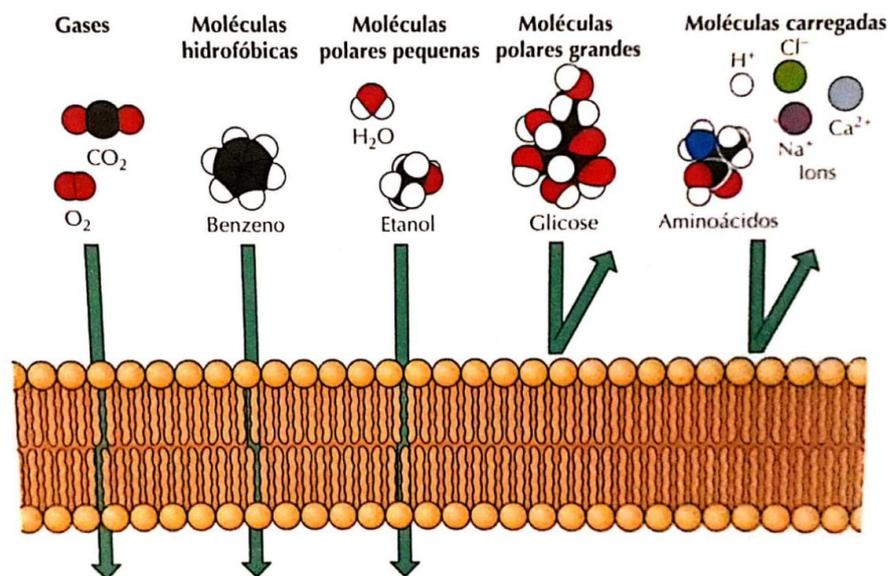
Uma das funções da membrana plasmática é selecionar as moléculas que precisam entrar e/ou sair da célula. Esse transporte pela membrana não é algo simples e em algumas situações é necessário gasto de energia durante o processo. Sendo então, classificados em transporte passivo, quando não envolve gasto de energia e o movimento das moléculas se dá do meio mais concentrado para o menos concentrado; e no transporte ativo o movimento das moléculas é contra gradiente de concentração, ou seja, desloca-se do meio menos concentrado para o meio mais concentrado, e, para que esse deslocamento seja possível, há gasto de energia.

Desenvolveram-se, então, ambientes virtuais simulando o tráfego dessas pequenas moléculas tanto através da bicamada fosfolipídica quanto pelo auxílio das proteínas transmembrana que medeiam esse transporte, que serão detalhados a seguir:

SIMULADOR DA DIFUSÃO SIMPLES

A difusão simples ou difusão passiva ocorre quando as moléculas pequenas e relativamente hidrofóbicas (gás oxigênio, gás carbônico, benzeno, água, etanol) atravessam a membrana plasmática, através da bicamada fosfolipídica, dissolvendo-se na solução aquosa no outro lado da membrana. Moléculas polares grandes não-carregadas, como a glicose e moléculas carregadas (íons), são incapazes de ultrapassar a membrana plasmática por difusão simples (figura 52). Na difusão simples não há participação de nenhuma proteína, assim como nenhuma fonte externa de energia está envolvida e a direção do transporte é determinada pela concentração relativa da molécula do lado de dentro e do lado de fora da célula, pois seu fluxo é sempre na direção do gradiente de concentração, sendo do compartimento de maior concentração para o de menor concentração da molécula, tendendo a promover o equilíbrio entre o lado interno e o lado externo da célula (COOPER; HAUSMAN, 2007).

Figura 52 - Permeabilidade da bicamada fosfolipídica



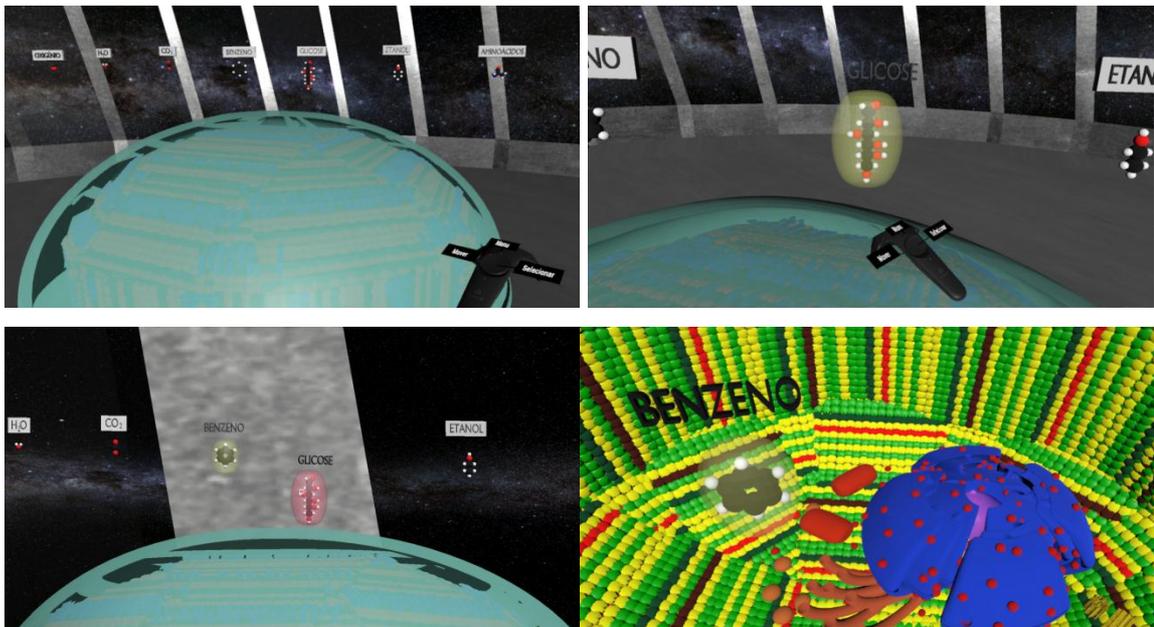
Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

No simulador da difusão simples, o usuário terá uma visão do meio externo com a presença de uma célula e, próximo a ela, se encontram as moléculas de água, etanol, benzeno, glicose, aminoácido, gás oxigênio e gás carbônico.

O usuário precisará executar a difusão simples e, para isso, precisa escolher uma das moléculas presentes no meio, aproximar-se dela o suficiente para que fique envolvida por uma coloração amarela e então selecionará a molécula, pressionando o botão *touchpad* do controlador (figura 42). Assim, pode se locomover em direção à célula, pressionando o gatilho do controlador. Caso tenha selecionado uma molécula (água, etanol, benzeno, gás

oxigênio e gás carbônico) capaz de dissolver-se na bicamada fosfolipídica, esta entrará na célula juntamente com o usuário. Por outro lado, se o usuário selecionar uma molécula grande (glicose, aminoácido) incapaz de ultrapassar a célula pela bicamada fosfolipídica, esta será envolvida por uma coloração vermelha e se distanciará da célula (figura 53).

Figura 53 - Destaque da Difusão Simples no simulador em ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

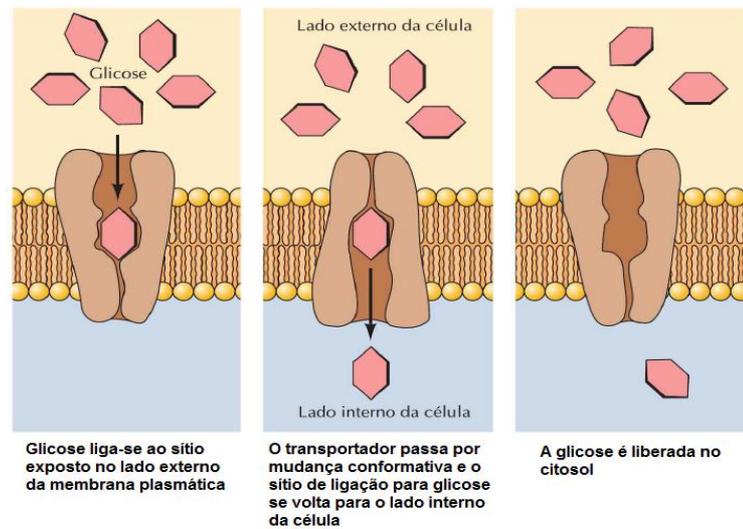
SIMULADOR DA DIFUSÃO FACILITADA

A difusão facilitada, assim como a difusão passiva, ocorre pelo envolvimento de moléculas em uma direção determinada pelas concentrações relativas do lado de dentro e de fora da célula, não havendo participação de fonte de energia.

O que a diferencia da difusão simples é o fato de que as moléculas transportadas não se dissolvem na bicamada fosfolipídica. Sua passagem é mediada por proteínas que permitem o transporte de moléculas através da membrana sem que haja interação direta com seu interior hidrofóbico (figura 54). Por isso, nesse tipo de transporte é possível a passagem de moléculas polares e carregadas através da membrana plasmática, como carboidratos, aminoácidos, nucleosídeos e íons.

As proteínas que participam da difusão facilitada são as proteínas carreadoras e os canais iônicos. Sendo as proteínas carreadoras as responsáveis pela passagem de açúcares, aminoácidos e nucleosídeos através da membrana plasmática. (COOPER; HAUSMAN, 2007).

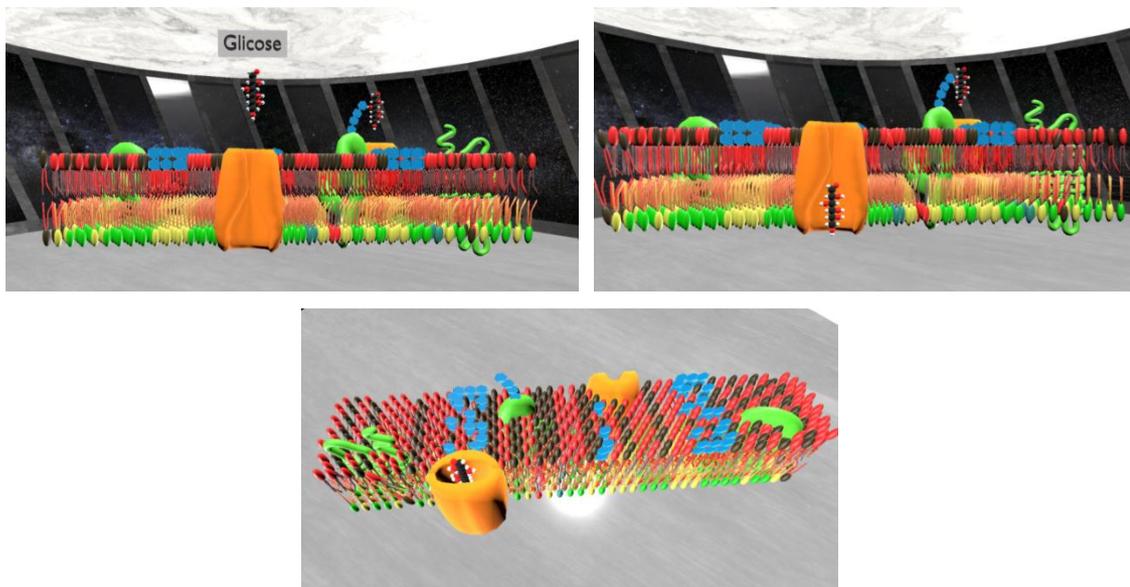
Figura 54 - Modelo para a difusão facilitada da glicose



Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

Uma proteína carreadora transportando glicose foi representada no simulador da difusão facilitada (figura 55). Quando o usuário estiver imerso no ambiente, para visualizar o transporte, precisará pressionar o botão *touchpad* do controlador (figura 42), assim, poderá visualizar a passagem da glicose através da proteína carreadora, o mesmo processo se repetirá ao pressionar novamente o botão *touchpad* do controlador (figura 42). Caso deseje visualizar a passagem da glicose através da proteína carreadora localizada do outro lado do ambiente, é só pressionar o botão *grip* do controlador (figura 42), o processo se repetirá ao pressionar novamente o botão *grip* do controlador (figura 42).

Figura 55 - Destaque da Difusão Simples Facilitada no simulador em ambiente de RV



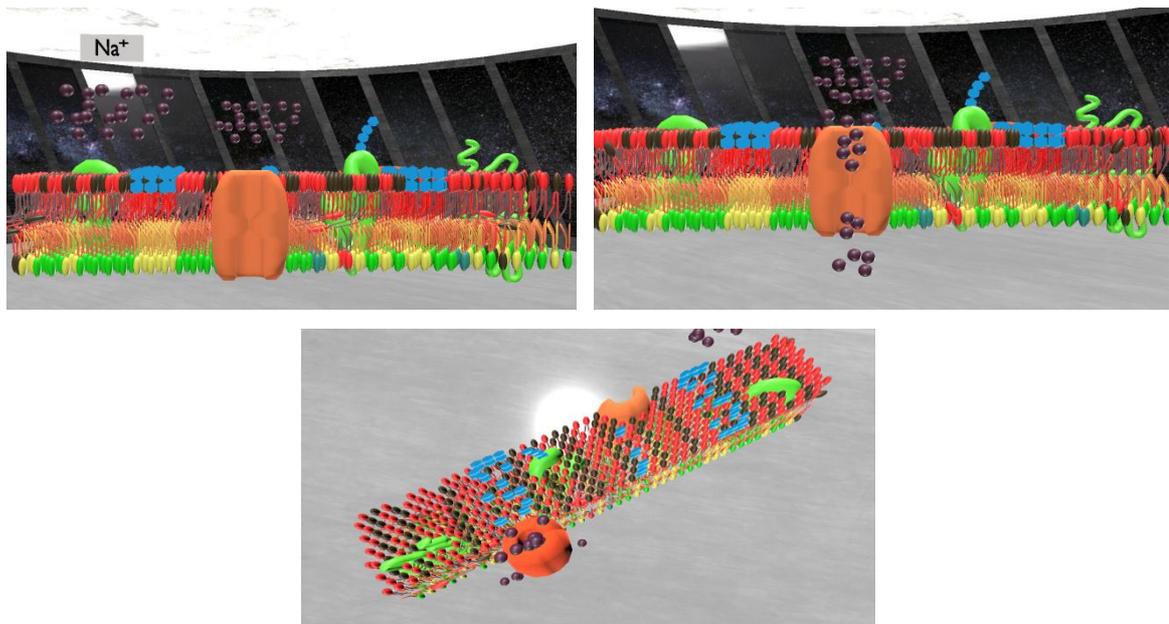
Fonte: autora, 2019.

SIMULADOR DO CANAL IÔNICO

Os canais iônicos estão presentes nas membranas de todas as células e intermedeiam a passagem de íons através da membrana plasmática. Esse transporte é extremamente rápido, com a travessia de mais de um milhão de íons por segundo nos canais iônicos abertos, o que corresponde a uma taxa de fluxo aproximadamente mil vezes maior do que a taxa transportadora por proteínas carreadoras. Esses canais são altamente seletivos, seus poros estreitos restringem a passagem de íons com tamanho e carga apropriados, bem como permitem a passagem de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Cl^- através da membrana. Esses canais não ficam permanentemente abertos, sua abertura e fechamento são regulados por estímulos específicos, conforme pode ser observado na figura 31B, na página 73 deste trabalho (COOPER; HAUSMAN, 2007).

No simulador do canal iônico (figura 56), foi representada a passagem do íon sódio (Na^+) pelo canal iônico. Para que o transporte ocorra, uma vez imerso no ambiente, o usuário pode apertar o botão *touchpad* do controlador (figura 42) para visualizar a passagem dos íons através do canal, o mesmo processo se repetirá ao pressionar novamente o botão *touchpad* do controlador (figura 42). Caso deseje visualizar o transporte através do canal iônico localizado do outro lado do ambiente, é só pressionar o botão *grip* do controlador (figura 42), o processo se repetirá ao pressionar novamente o botão *grip* do controlador (figura 42).

Figura 56 - Destaque do canal iônico no simulador em ambiente de RV



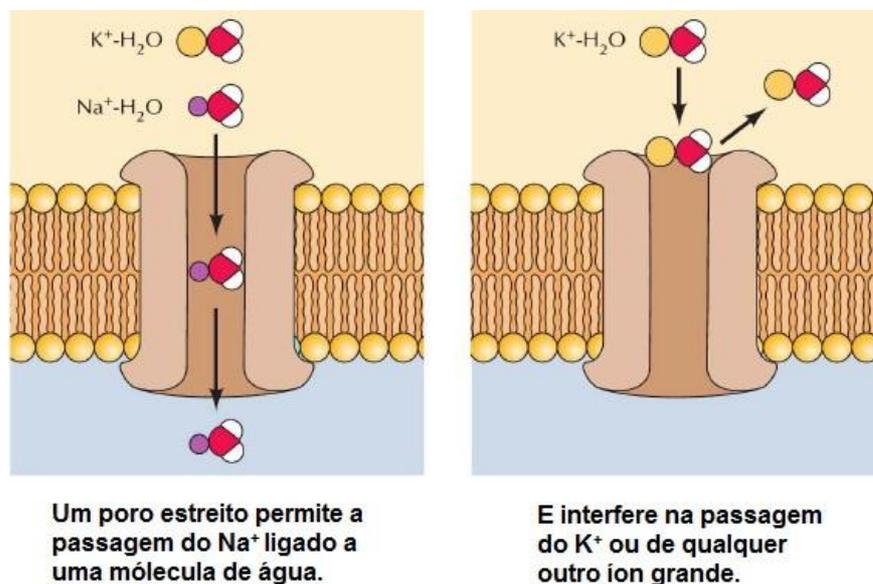
Fonte: autora, 2019.

O maior índice de seletividade de íons é conferido aos canais de Na^+ e K^+ , portanto, julgou-se importante simular esses canais para que o usuário consiga diferenciar o processo.

➤ **SIMULADOR DO CANAL DO ÍON SÓDIO (Na^+)**

A seletividade do canal de sódio deve-se ao fato do poro do canal ser muito estreito, funcionando como um filtro por tamanho (figura 57). O raio do íon sódio é $0,95\text{Å}$ menor do que o do íon potássio $1,33\text{Å}$. O poro do canal de Na^+ é estreito o suficiente para impedir a passagem de K^+ ou qualquer outro íon maior (COOPER; HAUSMAN, 2007).

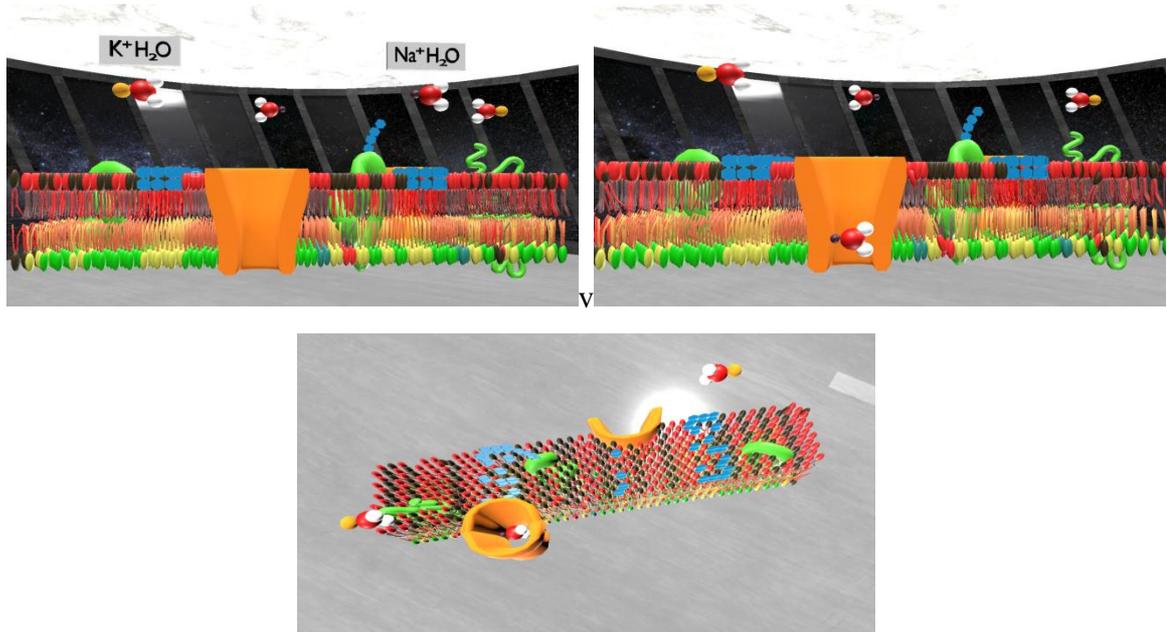
Figura 57 - Seletividade de íons dos canais de Na^+



Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

No simulador do canal do íon sódio (figura 58), foi representada a passagem do íon sódio (Na^+) pelo canal iônico e a tentativa de passagem do íon K^+ , que é repelido pelo canal por ser grande demais. Para que o transporte ocorra, uma vez imerso no ambiente, o usuário apertará o botão *touchpad* do controlador (figura 42), assim, poderá visualizar a passagem do íon sódio através do canal e o íon potássio sendo repelido, caso deseje que o processo se repita, é só pressionar o botão *grip* do controlador (figura 42).

Figura 58 - Destaque do canal iônico Na^+ no simulador em ambiente de RV

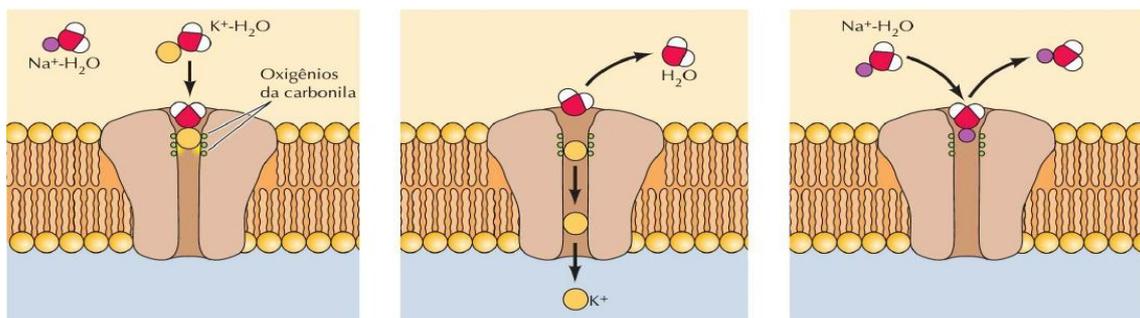


Fonte: autora, 2019.

➤ SIMULADOR DO CANAL DO ÍON POTÁSSIO (K^+)

Os canais de potássio também possuem poros estreitos, que previnem a passagem de íons maiores, mas tanto o Na^+ e outros raios menores não sofrem ação da permeabilidade seletiva por esses canais de K^+ . Isso porque este canal apresenta um filtro seletivo, pois é circundado internamente por átomos de oxigênio da carbonila ($\text{C} = \text{O}$) da cadeia do polipeptídeo. O íon de K^+ , ao entrar em contato com esse filtro seletivo, interage com o oxigênio da carbonila e desloca a molécula de água que estava ligada ao K^+ , assim o íon de potássio desidratado consegue ultrapassar o poro. Todavia, o Na^+ é muito pequeno e não consegue interagir com o oxigênio da carbonila do filtro seletivo, logo permanece ligado à molécula de água e não consegue ultrapassar o canal, como pode ser observado na figura 59 (COOPER; HAUSMAN, 2007).

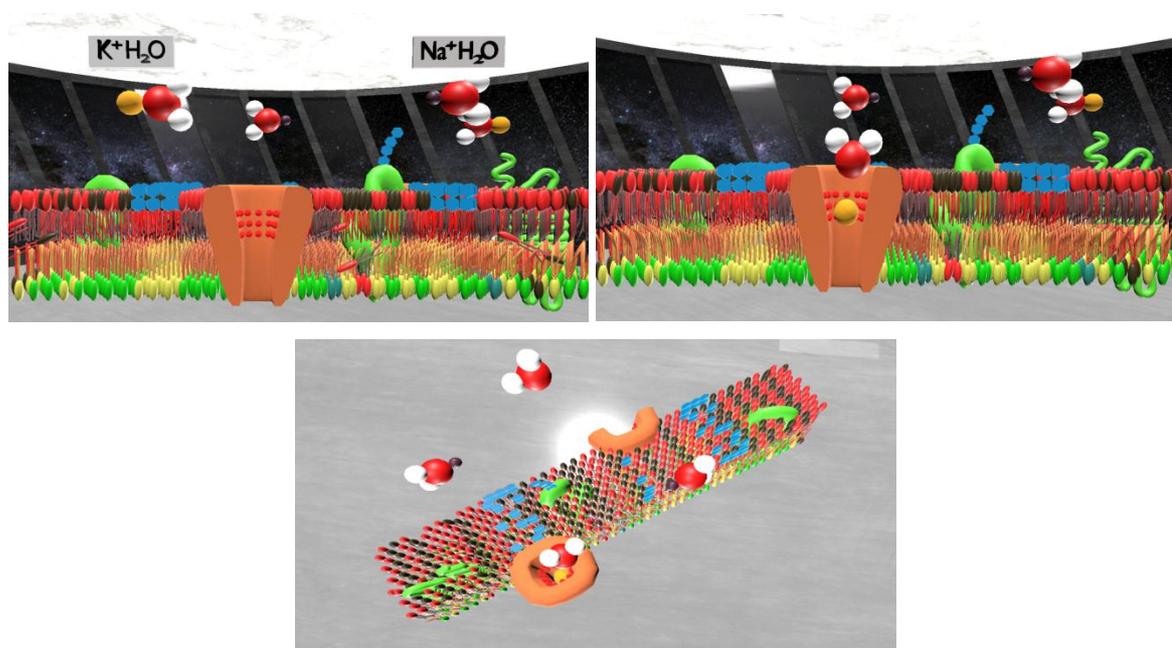
Figura 59 - Seletividade de íons dos canais de K^+



Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

No simulador do canal iônico de K^+ (figura 60), é possível observar o íon de potássio ligado à água, aproximando-se do canal iônico. Em seguida, libera a molécula de água, devido a sua interação com o oxigênio da carbonila, e ultrapassa o poro, atingindo o interior da célula. Já o íon sódio, mesmo combinado com uma molécula de água, ao se aproximar do canal iônico, é repelido. Para que o transporte ocorra, uma vez imerso no ambiente, o usuário apertará o botão *touchpad* do controlador (figura 42), assim, poderá visualizar a passagem dos íons através do canal, caso deseje que o processo se repita, é só pressionar o botão *grip* do controlador (figura 42).

Figura 60 - Destaque do canal iônico K^+ no simulador em ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

SIMULADOR DO TRANSPORTE ATIVO

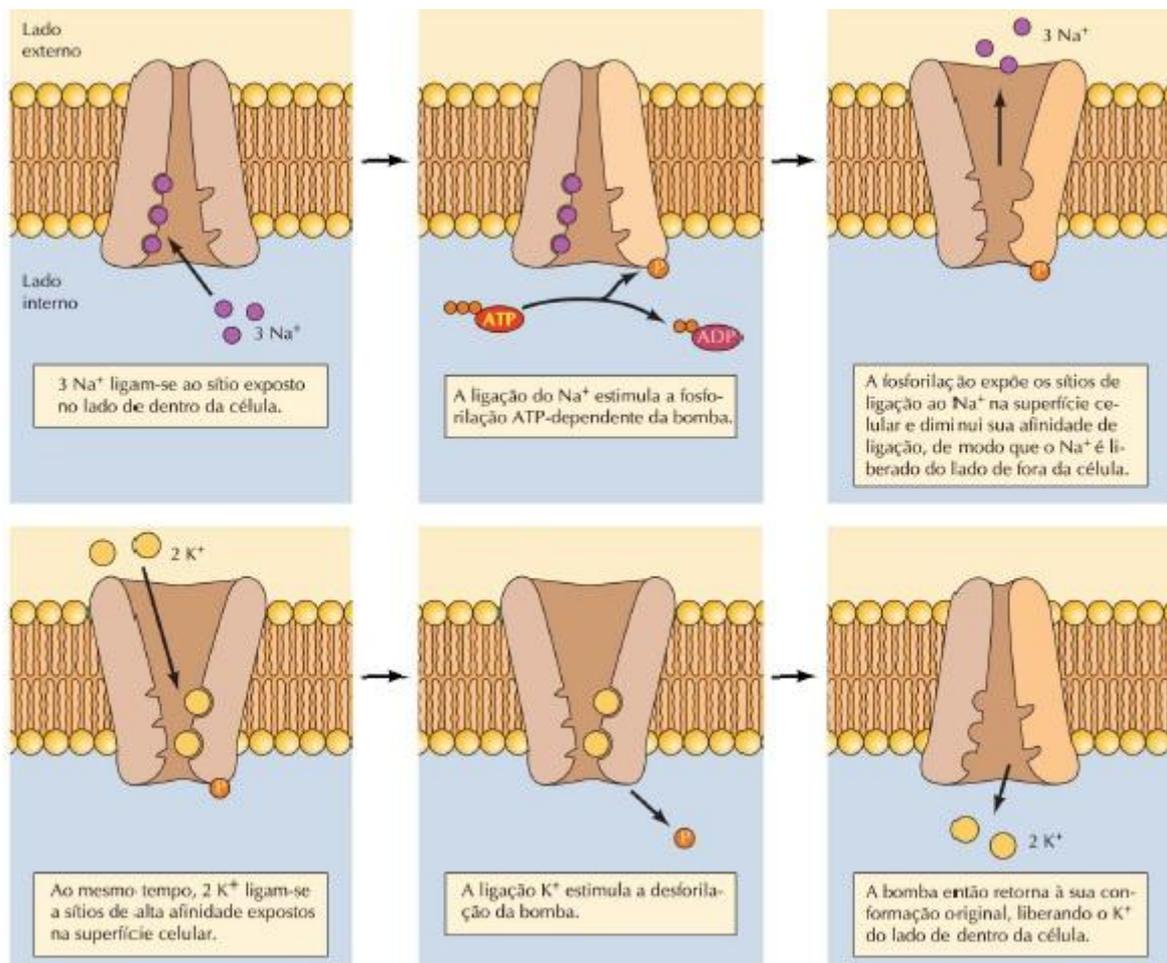
O transporte ativo ocorre quando a célula necessita transportar molécula contra o gradiente de concentração, ou seja, será transportada de onde está em menor quantidade para onde está em maior quantidade. Para que esse tipo de transporte aconteça, é necessário que haja energia (ATP). A bomba de sódio e potássio é um exemplo de transporte ativo. A concentração de Na^+ é muito maior fora da célula, ao passo em que a concentração de K^+ é maior no lado de dentro. E esses gradientes desiguais de íons precisam ser mantidos para o bom funcionamento de células nervosas e musculares (COOPER; HAUSMAN, 2007).

O transporte do sódio para fora da célula e do potássio para dentro da célula ocorre da seguinte forma: três íons de sódio que estão no interior da célula unem-se ao sítio exposto no lado interno da célula. Essa ligação estimula a hidrólise do ATP e a fosforilação da bomba,

que induzem alterações conformativas, expondo o sítio de ligação de Na^+ para o lado externo da célula e reduzindo sua afinidade pelo Na^+ , que então é liberado do lado de fora da célula.

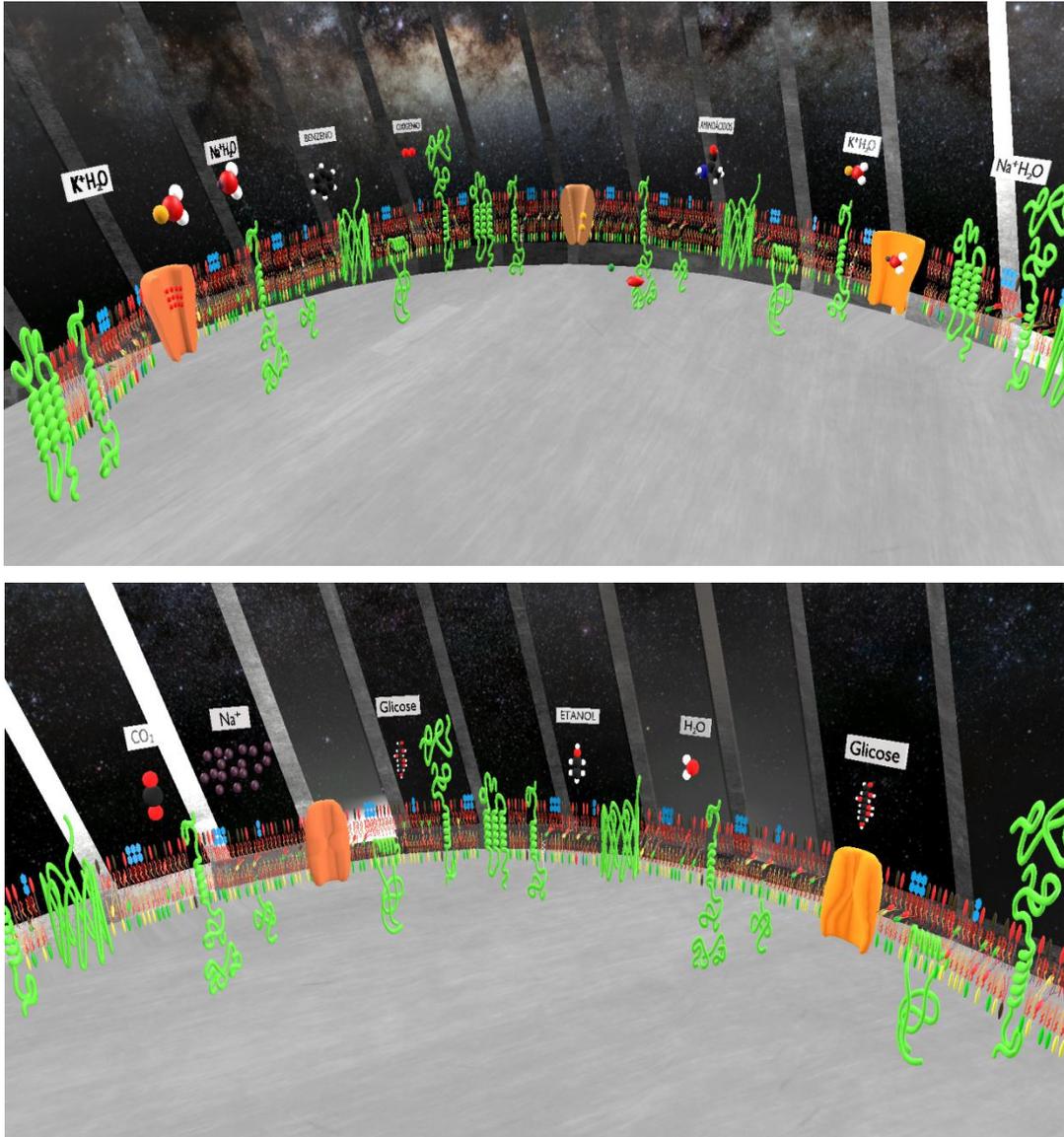
E os sítios de ligação de alta afinidade com o K^+ são expostos na superfície da célula e dois íons de potássio ligam-se a ele, estimulando a hidrólise do grupo fosfato que está ligado à bomba e induzindo uma segunda alteração conformativa, que expõe o sítio de ligação do K^+ para o citosol. Isso faz com que a afinidade da ligação reduza e os K^+ sejam liberados dentro da célula, conforme está representado na figura 61 (COOPER; HAUSMAN, 2007).

Figura 61 - Modelo para o funcionamento bomba de Na^+ K^+



Fonte: COOPER; HAUSMAN, 2007.

No simulador, foi desenvolvido todo o processo citado (figura 62), assim que o usuário entrar no ambiente virtual e pressionar o botão *touchpad* do controlador (figura 42), poderá visualizar todas as etapas da bomba de sódio e potássio, caso deseje que o processo se repita, é só pressionar o botão *grip* do controlador (figura 42).



Fonte: autora, 2019.

Os ambientes virtuais citados permitem que os usuários tenham experiências em primeira pessoa, e isso é possível porque a RV imersiva elimina as interfaces que atuam na interação usuário-computador. Isso permite uma experiência sintética, que possibilita ao usuário a obtenção de significados próximos do que se obtém no mundo real.

Um fator muito interessante da RV na educação e no ensino é a imersão no mundo virtual, pois dificilmente os alunos têm a oportunidade de realizar suas próprias experiências para, a partir dos resultados obtidos, retirarem as suas conclusões, que se transformam depois em conhecimento sobre a realidade observada. O mais comum é a transmissão passiva do conhecimento para o aluno, o que dificulta sua análise e sua crítica, pois não possuem os elementos necessários para isso. Mas, com a criação de mundos virtuais, essa experiência pessoal torna-se possível, pois o aluno, entrando na simulação, descobre por si e aprende

construindo seu conhecimento através da RV experimentada. Deste modo, a aprendizagem torna-se mais rica, viva, variada e duradoura, pois, como foi constituída por uma experiência pessoal, dificilmente será esquecida (CAMACHO, 1996).

Com a construção desse simulador em ambiente virtual para o ensino da membrana plasmática, foi possível tornar um conteúdo abstrato, perceptível aos sentidos. Isso porque com a aplicação, a membrana plasmática ganhou forma e consistência, podendo ser visualizada e manipulada pelo usuário, o que contribui para a motivação, a compreensão e a aprendizagem de conceitos que até então eram abstratos. Aprende melhor o que se compreende vendo.

A realidade virtual ao corporizar, pela imagem, pelo som ou pela sensação tátil, conceitos para os quais não existe modelo físico ou representação, torna-se uma espécie de tradutor, convertendo em experiências concretas que os nossos sentidos podem perceber, ideias abstratas e de difícil compreensão, facilitando a aprendizagem e contribuindo para o desenvolvimento de capacidades cognitivas. (CAMACHO, 1996, p. 92).

Desta forma, concretizou-se a aliança entre educação e entretenimento, que muitas vezes é julgada como impossível. Afinal, ensinar e divertir não são conceitos opostos, o ensino não precisa ser desinteressante, assim como o divertimento não precisa ser desprovido de elementos educacionais.

5. TESTES E RESULTADOS

A maioria das ideias fundamentais da ciência são essencialmente sensíveis e, regra geral, podem ser expressas em linguagem compreensível a todos.

(Albert Einstein)

Neste capítulo consta o relato dos testes do produto, realizados com graduandos, pós-graduando e professores de Ensino Superior. Os testes consistiram no uso do simulador seguido da aplicação de questionários avaliativos.

O processo de testagem do simulador foi realizado com graduandos do curso de Biomedicina da UEPA, campus Belém - PA, graduandos do curso de Ciências Biológicas/Licenciatura da UFPA e do IFPA, ambos nos campus de Belém – PA; pós-graduandos do PROFBIO da UFPA, campus Belém, e com seis docentes de graduação, que lecionam a disciplina de Biologia Celular, sendo um da UEPA, dois da UFPA e três do IFPA. Os resultados obtidos consideraram a observação do participante durante a testagem do simulador e os questionários por eles respondidos.

5.1 Utilização do Simulador

Os testes com os 92 graduandos e os 6 pós-graduandos ocorreram ao longo de 9 sessões. Com os 22 graduandos de biomedicina da UEPA, foram realizadas 3 sessões, em dias e horários diferenciados, para atender a disponibilidade dos mesmos. As 6 sessões realizadas com os alunos de Ciências Biológicas/Licenciatura do IFPA e da UFPA ocorreram durante a disciplina de Biologia Celular e Molecular (nomenclatura da disciplina no IFPA) e Células e Moléculas (nomenclatura da disciplina na UFPA). Já com os seis pós-graduandos, foi preciso apenas uma sessão.

Os professores da disciplina utilizaram o simulador na mesma sessão com alunos, alguns antes de iniciar o teste com os discentes, outros ao término da testagem com eles.

Foi importante dividir em sessões, pois o número de alunos, das turmas nas quais ocorreram os testes, oscila de 20 a 40. Se todos estivessem presentes em uma única sessão, o ensino individualizado seria impossível e as experiências em RV tornar-se-iam difíceis, pelo tempo exigido, pela necessidade de ocupar os alunos que não estavam imersos no ambiente virtual, pelas conversas paralelas que surgiram. Mas, em pequenos grupos enquanto um aluno estava inserido no mundo virtual, a autora conseguiu envolver os demais alunos na atividade, acompanhando na tela do computador (figura 64) o que estava ocorrendo no mundo virtual. O que tornou mais eficiente e enriquecedora a troca de opiniões durante e após a experiência. A

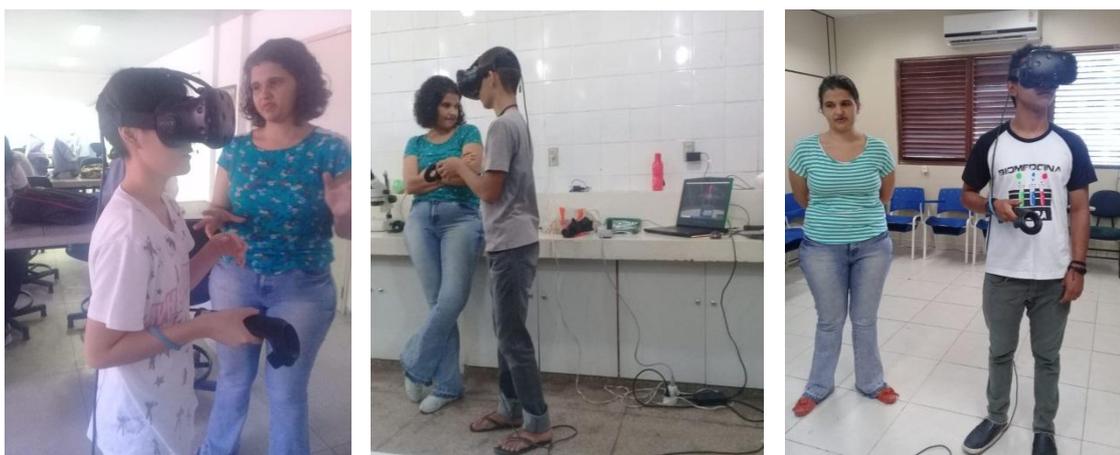
autora conseguiu acompanhar as experiências de imersão de forma individual, a partir de consultoria para tirar dúvidas e para auxiliar (figura 65).

Figura 64 - Interação do grupo enquanto um aluno está imerso



Fonte: autora, 2019.

Figura 65 - Acompanhamento individual durante a imersão



Fonte: autora, 2019

Os testes no curso de biomedicina da UEPA ocorreram após a apresentação do produto ao coordenador do curso, que demonstrou interesse e encaminhou a pesquisadora às turmas do 2º, 4º e 6º semestres. A pesquisadora explicou o produto e verificou o interesse da turma em participar do processo de testagem. Como o interesse foi grande, junto com os alunos, a pesquisadora planejou três sessões em dias e horários diferentes, de acordo com a disponibilidade dos discentes. Assim seria possível aumentar a qualidade do atendimento e, logo, facilitar a compreensão do assunto.

Nos cursos de Ciências Biológicas/Licenciatura da UFPA e IFPA, a pesquisadora apresentou o produto para os professores da disciplina Biologia Celular e Molecular (nomenclatura no IFPA) e Células e Moléculas (nomenclatura na UFPA). Novamente, houve

grande interesse e inseriram o teste do produto nas agendas de suas disciplinas, como atividade prática.

No curso da UFPA, 35 alunos do 1º semestre participaram das atividades de testagem, realizadas em duas sessões que ocorreram no horário da aula da disciplina Células e Moléculas.

No IFPA, duas turmas participaram da testagem, sendo uma turma de reoferta da disciplina Biologia Celular e Molecular, composta 20 alunos, e a outra turma era do 1º semestre, com 15 alunos. Os testes do produto em ambas as turmas ocorreram no horário da aula da disciplina, porém, na turma de calouros, a imersão individual foi mais intensa e detalhada, por isso, houve a necessidade de realizar uma segunda sessão, para que todos pudessem participar do processo de testes.

No curso de pós-graduação PROFBIO/UFPA, os testes ocorreram após a pesquisadora divulgar para os próprios alunos o produto desenvolvido. Um grupo de seis alunos, que demonstrou interesse em participar da testagem, determinou o dia e o horário em que estariam disponíveis para a sessão.

Os locais de aplicação (laboratório, sala de aula) foram organizados de forma que os ambientes ficassem livres em todas as sessões, permitindo que os usuários se locomovessem no ambiente real, o que possibilitou maior sensação de imersão no meio virtual.

No início de cada sessão, a pesquisadora explicou sua motivação ao desenvolver a ferramenta, como o simulador funcionava, os objetivos da pesquisa e como seria o processo de testagem do produto (figura 66).

Figura 66 - Autora explicando como seria o processo de testagem



Fonte: autora, 2019.

Para o processo de testagem, os alunos receberam um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (apêndice I) e, após preencherem, cada aluno utilizou o *HTC Vive*

Oculus e explorou todo ambiente virtual desenvolvido pela pesquisadora. O objetivo era que pudessem avaliar o simulador individualmente, destacando como foi sua experiência e sugerindo algumas melhorias, caso julgassem necessário. E, durante esse processo, foi possível intuir que os alunos conseguiram alcançar a sensação de total imersão do ambiente virtual utilizando o simulador, como pode ser observado nas figura 67 (A) e (B); figura 68 (A) e (B); figura 69 (A) e (B); figura 70 (A) e (B); e figura 71 (A) e (B).

Figura 67 - Alunos explorando o ambiente virtual



(A)



(B)

Fonte: autora, 2019.

Figura 68 - Alunos explorando o ambiente virtual**(A)****(B)****Fonte:** autora, 2019.**Figura 69 - Alunos explorando o ambiente virtual****(A)****(B)****Fonte:** autora, 2019.

Figura 70 - Alunos explorando o ambiente virtual**(A)****(B)****Fonte:** autora, 2019.**Figura 71 - Alunos explorando o ambiente virtual****(A)****(B)****Fonte:** autora, 2019.

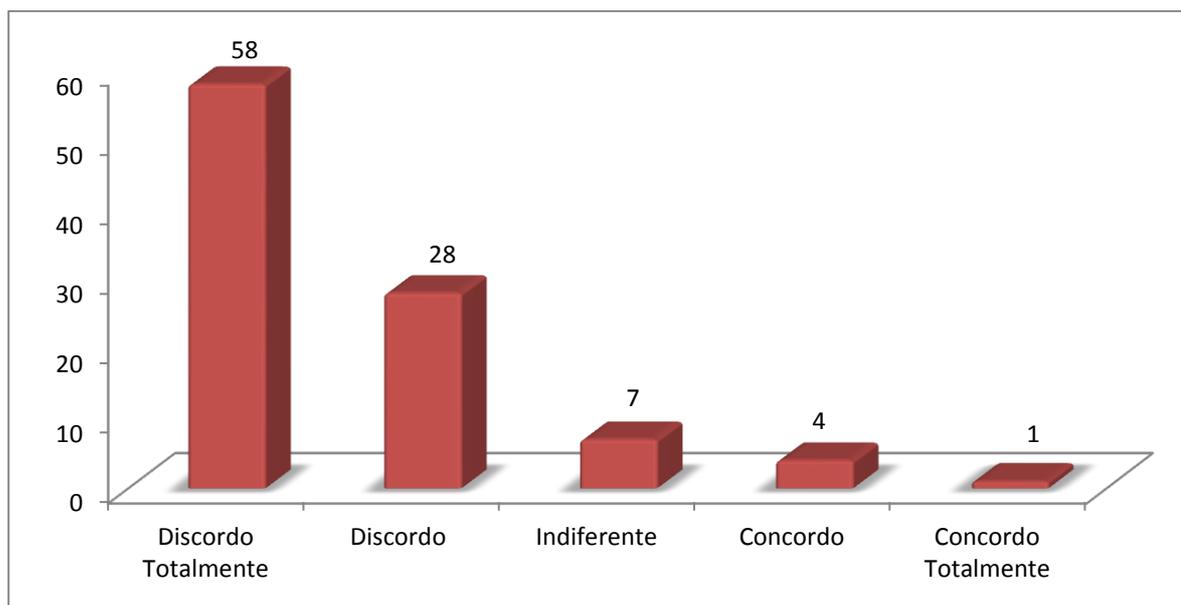
Esta etapa da experimentação foi muito satisfatória, pois, de modo geral, o envolvimento dos alunos durante a utilização do simulador foi intensa. Eles se entusiasmaram ao participar dos transportes de substâncias através da membrana. Durante a interação, alguns comentavam que a vontade era de permanecer naquele ambiente ao qual estava inserido, pois estava muito divertido estudar daquela forma.

5.2 Análise dos Dados das Experimentações com os Discentes

Ao término das experimentações, cada aluno respondeu um questionário (apêndice II) para avaliar o simulador, considerando aspectos como motivação durante o uso, funcionalidades, contribuição para o processo de ensino aprendizagem, dentre outros.

O questionário é composto por dez questões fechadas e sete questões abertas. Em oito questões fechadas, optou-se por utilizar uma escala Likert. Esse tipo de escala é constituída por afirmativas que costumam ser apresentadas como uma espécie de tabela de classificação, na qual afirmativas são apresentadas e o respondente é convidado a emitir o seu grau de concordância com aquela frase, que varia desde o discordo totalmente até ao concordo totalmente, incluindo um ponto médio moderado ou neutro. A quantidade de pontos que irão compor a escala pode variar entre quatro e dez itens, sendo que a escolha fica a critério do pesquisador. Mas é importante que o número de categorias positivas seja igual ao das negativas, e não pode esquecer de incluir um ponto neutro (não concordo nem discordo; indiferente) (CUNHA, 2007; FRANKENTHAL, 2017; FIALHO, 2018). Nessa pesquisa, optou-se por cinco itens (discordo totalmente, discordo, indiferente, concordo, concordo totalmente).

Como o simulador de RV não é uma ferramenta utilizada com frequência no processo de ensino-aprendizagem, julgou-se necessário avaliar a dificuldade dos alunos em utilizar o simulador. Para isso, fez-se a seguinte afirmativa: “O simulador é difícil de ser manipulado”. E, como pode ser observado no gráfico 1, a maioria dos alunos não teve dificuldades ao utilizar o simulador.

Gráfico 1 - O simulador é difícil de ser manipulado.

Fonte: autora, 2019.

Tais dados confirmam a observação da pesquisadora durante a experimentação, ao perceber que, no início da imersão, alguns alunos tinham dificuldade em manusear o controlador e se movimentar no mundo virtual, mas, com pouco tempo de uso e seguindo suas orientações de como utilizá-lo, logo eles se acostumavam com o instrumento e a interação ocorria satisfatoriamente.

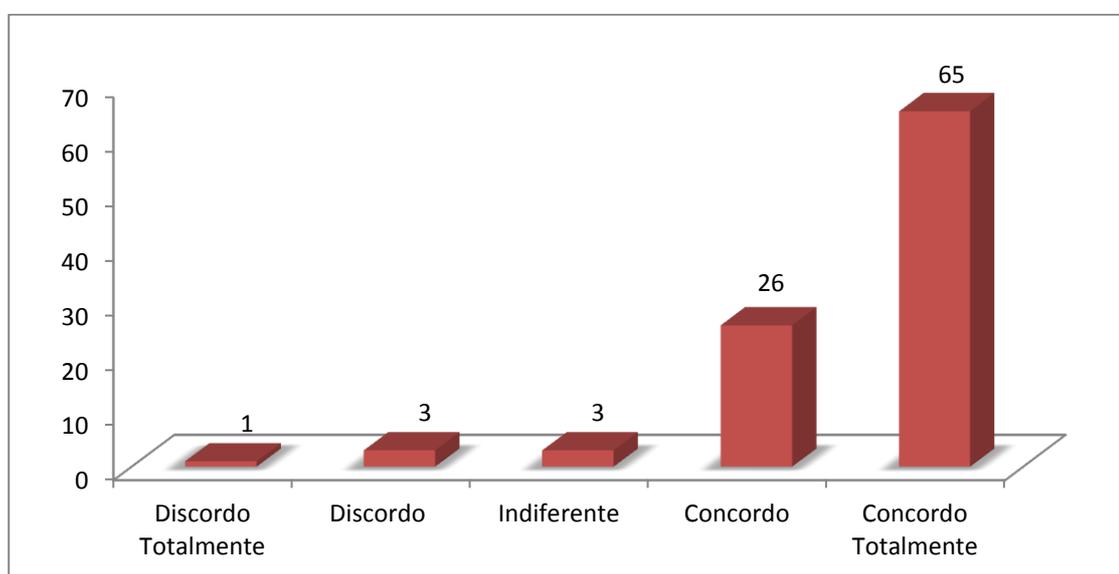
Uma vantagem da RV em relação a outras mídias interativas, inclusive o próprio computador, é que, ao contrário deste, cuja utilização requer alguns conhecimentos mínimos, o que pode inibir sua utilização aos que não possuem esse conhecimento, por “receio” e “vergonha” de errar, a aplicação de um sistema de RV não exige do usuário qualquer requisito específico relacionado ao seu uso. Mesmo sendo baseado em uma complexa e sofisticada tecnologia, funciona de uma forma simples, não exigindo conhecimento de comandos e teclas, basta que o participante coloque o *HTC Vive Oculus* e utilize o controlador (CAMACHO, 1996).

Para que a imersão seja eficiente, é importante que o criador do ambiente virtual forneça informações claras sobre o ambiente, para que o usuário tenha domínio do que é possível fazer no ambiente ao qual foi imerso. O ponto chave para facilitar a interação do usuário são os controladores, que precisam ser programados de tal forma que facilite a experiência e a imersão do usuário (MARTINS et al., 2017).

A pesquisadora, ao desenvolver o ambiente virtual da membrana plasmática, buscou repassar as instruções para o manuseio do simulador da forma mais simples e objetiva possível, para que os estudantes se sentissem à vontade durante seu processo de imersão ao ambiente virtual.

Com o intuito de saber se as informações fornecidas estavam suficientes para um bom desempenho do usuário, fez-se a seguinte afirmativa: “As instruções fornecidas foram suficientes para utilização e manuseio do recurso”. E, conforme o resultado observado no gráfico 2, os alunos, de um modo geral, concordaram que instruções fornecidas foram suficientes para utilizarem o recurso de forma satisfatória.

Gráfico 2 - As instruções fornecidas foram suficientes para utilização e manuseio do recurso



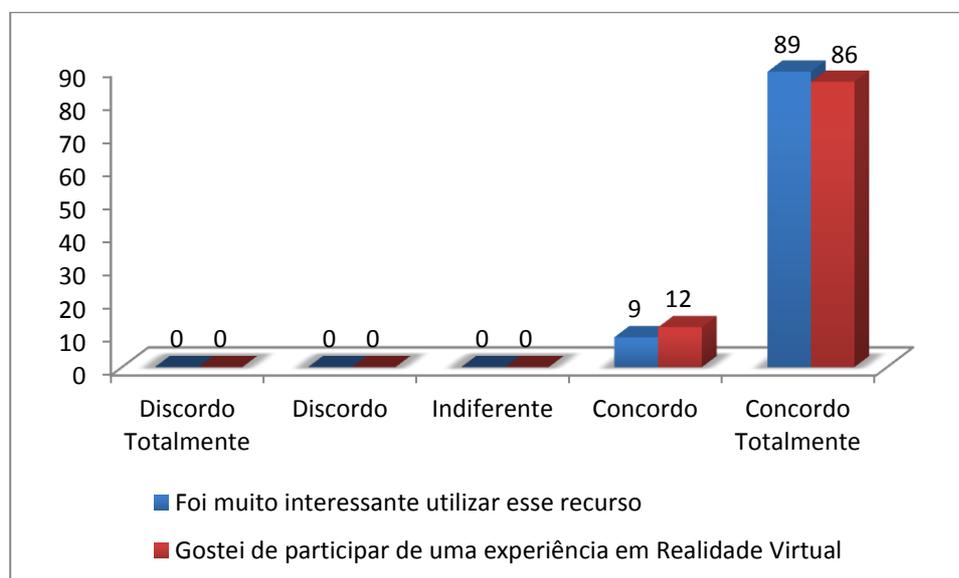
Fonte: autora, 2019.

A educação é um processo contínuo de aprendizado que obtém melhores resultados quando a pessoa está motivada a aprender e quando há ferramentas adequadas para este fim. A RV é uma poderosa ferramenta para aumentar a motivação e melhorar o entendimento dos mais diversos assuntos, especialmente aqueles que são de difícil compreensão devido à sua natureza abstrata. O aluno pode se sentir motivado a navegar e interagir no mundo virtual, passando a ter mais interesse sobre o assunto que está sendo estudado (RIZZATO; NUNES, s/a).

Buscando verificar se o simulador em ambiente de RV para o ensino da biologia atingiu os benefícios de interesse, motivação e envolvimento do aluno no ambiente virtual, fizeram-se as seguintes afirmações para os estudantes: “Foi muito interessante utilizar esse recurso”; “Gostei de participar de uma experiência em Realidade Virtual”. Constatou-se que a

maioria dos alunos considerou interativa a imersão no ambiente virtual e gostaram de viver essa experiência (gráfico 3).

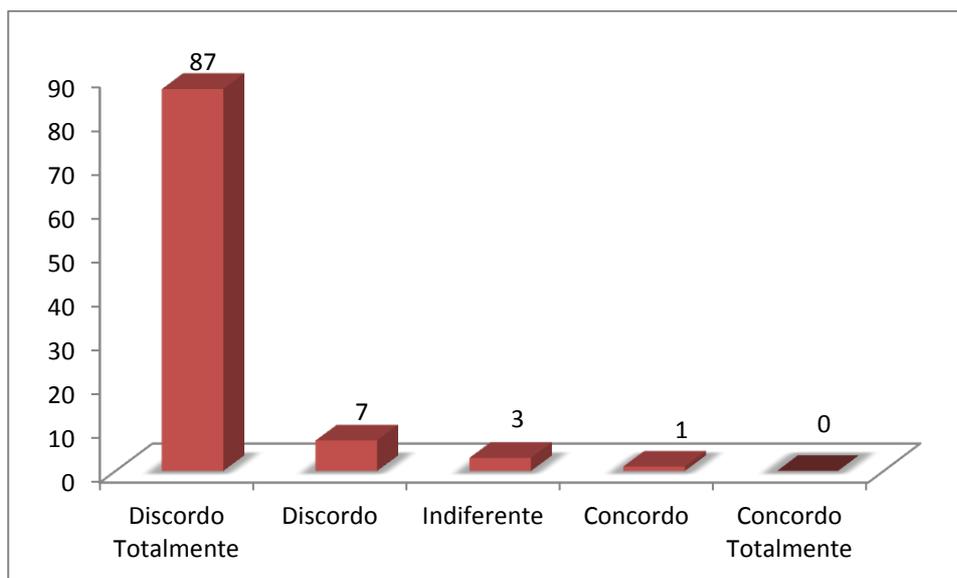
Gráfico 3 – Motivação e envolvimento dos alunos ao utilizar o simulador



Fonte: autora, 2019.

Os estudantes possuem formas diferentes de compreender conceitos e abordagens diferenciadas, nesse sentido, a RV é considerada uma ferramenta pedagógica motivadora, pois atua como objeto de aprendizagem que contribui para que o aluno não fique entediado durante as aulas, colabora o autoestudo, respeita as características individuais e o ritmo de aprendizagem de cada aluno, o que é fundamental no processo de ensino-aprendizagem (BARILLI et al., 2011).

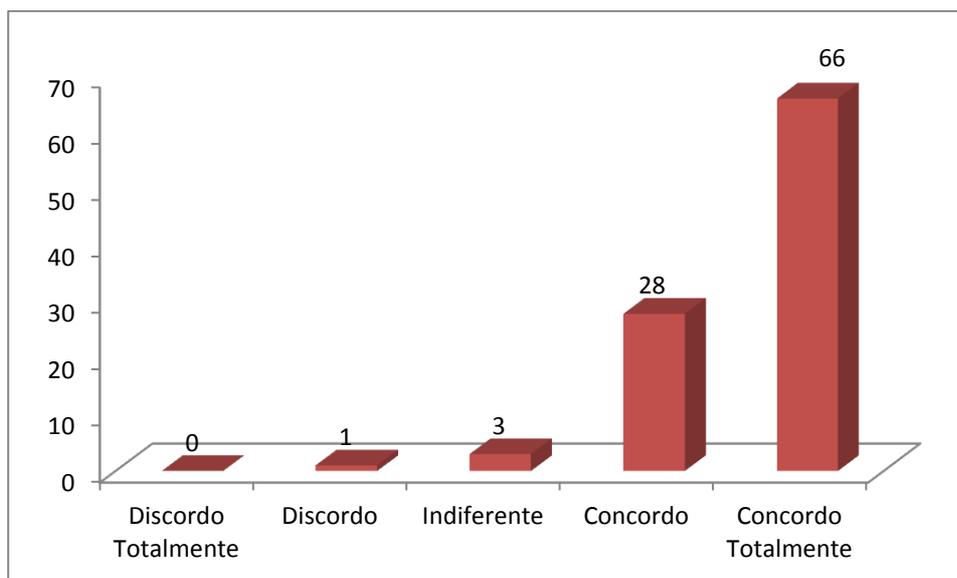
Para verificar se a ferramenta contribuiu com essa motivação, fez-se a seguinte afirmativa: “Em alguns momentos fiquei entediado durante a utilização do recurso”. E, ao analisar os resultados, constatou-se que a ferramenta não foi classificada como um recurso educacional entediante (gráfico 4).

Gráfico 4 – Em alguns momentos fiquei entediado durante a utilização do recurso

Fonte: autora, 2019.

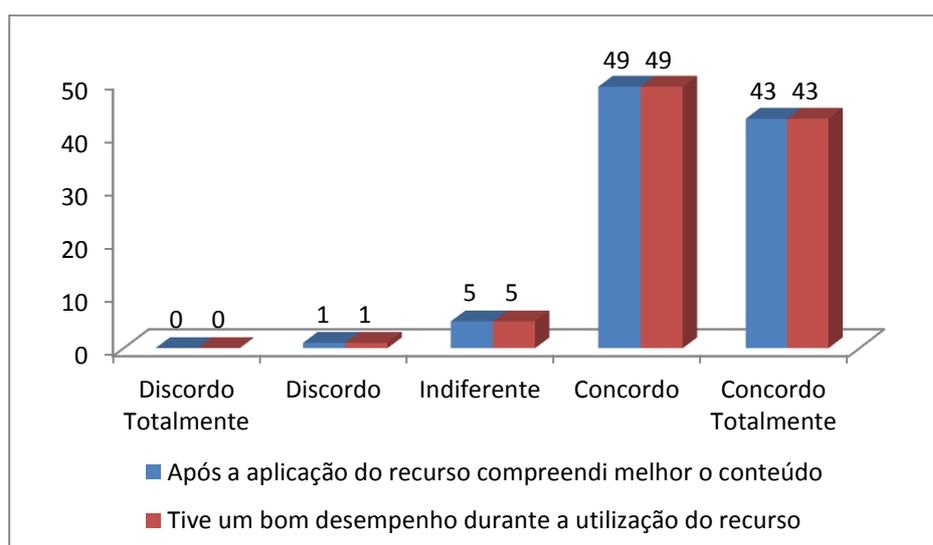
Mesmo se mostrando como uma excelente ferramenta de ensino, com inúmeros benefícios oferecidos, a RV, assim como qualquer outra tecnologia, não substitui o papel do professor na formação do aluno, e não deve ser apontada como a solução para os problemas educacionais, ou como algo que fará com que os métodos de ensino sejam completamente alterados. Como qualquer outro recurso didático, deve ser utilizada com objetivos definidos e sob orientação do professor, impedindo que se configure apenas como um instrumento de entretenimento, e atue positivamente no processo de ensino-aprendizagem.

Durante o processo de experimentação, a pesquisadora acompanhou a imersão de cada aluno individualmente e, simultaneamente a essa imersão, os alunos recebiam explicação da pesquisadora sobre a parte teórica do conteúdo, quando necessário. Um ponto interessante para investigação é se o simulador desenvolvido pela pesquisadora contribui para estimular o aprendizado e auxiliar na compreensão dos conteúdos. Então, fez-se a seguinte afirmativa: “A utilização da realidade virtual no ensino estimula o aprendizado”. E, como pode ser observado no gráfico 5, os alunos concordaram que a RV se configura como um estímulo no processo ensino-aprendizagem.

Gráfico 5 – A utilização da RV no ensino estimula o aprendizado

Fonte: autora, 2019.

Quanto às contribuições do simulador no processo de ensino-aprendizagem dos alunos, a pesquisadora fez as seguintes afirmativas: “Após a aplicação do recurso compreendi melhor o conteúdo” e “tive um bom desempenho durante a utilização do recurso”. E os alunos avaliaram-se de forma positiva, como pode ser observado no gráfico 6.

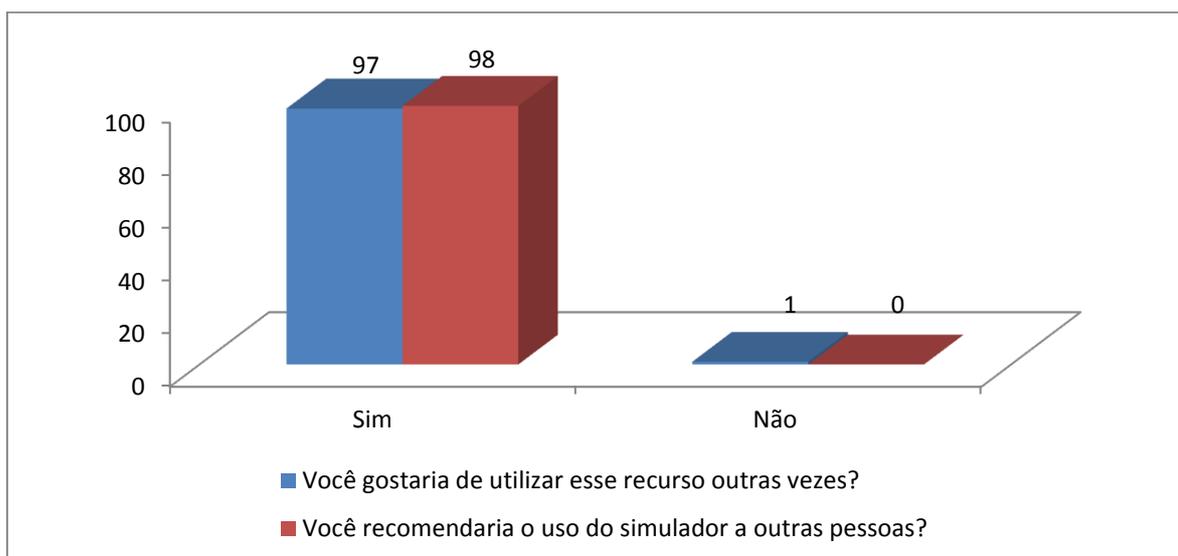
Gráfico 6 – As contribuições do simulador no processo de ensino aprendizagem

Fonte: autora, 2019.

As questões fechadas do questionário encerraram-se com duas perguntas nas quais os alunos deveriam assinalar “sim” ou “não”. Foi questionado se gostariam de utilizar os

recursos outras vezes e se recomendariam a utilização do simulador a outras pessoas. Apenas um aluno não tem interesse em utilizar o simulador novamente. E os 98 alunos que participaram do processo de testagem recomendariam o uso do simulador para outras pessoas (gráfico 7).

Gráfico 7 – Avaliação e recomendação do simulador



Fonte: autora, 2019.

Baseado no grau de concordância fornecido pelos alunos e na análise dos gráficos anteriores, é possível constatar que o produto foi bem aceito e avaliado positivamente pelo público investigado. Os alunos consideram que é fácil de utilizá-lo; que as informações são claras e suficientes para manuseá-los; que é interessante aprender por meio de RV, pois além de estimular a aprendizagem, o recurso facilita a compreensão dos conteúdos. Logo, isso representa um indício do potencial positivo que o simulador em ambiente de RV para o ensino da membrana plasmática tem como estratégia de ensino.

Na segunda parte do questionário, os alunos responderam sete perguntas abertas para que tivessem a liberdade de se expressar acerca da indagação feita, sendo a maioria delas voltadas a perguntas específicas do conteúdo abordado no simulador.

A primeira pergunta buscou aferir acerca das dificuldades na utilização do recurso, então, foi feito o seguinte questionamento: “Você sentiu dificuldades ao utilizar o simulador? Comente sua experiência, destacando quais foram as suas dificuldades”. De um modo geral, os alunos destacaram não ter dificuldades ao manusear o simulador, afirmando que sua utilização era fácil e intuitiva. Os que alegaram ter dificuldades pontuaram o manuseio dos

controladores, no entanto, afirmaram que, após as instruções da pesquisadora, a utilização se tornou fácil. A seguir, destacaram-se algumas respostas dos alunos:

"Não. Durante essa experiência não senti dificuldade: foi totalmente seguro. Me trouxe maior entendimento no assunto" (Aluno 1).

"Não. Achei a experiência interessante e muito esclarecedora. Fazer parte da célula permitiu a compreensão da teoria" (Aluno2).

"Não tive dificuldades. Achei a experiência incrível, me senti dentro da célula, como se fizesse parte dela" (Aluno 3).

"Não senti dificuldades ao utilizar o simulador, achei interessante a ponto de querer pegar com a mão tudo o que estava acontecendo dentro da célula" (Aluno 4).

"Não houve dificuldades durante a imersão. Os controles são simples e bastante intuitivos, permitindo liberdade de movimentos, tornando a visualização fluida e permitindo diversos ângulos, garantindo melhor compreensão dos processos visualizados" (Aluno 5).

"Não, achei extremamente interessante o uso deste recurso, pois foi possível observar com mais clareza alguns movimentos que ocorrem na bicamada fosfolipídica e outros. Não tive dificuldade na utilização do recurso e nem no entendimento do conteúdo" (Aluno 6).

"Não. As orientações foram bem claras e objetivas" (Aluno 7).

"Não muito, já que as instruções são bem didáticas" (Aluno 8).

"Inicialmente um pouco de dificuldade com o manuseio do controle, porém, a principal dificuldade foi um pouco de sensação de tontura durante o ambiente virtual" (Aluno 9).

"Bem pouco, o simulador nos traz uma realidade que não é vista em sala de aula, isso faz com que o aprendizado seja bem didático" (Aluno 10).

"Senti dificuldade um pouco no início, pois senti uma sensação estranha no início da experiência, mas, depois que "mergulhei" na experiência virtual, ficou mais confortável e consegui usufruir do ambiente. No início fiquei tensa" (Aluno11).

"A dificuldade que senti foi em relação à ergonomia dos óculos virtuais, pois sou míope e incomodou um pouco sobrepor os óculos, entretanto não atrapalhou totalmente a experiência" (Aluno 12).

"Senti pouca dificuldade, foi uma experiência muito interessante, em que não tive muita dificuldade por conta da orientação contínua" (Aluno 13).

“Sim, minhas dificuldades foram quanto ao manuseio, questões como me adaptar aos comandos, saber onde os botões estão, mas foram amenizados à medida que utilizava o produto” (Aluno 14).

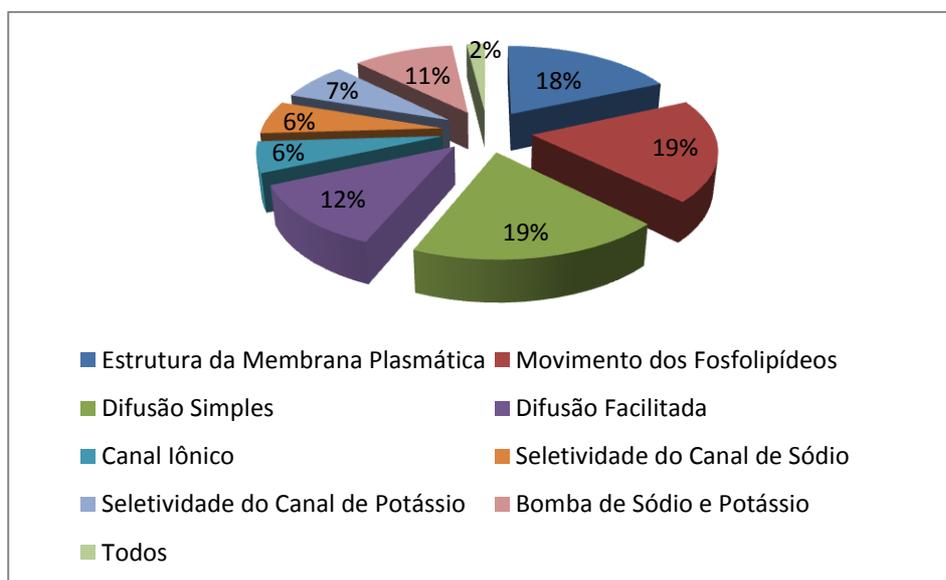
“Senti dificuldade de entender os processos que estava visualizando, mas que ficaram mais fáceis com a instrução da desenvolvedora” (Aluno 18).

Analisando as respostas dos alunos, comprova-se o que MARTINS et al. (2017) evidenciam em relação à programação dos controladores. Segundo os autores, ela precisa ser feita de maneira que facilite a experiência e a imersão do usuário.

As respostas também comprovam que a RV não substitui a presença do professor, pelo contrário: se constitui em uma ferramenta que o auxilia no ensino, trazendo a prática para o aluno, mas, antes disso, é preciso ter conhecimento da teoria. Pelas falas antes destacadas, é possível perceber que as dúvidas e dificuldades dos alunos foram sanadas à medida que a pesquisadora intervia no processo da imersão.

A segunda pergunta tinha o objetivo de saber qual o assunto que o aluno compreendeu melhor após a utilização do simulador. Conforme foi descrito na seção IV, o simulador desenvolvido demonstra todas as estruturas que constituem a membrana plasmática, os movimentos dos fosfolípidos e o transporte de pequenas moléculas através da membrana plasmática. Dentre esses transportes, fazem parte do simulador: a difusão simples; a difusão facilitada; o canal iônico; a seletividade do canal de sódio; a seletividade do canal de potássio e a bomba de sódio e potássio. Desses assuntos abordados, os mais compreendidos pelos alunos foram os movimentos dos fosfolípidos; a estrutura da membrana plasmática e a difusão simples, conforme a representação no gráfico 8.

Gráfico 8 - Assunto relacionado à membrana plasmática que ficou mais fácil compreender após a utilização do simulador



Fonte: autora, 2019.

Julgou-se interessante destacar algumas respostas, pois potencializam a importância da utilização de recursos didáticos que aproximem o aluno da prática:

“Todos! Pois tenho memória visual e no simulador pude ver toda constituição da membrana e realizar os transportes feitos por ela” (Aluno 2).

“Finalmente, agora no 6º semestre de curso, consegui compreender a real diferença entre a difusão simples e a difusão facilitada” (Aluno 3).

“Todos, pois eu pude observar os conteúdos que na sala de aula são tão teóricos e abstratos. Com o simulador, tive a oportunidade de me sentir dentro da célula, isso me conectou com os assuntos” (Aluno 15).

“A bomba de sódio e potássio, somente hoje, após a utilização do simulador, ficou claro para mim como se dá a participação do ATP durante esse processo” (Aluno 16).

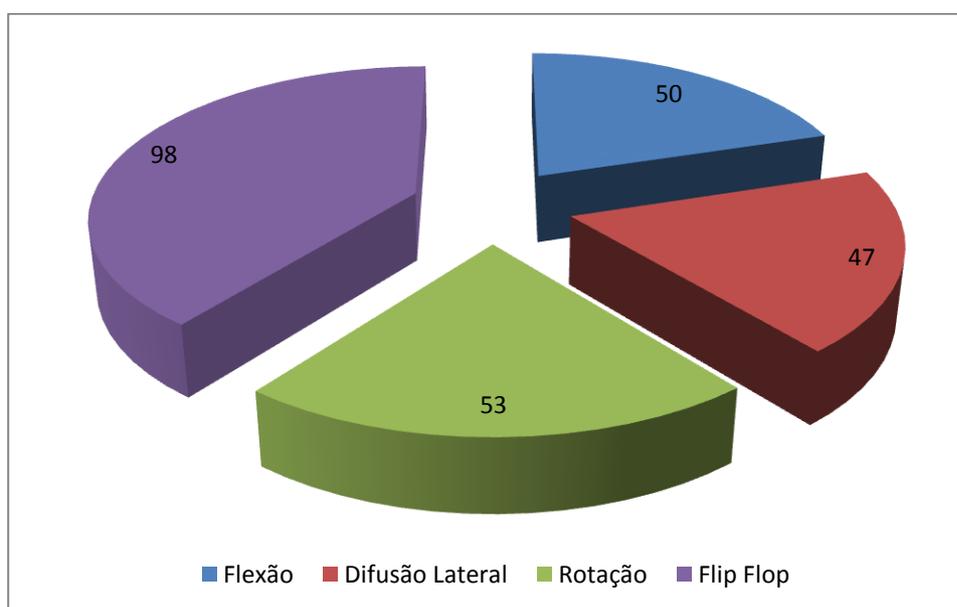
“Todos! Foi muito inovador e interessante resgatar dessa maneira conteúdos que aprendi anos atrás, quando ainda estava no primeiro semestre. Se naquela época o professor fizesse uso desse recurso, a aula teria sido muito mais interessante” (Aluno 17).

Um dos conceitos básicos da membrana plasmática, destacado no capítulo I, é que a membrana plasmática é uma estrutura constituída basicamente de uma bicamada de fosfolípidios com proteínas inseridas nessa camada. Como modelo de estudo, utiliza-se o chamado modelo do mosaico fluído para evidenciar que a membrana é fluída, pois seus

componentes são capazes de se movimentar pela estrutura, não sendo, portanto, uma estrutura completamente estática. As proteínas e os lipídios apresentam a capacidade de se mover.

Para aferir se os alunos conseguiram visualizar isso durante sua imersão na membrana plasmática, a autora fez o seguinte questionamento: “A estrutura básica de todas as membranas celulares é uma bicamada fosfolipídica. Durante a utilização do simulador, quais foram os movimentos realizados por essas estruturas que você conseguiu visualizar?”. Nas respostas dos alunos, notou-se que, mesmo os movimentos dos fosfolípídeos estando evidenciados em um ambiente virtual, construído exclusivamente para visualizar os movimentos dessas estruturas, alguns dos seus movimentos não foram visualizados pelos alunos (gráfico 9), o que é compreensível, pois alguns movimentos são muito específicos na cauda hidrocarbonada, exigindo que o aluno “mergulhe” na camada fosfolipídica. E a imersão do usuário no ambiente é uma experiência pessoal, portanto, mesmo a professora/pesquisadora orientando que certos movimentos só seriam visualizados se o aluno entrasse na bicamada fosfolipídica, alguns optavam por visualizar de longe.

Gráfico 9 - Movimentos dos Fosfolípídeos visualizados na imersão



Fonte: autora, 2019.

Analisando o gráfico, é possível concluir que apenas o movimento de “flip-flop” foi visualizado por todos os alunos que participaram do processo de validação. E o movimento de difusão lateral foi o que menos teve visualização.

Dois alunos não apenas citaram os movimentos que conseguiram visualizar, como também relataram sua experiência em ver esses movimentos:

“Visualizei todos os movimentos. O fato de serem visíveis permitiu um melhor entendimento de como ocorrem. Achei interessante que eles se mexiam em todos os ambientes, os vi mexendo até enquanto visualizava os ambientes de transporte de substâncias” (Aluno 11).

“Flip flop, rotação, flexão e difusão lateral. Todos foram muito bem ilustrados e o fato de ter a possibilidade de entrar no meio da membrana plasmática e acompanhar os movimentos de perto, foi uma experiência incrível” (Aluno 13).

As proteínas que constituem a membrana plasmática são bem diferenciadas. Tendo como referência Alberts et al. (2017), figura 22, presente na página 67 desta pesquisa, a autora modelou oito tipos diferentes de proteínas e as inseriu no modelo da membrana plasmática didática, figura 29, página 71. Com o intuito de quantificar quantas dessas proteínas o aluno identificou, fez-se o seguinte questionamento: “Quais os tipos de proteína de membranas você observou durante o uso do simulador? Exemplifique e cite diferenças entre elas”. Dentre a variedade de proteínas apresentadas, dos noventa e oito questionários analisados, as proteínas mais citadas foram as proteínas transmembrana α -hélice simples, α hélice múltipla e a proteína β . Apenas seis alunos citaram as proteínas periféricas e, nesse questionamento, houve oito respostas em branco. 25 questionários apresentaram a exemplificação, sendo todas baseadas na morfologia das proteínas. Em quatro delas, o aluno teve dificuldade em utilizar os termos biológicos específicos para exemplificá-la e optaram por fazer desenhos esquemáticos (figura 72), representando as proteínas que visualizaram no simulador.

Figura 72 – Desenhos Esquemáticos das Proteínas

14. Quais os tipos de proteína de membranas você observou durante o uso do simulador? Exemplifique e cite diferenças entre elas.

As proteínas transmembranas são as simples e as múltiplas enquanto a transportadora é a bocal.

Simplex é aquela com apenas uma travessia pela membrana.

Múltipla é aquela com várias travessias.

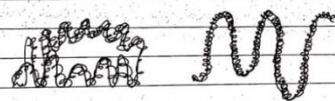
A bocal é uma transportadora que possui um túnel.

(A)

14. Quais os tipos de proteína de membranas você observou durante o uso do simulador? Exemplifique e cite diferenças entre elas.

proteínas transportadoras; âncora, receptora, enzima

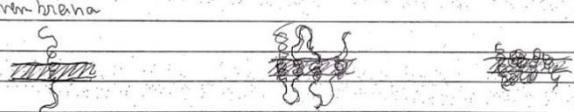
proteínas transmembranas, mediponi, alfa, beta



(B)

14. Quais os tipos de proteína de membranas você observou durante o uso do simulador? Exemplifique e cite diferenças entre elas.

• Simplex (α)	• Multipassagem (α)	• Bocal (B)
↓	↓	↓
passa apenas uma vez na membrana	passa várias vezes pela membrana	semelhante a uma barreira



(C)

14. Quais os tipos de proteína de membranas você observou durante o uso do simulador? Exemplifique e cite diferenças entre elas.

TRANSMEMBRANA BETA QUE FORMA BARRIS

TRANSMEMBRANA ALFA SIMPLES QUE SÓ TOCA NA MEMBRANA UMA VEZ

TRANSMEMBRANA ALFA MÚLTIPLA QUE PASSA VÁRIAS VEZES NA MEMBRANA

Beta é simples e múltipla

(D)

(A) Ilustração Aluno 14; (B) Ilustração Aluno 28; (C) Ilustração Aluno 32; (D) Ilustração Aluno 63.

Fonte: autora, 2019.

Dentre os oitos ambientes virtuais presentes no *menu*, sete representam transporte de substâncias através da membrana plasmática. Buscando explorar os conhecimentos teóricos dos alunos acerca destes transportes, a autora fez o seguinte questionamento: “Quais os tipos de transporte você percebeu durante o uso do simulador? Exemplifique”. Três alunos não responderam a esse questionamento. Os transportes mais citados foram difusão simples, difusão facilitada e bomba de sódio e potássio. Quanto à exemplificação, apenas 31 alunos

exemplificaram. E dentre essas exemplificações, foram encontrados quatro erros nos conceitos teóricos.

“Transporte ativo: diretamente passou pela membrana. Transporte passivo: passa por um canal para facilitar” (Aluno 17).

“Ativo e passivo. No ativo, a passagem é seletiva. No passivo, a seletiva não ocorre” (Aluno 18).

“Transporte simples ou passivo que uma molécula adentra a membrana sem gasto de energia e a difusão facilitada que é bastante seletiva e só ocorre com gasto de energia da célula, durante o processo” (Aluno 19)

“Facilitada precisa do ATP para funcionar, passando os íons. Simples, não precisa ser com gasto de ATP” (Aluno 20)

A exemplificação do aluno 17 está errada, pois, no transporte ativo, as substâncias passam através de uma transmembrana e só ocorre na presença de energia. No transporte passivo simples, a substância passa pela bicamada fosfolipídica, e se for o transporte passivo facilitado, passa com o auxílio de uma proteína. Os transportes passivos ocorrem sem gasto de energia. O erro do aluno 18 está no fato de que não importa se o transporte é passivo ou ativo, a passagem é sempre seletiva, pois essa é uma das funções da membrana plasmática: selecionar as substâncias que entram e saem da célula. Nas exemplificações dos alunos 19 e 20, o erro está quando afirma que, na difusão facilitada, há gasto de energia.

Os canais iônicos são bastante seletivos como foi abordado pela autora na seção II, sendo que o maior índice de seletividade de íons é conferido aos canais de Na^+ e K^+ , ambos representados no simulador. Para verificar se o aluno compreendeu essa seletividade de íons, foi realizado o seguinte questionamento: “Os canais iônicos são altamente seletivos, permitem a passagem somente de íons com tamanho e cargas apropriadas. O simulador permitiu que observasse isso? Exemplifique”. A análise das respostas foi muito satisfatória, pois, das 90 respostas analisadas, todas apresentaram a exemplificação (oito alunos deixaram essa resposta em branco), logo, pode-se avaliar a ferramenta positivamente, pois tornou real um conteúdo tão abstrato, o que possibilitou uma melhor compreensão do conteúdo.

Buscando tornar o simulador o mais didático e compreensível, o questionário foi encerrado com a seguinte pergunta: “Em sua opinião, o que poderia ser melhorado no ambiente virtual para que sua experiência e seu aprendizado sejam mais positivos?”. A seguir, estão destacadas algumas respostas desse questionamento:

“O ambiente já está bastante explicativo e dinâmico, acredito que, acrescentando outros assuntos futuramente, poderá auxiliar os alunos e professores em outras matérias” (Aluno 20).

“Se possível, permitir que o aluno pause o movimento do transporte de substâncias no momento que ele achar conveniente” (Aluno 21).

“Ao redor da membrana, o ambiente que está envolto da membrana, ao invés de ser uma sala, poderia ser um organismo humano, mostrando várias outras células ao redor” (Aluno 22).

“Seria legal levar esse método para outras disciplinas, pois foi muito produtivo” (Aluno 23).

“As cores são muito fortes, muito tempo olhando para as cores verde, amarelo, vermelho começa a doer a visão” (Aluno 24)

“Ao invés de ocorrer numa sala, poderia ser dentro de um indivíduo” (Aluno 25).

“Achei muito positivo e criativo, pois temos a possibilidade de sair da membrana abstrata para o mundo real da membrana. De repente para trabalhos futuros mostrar os transportes em bloco endocitose e exocitose” (Aluno 26)

“Nada, achei altamente didático e significativo à aprendizagem” (Aluno 27).

“Mais simuladores para ser utilizado por mais tempo” (Aluno 28).

“Nada. O simulador é muito bem desenvolvido didaticamente” (Aluno 29)

“Gostei muito das cores, mas, se os processos apresentassem legendas, a experiência poderia ser mais independente.” (Aluno 30).

“Padronizar cores onde até daltônicos possam diferenciar as especificidades indicadas e permitir mais atividades dinâmicas no mundo virtual” (Aluno 31).

“Poderia ter um instrutor por voz, o manuseio seria mais independente. Mas esta tecnologia educacional foi superbem desenvolvida e o melhor dela é que pode ser aplicada aos demais conteúdos” (Aluno 32).

Contabilizando as respostas, quantificaram-se 50 alunos que consideraram o simulador satisfatório e que não precisa de nenhuma modificação, e os que sugeriram mudança, destacaram as seguintes melhorias: áudio narrando o que estava acontecendo no ambiente virtual; presença de um *avatar* no ambiente virtual explicando os processos; legenda das estruturas em todos os ambientes; mudança nas cores, pois estão fortes e brilhosas; no ambiente da célula detalhar seus outros componentes (organelas citoplasmáticas e núcleo); possibilidade de ter mais *HTC Vive Oculus*; mudança do ambiente para um organismo; possibilidade de pausar os transportes; fazer simuladores como este para outros conteúdos;

correção de “defeitos” das imagens duplicadas. Essas sugestões foram contabilizadas na tabela 1.

Tabela 1 - Sugestão de mudanças no simulador

SUGESTÕES DE MUDANÇAS	QUANTIDADE DE ALUNOS QUE SUGERIRAM
Áudio narrando o que estava acontecendo no ambiente virtual	05
Presença de um <i>avatar</i> no ambiente virtual explicando os processos	02
Legenda das estruturas em todos os ambientes	18
Mudança nas cores, pois estão fortes e brilhosas	06
No ambiente da célula detalhar seus outros componentes (organelas citoplasmáticas e núcleo)	09
Possibilidade de ter mais <i>HTC Vive Oculus</i>	02
Mudança do ambiente para um organismo	02
Possibilidade de pausar os transportes	01
Fazer simuladores como este para outros conteúdos	16
Correção de “defeitos” das imagens duplicadas	12

Fonte: autora, 2019.

5.3 Análise dos Dados das Experimentações com os Docentes

Além da testagem dos discentes, é importante para a autora um *feedback* de professores que lecionam a disciplina de Biologia Celular e Molecular. Os próprios professores das turmas que participaram do processo de testagem foram convidados a utilizar e avaliar o produto.

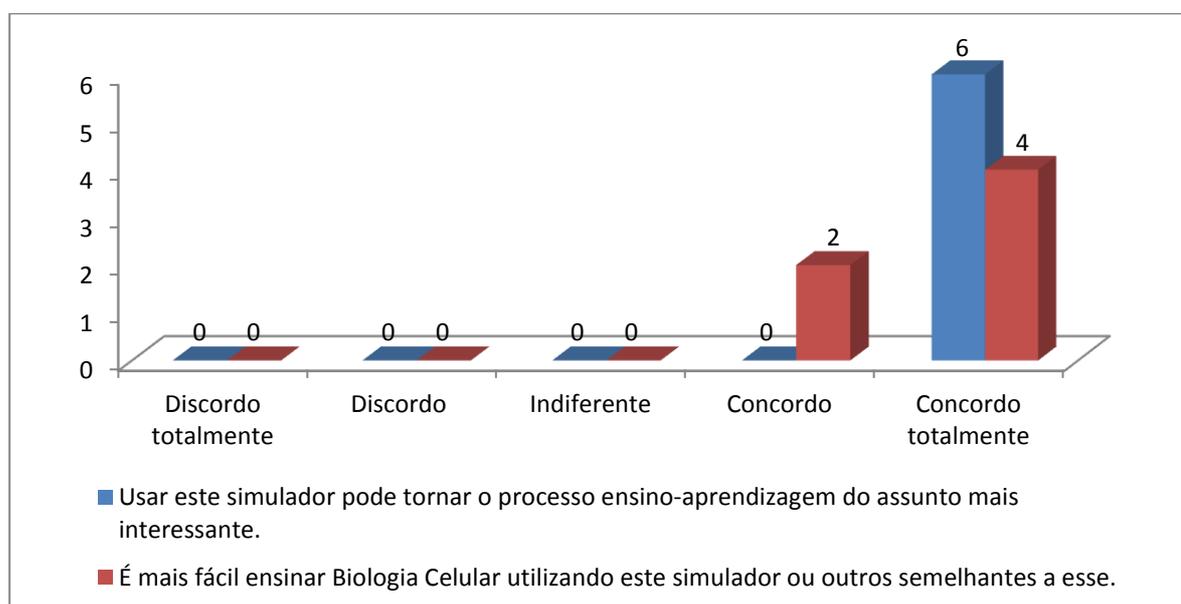
Na UEPA, dois professores foram informados pelo coordenador do curso de biomedicina que os alunos estavam participando da testagem de um simulador de realidade virtual voltado para o ensino da membrana plasmática. Esses professores se interessaram e compareceram na sessão de testagem para utilizar o recurso. No IFPA, além dos professores das turmas que participaram do processo de testagem, outro professor de Biologia Celular ficou interessado pelo recurso e pediu para utilizar.

Seis professores participaram desse processo de testagem, dois da UEPA, três do IFPA e um da UFPA. O processo de avaliação também foi por questionário (apêndice III), composto por sete questões fechadas utilizando a escala Likert, duas questões fechadas com

as opções afirmativo/negativo e seis questões abertas para que pudessem se expressar acerca do produto testado.

Para verificar se o objetivo geral da criação do simulador descrito nessa pesquisa foi alcançado, fizeram-se as seguintes afirmações: “Usar este simulador pode tornar o processo ensino-aprendizagem do assunto mais interessante”, “É mais fácil ensinar Biologia Celular utilizando este simulador ou outros semelhantes a esse”. E todos os professores concordaram com a afirmação (gráfico 10).

Gráfico 10 – Facilitação do processo ensino-aprendizagem com o simulador

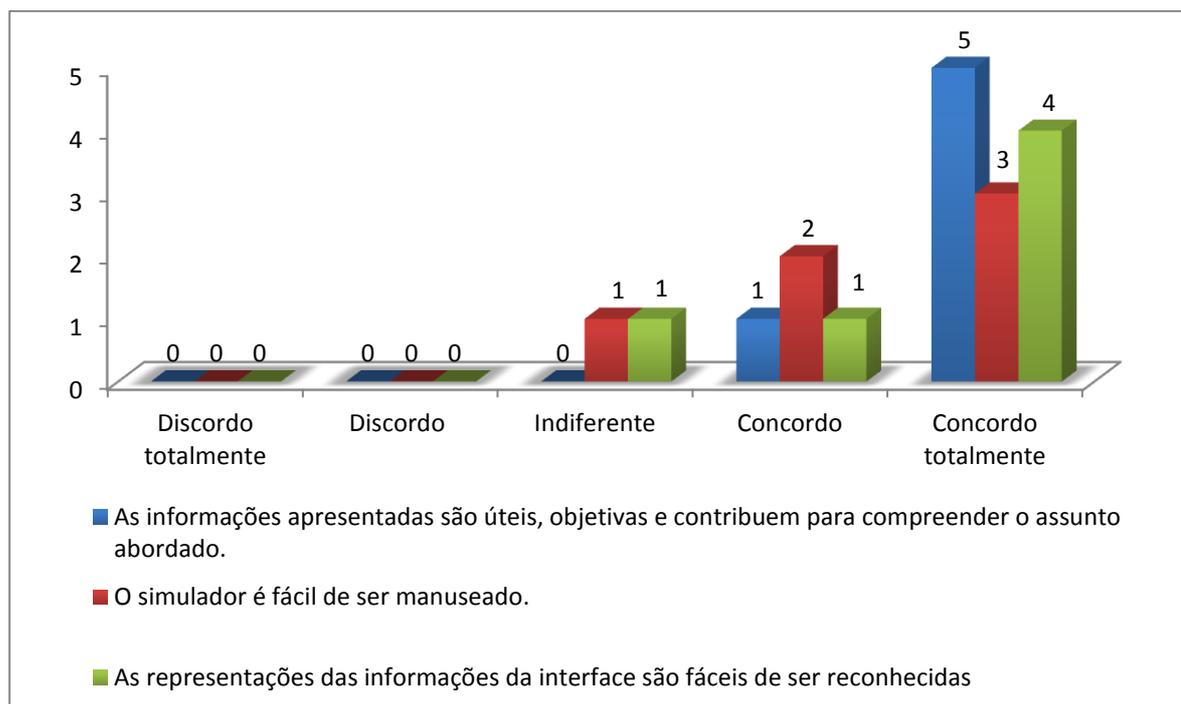


Fonte: autora, 2019.

A utilização do simulador não substitui a aula teórica, ele foi desenvolvido para facilitar a aprendizagem, mas, sozinho, não resolve o problema do ensino da membrana plasmática, tornando-se muito mais eficiente quando o aluno já teve contato com a teoria. Para verificar o posicionamento dos docentes em relação a isso, foi feita a afirmativa: “O simulador pode ser utilizado para realizar revisão do assunto trabalhado”. E todos concordaram totalmente com a afirmativa.

Para verificar se o simulador está de acordo com o perfil do seu público alvo, consideraram-se as seguintes afirmativas: “As informações apresentadas são úteis, objetivas e contribuem para compreender o assunto abordado”, “O simulador é fácil de ser manuseado”, “As representações das informações da interface são fáceis de ser reconhecidas (*menu*, modelagens etc.)”. E, ao analisar o resultado (gráfico 11), nota-se que o produto está adequado.

Gráfico 11 – Conteúdo e interface do simulador



Fonte: autora, 2019.

A última afirmativa do questionário foi: “Seria interessante ter simuladores como este abordando outros conteúdos”. E todos concordaram completamente, o que demonstra que o recurso foi avaliado de forma positiva, a ponto de os professores pensarem na possibilidade de adotar a RV para abordar outros assuntos.

Após a pesquisa bibliográfica apresentada na seção III desta pesquisa, constatou-se que há uma escassez de produtos educacionais utilizando RV no Brasil. Para verificar se os docentes conheciam essa tecnologia como ferramenta de ensino, fizeram-se os seguintes questionamentos: “Você já teve contato com algum recurso de realidade virtual voltado para o ensino? () Sim () Não. Caso a resposta da pergunta anterior seja afirmativa, descreva onde e como foi a experiência”. Todos responderam que nunca havia utilizado a RV voltada para o ensino.

Ao serem questionados se acreditam que a RV é um bom recurso para ser utilizado no ensino de Biologia Celular e Molecular, obteve-se as seguintes respostas:

“Sim, é um excelente recurso, pois permite a visualização das estruturas da membrana plasmática e caracteriza suas funções, tornando menos abstrato o ensino deste assunto em biologia celular e molecular” (Professor 1).

“Sim, principalmente pela possibilidade de despertar maior interesse dos discentes no processo ensino-aprendizagem” (Professor 2).

“Sim. É um recurso excepcional, nunca havia tido a oportunidade de usar e fiquei completamente encantado com a sensação de está no interior de uma célula. Fora a possibilidade de visualizar e vivenciar conteúdos tão abstratos” (Professor 5).

“Sim. O recurso é fantástico e extremamente necessário, o conteúdo ministrado em Biologia Celular e Molecular para ensino superior é de difícil assimilação, havendo necessidade de uso de metodologias novas e atuais, além de práticas para a sua assimilação. Acredito que com a realidade virtual, o aluno experimentará uma nova abordagem do conteúdo, tornando-o atraente, interessante e que, conseqüentemente, facilitará a sua aprendizagem. A ferramenta se torna fundamental, pois a disciplina é a base do curso e serve como pré-requisito para outras disciplinas de conteúdo específico, sendo a base para a formação do profissional da área” (Professor 3).

“Sim. O conteúdo de Biologia Celular é significativamente abstrato, fazendo com que os alunos tenham certa dificuldade de compreensão. A partir da utilização dos óculos de realidade virtual, é possível possibilitar aos alunos uma interatividade com o conteúdo que poderá resultar em melhor assimilação do conteúdo” (Professor 4).

“Sim. Em vinte cinco anos ministrando Biologia Celular e Molecular nunca tinha visto um recurso didático que permitisse deixar a disciplina menos abstrata. Hoje fiquei em êxtase ao utilizar esse recurso didático e pretendo, se for possível, utilizá-lo em minhas aulas o quanto antes” (Professor 6).

Em seguida, foram questionados se adotariam o simulador em suas aulas de Biologia Celular e Molecular, justificando sua resposta. Para satisfação da pesquisadora, todos afirmaram que adotariam. Abaixo, as justificativas apresentadas:

“Sim. Pois permitiria demonstrar a estrutura e funcionamento da membrana de forma mais concreta e interativa, o que com certeza facilitaria a compreensão por parte dos alunos” (Professor 1).

“Sim, principalmente pela possibilidade de despertar maior interesse dos discentes no processo ensino-aprendizagem” (Professor 2).

“Sim. Acredito que o simulador contribuiria para uma melhor assimilação do conteúdo” (Professor 4).

“Sim. Pois permitirá concretizar para os alunos conteúdos tão abstratos e complexos, então acredito que haja uma melhora na aprendizagem deles” (Professor 5).

“Com toda certeza, pois é uma sensação excelente se sentir dentro da célula” (Professor 6).

“Com toda certeza, qualquer recurso didático que fuja dos métodos tradicionais e que comprovadamente influencia na assimilação e aprendizagem de conteúdos tão específicos deve ser utilizado e explorado. A realidade virtual permite um novo universo ao aluno, pois proporciona ele adentrar o universo celular e manipular os componentes celulares através do recurso. Além do que acompanha a evolução da tecnologia sendo essencial para o século que vivemos” (Professor III).

Para identificar possíveis falhas e/ou erros no simulador, três questionamentos foram feitos: “Os conceitos de biologia molecular e celular abordados no simulador estão corretos?”; “Em relação ao design do simulador, você considera que os formatos e as cores utilizados nas modelagens estão apropriados? () Sim () Não. Caso não estejam, o que poderia melhorar?”; “Você considera que algum aspecto do conteúdo abordado no simulador precisa ser adequado e/ou melhorado? O quê?”.

Nenhum erro conceitual foi apontado pelos professores, bem como nenhuma sugestão para modificação da modelagem das estruturas celulares. Quanto à adequação e/ou melhoria do conteúdo abordado no simulador, quatro disseram que o conteúdo está bom e adequado ao que foi proposto; um docente pontuou não ter nada específico para pontuar, pois não utilizou o simulador com essa finalidade. Mas acha interessante que posteriormente tenha oportunidade para fazer isso, pois tudo “sempre pode ser melhorado”. As sugestões dadas foram: o acréscimo de uma estante de livros no museu, para apresentar um glossário ou resumo dos principais conceitos, descrição de estruturas e de eventos dinâmicos da membrana; e que a pesquisadora desse continuidade na pesquisa desenvolvendo, posteriormente, outras funcionalidades da membrana e até mesmo de outros conteúdos de Biologia Celular e Molecular.

5.4 Considerações Finais das Testagens

Após a testagem do produto e comparação dos dados obtidos, foi possível observar que o simulador teve uma boa aceitação pelos alunos e atingiu seu objetivo em facilitar o processo de ensino aprendizagem, a ponto de alguns alunos sugerirem simuladores como este abordando outros conteúdos.

Quanto às sugestões de mudanças apresentadas, as cores já foram alteradas para um tom mais fosco. As legendas não foram colocadas, pois a pesquisadora considera que haverá uma poluição visual devido ao grande número de informações, mas planeja a realização de um tutorial para cada ambiente virtual, similares ao que aparece no início da imersão. O

objetivo do desenvolvimento desses novos tutoriais é resumir a abordagem teórica de cada assunto abordado no simulador.

Em relação aos “defeitos” citados pelos alunos, a autora já esperava tais pontuações, porém, não se trata de um erro no simulador, mas em problemas na instalação do *HTC Vive Oculus*, já que nem todos os ambientes cedidos para a validação do produto atendiam às especificações de instalação explicadas pela autora no capítulo III, na seção sobre a integração ao ambiente virtual, figura 41, página 81. Isso causou problemas na comunicação dos sensores, permitindo a duplicação de imagens durante a imersão, sendo necessário reiniciar o equipamento várias vezes.

Analisando as respostas dos docentes, é possível ratificar o que foi abordado no primeiro capítulo deste trabalho, acerca do quanto a Biologia Celular e Molecular apresenta conteúdos abstratos e de difícil compreensão, sendo necessário que professores adotem metodologias diferenciadas. Pela avaliação docente realizada no processo de testagem, é possível constatar que o simulador em ambiente de RV para o ensino da membrana plasmática se configura como um recurso pedagógico potencializador do processo de ensino-aprendizagem.

6. CONCLUSÃO E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A ciência é a experiência, e a experiência é um manto que se tece ao longo de vários séculos; e quanto mais o manto se estende, mais a ciência é completa e segura.

(C. Bini)

O último capítulo desta dissertação visa estabelecer conclusões a respeito do trabalho e apresentar propostas para o desenvolvimento de futuros trabalhos relacionados ao tema principal.

No decorrer da pesquisa, constatou-se que o principal desafio dos professores é buscar metodologias que levem ao aprender e não apenas ao ensinar. E para que metodologias como essas possam funcionar, o aluno precisa ultrapassar o papel de passivo, de apenas escutar, ler, decorar, repetir fielmente os ensinamentos do professor e tornar-se criativo, crítico, pesquisador e atuante para produzir conhecimento.

Considerando esses aspectos, desenvolveu-se um simulador em ambiente de RV para o ensino da membrana plasmática, no qual docentes e discentes não têm apenas uma visão tridimensional das estruturas celulares, mas também podem manipular estas estruturas e simular os transportes de pequenas moléculas, com completa interatividade, saindo assim do campo da imaginação.

Com o simulador proposto, o aluno não tem contato com o conteúdo apenas através da fala do professor ou por imagens com as quais não pode interagir, mas por meio da sua própria vivência e experimentação, deixando de ser passivo no seu processo de aprendizagem, pois não aprenderá a partir de uma descrição feita por outra pessoa, como ocorre nas aulas expositivas, que proporcionam um aprendizado objetivo, consciente e implícito. Ao imergir na membrana plasmática, o discente passa a ser ativo no seu processo de aprendizagem, pois conhece a membrana a partir da sua interação com ela, conforme foi detalhado no capítulo III.

Durante o percurso de construção da ferramenta, foi necessário a realização de pesquisas que fundamentassem a utilização da RV no ensino. Estas pesquisas foram exaustivas, pois a maioria dos artigos encontrados, a partir das palavras-chave previamente definidas, não se relacionava com a proposta desta pesquisa. Mesmo sendo um trabalho cansativo, devido à escassez nos resultados obtidos, optou-se por repetir a pesquisa nos meses de setembro e outubro de 2019, o que permitiu o enriquecimento do trabalho, pois foram

encontrados dois artigos publicados em 2018 e cinco publicados no primeiro semestre de 2019, que relacionavam o conteúdo de Biologia Celular com a RV.

Entre as maiores dificuldades enfrentadas no decorrer do desenvolvimento do simulador, destaca-se o caráter interdisciplinar da ferramenta, que obrigou a autora sair de sua zona de conforto e explorar novos contextos. Pois sua construção não exigiu apenas os conceitos biológicos da membrana plasmática (área de formação da autora), mas também conhecimento de modelagem e programação, que consistiu no grande desafio no desenvolvimento desse produto.

Fez-se necessário, então, a formação de uma equipe interdisciplinar, que surgiu com a parceria da autora como o LabITE e o LAAI, para auxiliar esse processo de desenvolvimento. A primeira etapa para o desenvolvimento do produto foi aprender a modelar as estruturas que constituem a membrana plasmática no *software Blender*, processo que durou três meses, aproximadamente. O aprendizado deu-se através de tutoriais na *internet* (APOSTILABLENDER; BLENDER280; BLENDERTUTORIAIS; B., 2013; BORGES, 2018; DASSIE, 2015; MONQUEIRO, 2011) que ensinavam o processo de modelagens e aulas com uma profissional de *design* do LabITE. Por não estar habituada à área de Informática, o processo de modelagem foi bem lento, algumas estruturas celulares só foram possíveis de serem modeladas após acompanhar um profissional da área modelando, para então conseguir fazer sua própria modelagem.

Após a finalização do desenvolvimento do simulador, realizou-se o processo de testagem que considerou vários aspectos, como o conteúdo abordado no simulador, que, de acordo com os dados analisados anteriormente, foram avaliados positivamente por docentes e discentes. Há relatos que o simulador contribuiu significativamente para o processo de ensino-aprendizagem, como, por exemplo, um aluno do sexto semestre de Biomedicina, que afirmou que, somente no momento que utilizou o simulador, conseguiu compreender a diferença entre a difusão simples e a difusão facilitada. O que evidencia a importância de tornar “real” um conteúdo que é tão abstrato.

Diante da análise dos dados do processo de testagem, é possível concluir que o simulador atingiu seu objetivo geral e os específicos, pois foi considerado como uma ferramenta de ensino que contribui para facilitar a aprendizagem do conteúdo de membrana plasmática, além de tornar essa aprendizagem lúdica e prazerosa, sendo inclusive apontada a viabilidade de outros conteúdos e/ou disciplinas utilizarem esse tipo de tecnologia.

Foi muito satisfatório observar que o recurso didático proposto possibilitou uma inovação na forma de apresentação do conteúdo da membrana plasmática. E fez a diferença no processo de ensino-aprendizagem.

6.1 Trabalhos Futuros

A conclusão de uma pesquisa não se configura no término de um trabalho, pois, durante a realização deste, surgem novas inquietações e ideias para realização de novas atividades, mas que, por muitas vezes, acabam não sendo desenvolvidos por conta do prazo de término de uma dissertação.

Durante o desenvolvimento do simulador, a pesquisadora planejou a construção de um quebra-cabeça dos modelos de fosfolipídeos apresentados nessa dissertação, pois acredita que, através dessa modelagem didática, criará oportunidades para melhorar a aprendizagem, permitindo que o aluno tenha experiências que despertem sua motivação para a indagação e para atitudes investigativas, nas quais busquem soluções.

O momento atual exige novas práticas de ensino, de forma que os educadores passem a assumir um papel de catalisadores do potencial criativo de cada aluno, o que certamente resultaria em melhor aproveitamento de talento e potencial humano no contexto educacional (ALENCAR, 2002).

Buscando inovar o processo de ensino-aprendizagem da disciplina de bioquímica, o objetivo da construção do quebra-cabeça dos fosfolipídeos é propor uma estratégia didática baseada na impressão 3D dos fosfolipídeos para uma melhor visualização e aprendizado da sua estrutura molecular.

O quebra cabeça que está sendo idealizado será composto pelos átomos (carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo), que serão impressos na impressora 3D; pedaços de arame e um guia para orientar a construção dos modelos tridimensionais dos fosfolipídeos (apêndice IV). O processo de construção desse quebra-cabeça já se iniciou, sendo que, nos primeiros modelos 3D desenvolvidos, os átomos foram perfurados com a quantidade de ligações químicas que estabelecem, no entanto, a pesquisadora concluiu que ficaria muito intuitivo e não permitiria ao educador observar se os alunos compreenderam a teoria. Assim, os átomos foram remodelados com várias perfurações. Ou seja, para a construção dos modelos 3D (figura 73), os alunos precisarão do conhecimento científico da quantidade de ligações químicas estabelecidas por cada átomo. Tais ligações serão representadas por arames, pois apresentam maior resistência quando comparados às hastes projetadas e desenvolvidas na impressora 3D.

Figura 73 - Modelo 3D fosfolípídeo

Fonte: autora, 2019.

Durante a montagem das peças, o aluno conseguirá enxergar aquilo que está aprendendo, tornando-se mais ativo no processo de ensino-aprendizagem e facilitando a memorização dos conteúdos. Isso porque, ao juntar as peças, será capaz de visualizar e compreender as ligações químicas estabelecidas pelos átomos que constituem os fosfolípídeos.

A pesquisadora acredita que esse quebra cabeça é importante para o processo de aprendizagem, pois materializa um conhecimento abstrato. O aluno será capaz de montar as fórmulas espaciais dos cinco tipos de fosfolípídeos que constituem a membrana plasmática, o que permitirá uma maior participação destes no decorrer das aulas, além de uma maior compreensão acerca de como esses átomos se organizam quando estabelecem ligações químicas.

Além da construção do quebra-cabeça, considerando as sugestões fornecidas durante o processo de testagem, o ambiente virtual da membrana plasmática será aprimorado. A descrição teórica do que ocorre em cada ambiente virtual já está sendo desenvolvida. O processo de transporte de substâncias através da membrana plasmática será ampliado para explorar a passagem de grandes moléculas, através dos processos de endocitose e exocitose.

Acataram-se as sugestões de explorar todo o ambiente celular, ao invés de focar apenas na membrana plasmática. Então, todas as organelas citoplasmáticas serão devidamente identificadas e haverá um *menu* apresentando as funções de cada uma delas. O mesmo será feito com as estruturas que compõem o núcleo celular.

Para facilitar o acesso ao produto desenvolvido, o simulador está sendo adequado para ser utilizado em *smartphones* e explorado através de modelos de óculos de RV que se adequem a essa mídia.

Como o produto desenvolvido apresenta uma nova maneira de abordar conteúdos tão complexos, foi notória a percepção do interesse e motivação dos alunos e professores que utilizaram a ferramenta. E como eles mesmos sugeriram, é interessante pensar em novos ambientes virtuais para outros conteúdos de Biologia, como a microbiologia, a virologia, a bioquímica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTS, Bruce et al. Bioenergética e química celular. In: _____. **Biologia molecular da célula**. Trad. Andrane Ardala Elisa Breda et al. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ALENCAR, E. M. L. S. O contexto educacional e a influência na criatividade. **Linhas Críticas**, Vol. 8, pp. 165-205, 2002. - 15.

ANDRADE, Julia Pinheiro; SARTORI, Juliana. O professor autor e experiências significativas na educação do século XXI: estratégias ativas baseadas na metodologia de contextualização da aprendizagem. In: MORAN, José Manuel; BACICH, Lilian Cássia. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórica e prática**. Porto Alegre: Penso, 2018.

Apostila Blender. Disponível em: <http://coenc.td.utfpr.edu.br/>. - 8 de janeiro de 2018. - <http://coenc.td.utfpr.edu.br/~giron/HIPER/Blender.pdf>.

B., Jeremy. **Tornando-se profissional em Blender 3D**. Disponível em: <https://pt.wikibooks.org/wiki/>. - 3 de maio de 2013. - 28 de novembro de 2017. - https://pt.wikibooks.org/wiki/Tornando-se_profissional_em_Blender_3D.

BARILLI, Eloma Christina Vieira Castilho; EBECKEN, Nelson Francisco Favilla; CUNHA, Gerson Gomes. A tecnologia de realidade virtual como recurso para a formação em saúde pública à distância: uma aplicação para a aprendizagem dos procedimentos antropométricos. **Ciência saúde coletiva**, 1: Vol. 16, pp. 1247-1256, 2011.

BARRET, Kim E. et al. Bases celulares e moleculares da fisiologia médica. In: _____. **Fisiologia Médica de Ganong**. Porto Alegre: AMGH, 2014.

BAZZO, V. L. Para onde vão as licenciaturas? A formação de professores e as políticas públicas. **Educação**, 1. Vol. 25, pp. 53-65, jan/jun de 2000.

BEHEIRY, Mohamed El et al. Virtual Reality: Beyond Visualization. **Journal of Molecular Biology** / ed. reserved Elsevier Ltd. All rights. - 7. Vol. 431, pp. 1315-1321, março de 2019.

BEHRENS, Marilda Aparecida. Projetos de Aprendizagem Colaborativa num Paradigma Emergente. In: MORAN, José Manuel; MASSETO, Marcos T.; BEHRENS, Marilda Aparecida. **Novas Tecnologias e Medicação Pedagógica**. Campinas: Papyrus, 2013. - 21.

BENNET, Jennifer A.; SAUNDERS, Colin P. A Virtual Tour of the Cell: Impact of Virtual Reality on Student Learning and Engagement in the STEM classroom. **Journal of Microbiology & Biology Education**, - 2. Vol. 20, 2019.

BLENDER 2.80 REFERENCE MANUAL. Disponível: <https://docs.blender.org/>. - 15 de dezembro de 2017. - <https://docs.blender.org/manual/pt/latest/>.

Blender Inc. Site inicial do Blender. Disponível em: www.blender.org. - 15 de junho de 2018. - 08 de março de 2019.

BORGES, Guilherme. **Como modelar no BLENDER bem explicado**. Muito fácil. Disponível em: <https://youtu.be/8IDtkj7eWJo>. - 8 de janeiro de 2018. - 12 de janeiro de 2018. - <https://youtu.be/8IDtkj7eWJo>.

BRAGA, Mariluci. Realidade Virtual e Educação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, - 1: Vol. 1, 2001.

BRITO, Allan. **Blender 3D**: jogos e animações interativas. São Paulo: Novatec, 2011.

CADOZ, Claude. **Realidade Virtual**. Trad. GOYA Paulo. São Paulo: Editora Ática, 1997.

CALZA, R. E.; MEADE, J. T. The GenTechnique Project: Developing an Open Environment for Learning Molecular Genetics. **Computers & Education**. - [s.l.]: Elsevier Science Ltd All rights reserved, - 1-2 : Vol. 30, jan/fev de 1998.

CAMACHO, Lurdes. **Memórias de um Tempo Futuro**: realidade virtual e educação. - [s.l.]: Hugin - editores Lda, 1996. - 1: p. 345.

CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard. A Realidade Virtual na Educação e Treinamento. In: TORI, Romero; KIRNER, Cláudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2006.

CARVALHO, Hesli de Araújo. **Realidade Virtual em Educação**: um estudo da situação brasileira: Monografia. Lavras: [s.n.], p. 71, 2002.

COOPER, Geoffrey M.; HAUSMAN, Robert E. **A célula**: uma abordagem molecular. Porto Alegre: Artmed, 2007. - 3.

CUNHA, Luisa Margarida Antunes. **Modelos e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes**: Dissertação / Universidade de Lisboa. Lisboa: [s.n.], 2007.

DASSIE, Marcos. **Tutorial**: Introdução à modelagem 3D com Blender = Tutorial: Introdução à modelagem 3D com Blende. Disponível em: <https://www.fabricadejogos.net/>. - 7 de outubro de 2015. - 12 de outubro de 2017. - <https://www.fabricadejogos.net/posts/tutorial-introducao-modelagem-3d-com-blender/>.

DOLAN, E. L.; COLLINS, J. P. We must tech more effectively: here are four ways to get started. **Molecular Biology**, - 12: Vol. 26, 2015.

EICHLER, Marcelo Leandro; PINO, José Cláudio Del. **Ambientes Virtuais de Aprendizagem desenvolvimento e avaliação de um projeto em educação ambiental**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.

FERNANDES, Cláudio Henrique de Souza; ZAMA, Uyrá dos Santos. **Biomembranas e o ensino por investigação na educação superior**: Dissertação / Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto: [s.n.], 2018.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Realidade Virtual e Aumentada**: tecnologias para aplicações profissionais. São Paulo: Ética, 2018, - 1: p. 144.

FIOLHAIS Carlos; TRINDADE Jorge Fonseca. A realidade virtual no ensino e aprendizagem da Física e da Química. **Gazeta de Física**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Física, - 19: Vol. 2, pp. 11-15, 1996.

FIOLHAIS, Carlos; TRINDADE, Jorge Fonseca. Física Para Todos - Concepções Erradas em Mecânica e Estratégias Computacionais. **COLÓQUIO DE FÍSICA DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR**. Tomar: Instituto Politécnico, 1999, pp. 185-202.

FRANKENTHAL, Rafaela. MindMiners Blog. **Entenda a escala Likert e como aplicá-la em sua pesquisa**. - 24 de maio de 2017. - 9 de julho de 2019. Disponível em: <https://mindminers.com/blog/entenda-o-que-e-escala-likert/>.

GALDINO, Any Karolyne. engenhariae.com.br. **É assim que a Realidade Virtual nasceu em 1968**. - 28 de fevereiro de 2019. - 5 de outubro de 2019. Disponível em: <https://engenhariae.com.br/editorial/colunas/e-assim-que-a-realidade-virtual-nasceu-em-1968>.

GARCIA-BONETE, Maria José; JENSEN, Maja; KATONA, Gergely. A practical guide to developing virtual and augmented reality exercises for teaching structural biology. **Biochemistry and molecular Biology Education**. - [s.l.]: International Union of Biochemistry and Molecular Biology, - 1 : Vol. 47. - pp. 16-24, jan/fev de 2019.

GLASSER, William. ppd.net.br/william-glasser. PPD - **PROJETOS PEDAGÓGICOS DINÂMICOS**. - 2017. - 21 de maio de 2019. Disponível em: <http://www.ppd.net.br/william-glasser/>.

GOODSELL, David S.; FRANZEN, Margaret A.; HERMAN, Tim. From Atoms to Cells: Using Mesoscale Landscapes to Construct Visual Narratives. **Journal of Molecular Biology**. - [s.l.]: Elsevier Ltd. All rights reserved, - 21, - Vol. 430, pp. 3954-3968, 21 de outubro de 2018.

HARTSHORN, Michael J.; HERZYK, Pawel; HUBBARD, Roderick E. Exploring molecular structure by virtual reality. **Trends in Biotechnology**. - [s.l.]: Elsevier Science Ltd, - 3. - Vol. 13, - pp. 83-85, março de 1995.

HEILIG, Morton L. **Inventor In The Field Of Virtual Reality**. Disponível em: <http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html>. - s/a. - 5 de outubro de 2019. - <http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html>.

JOHNSTON, Angus P. R. et al. Journal to the centre of the cell: Virtual reality immersion into scientific data. **Wiley Online Library**. - [s.l.]: John Wiley & Sons A/S, pp. 105-110, novembro de 2017.

LABSTER, 2019. **Labster** – Bacteria isolation lab.

LAVROFF, Nicholas. **Divertindo-se com Realidade Virtual**. Trad. AIELLO Silvia. Rio de Janeiro: Berkeley Brasil Editora, 1994.

LESTON, J. Virtual Reality: the it perspective. **Computer Bulletin**, - Vol. 1, - pp. 12-13, jun de 1996.

LIBARTI, P. L. O.; BARBOSA, V. **Métodos Ágeis**: Monografia. - Limeira/SP: [s.n.], 2010.

LIMA, Cláudia Regina Uchôa. O Estado da Arte da Relidade Virtual. **Revista Informática na educação: Teoria & Prática**. Porto Alegre: [s.n.], - 1 : Vol. 2, maio de 1999.

MAY, Michael; VRIES, Lisbeth Elvira de. Virtual Laboratory Simulation in the Education of Laboratory Technicians-motivation and study intensity. **Biochemistry and Molecular Biology Education** / ed. Biology International Unio of Biochemistry and Molecular. - 3: Vol. 47, pp. 257-262, mai/jun de 2019.

MAKRANSKY, Guido et al. Equivalence of using a desktop virtual reality science simulation at home and in class. **Plos One**, pp. 11-14, abril de 2019.

MANIFESTO, AGILE. Agile Manifesto. **Manifesto for Agile Software Development**. - 2001. - 15 de Dezembro de 2017. Disponível em: <https://agilemanifesto.org/>.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo : Atlas, 2001. - 6.

MARTINS, Hiram et al. Desenvolvendo aplicações com Realidade Virtual com o HTC VIVE em Unity C#. **Ciência e técnica Vitivinícola**, 2017.

MARTINS, Valéria Farinazzo. **Processo de Desenvolvimento de Ambientes e Aplicações de Realidade Virtual**: Dissertação / Ciências da Computação; Universidade Federal de São Carlos. São Carlos : [s.n.], 2000.

MENDES, Maximiliano Augusto de Araújo. **Produção e utilização de animações e vídeos no ensino de biologia celular para a primeira série do ensino médio**: Dissertação / Institutos de Ciências Biológicas, Física e Química ; Univerrrsidade de Brasília. Brasília : [s.n.], 2010, p. 103.

MONQUEIRO, Julio Cesar Bess. **Blender 3D 2.5**: tutorial para iniciantes, partes 1 a 8 um início ao Blender. Disponível em: <https://www.hardware.com.br/>. - 17 de maio de 2011. - 10 de outubro de 2017. - <https://www.hardware.com.br/tutoriais/novo-blender3d-iniciantes/>.

MONTEIRO, Edivaldo Antonio. **Utilização de Técnicas Ágeis em Projetos de Exclusivos de Teste de Software**: Monografia / Curso de Pós-Graduação em Informática; Univerddidade Federal do Paraná. Curitiba: [s.n.], 2013, p. 58.

MORAN, José Manuel. **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. Campinas: Papyrus, 2012. - 5.

MORAN, José Manuel; BACICH, Lilian Cássia. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórica e prática. Porto Alegre: Penso, 2018, p. 238.

MORAN, José Manuel. Ensino e Aprendizagem Inovadores com apoio de tecnologias. In: MORAN, José Manuel; MASETTO, Marcos T.; BEHRENS, Marilda Aparecida. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas: Papyrus, 2013. - 21.

NELSON, David L.; COX, Michael M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed, 2019. - 7.

NETO, Arilo Claudio Dias. **Engenharia de Software Magazine** – Introdução a Teste de Software. DEVMEDIA. - 2007. - 20 de MARÇO de 2019. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/artigo-engenharia-de-software-introducao-a-teste-de-software/803>.

NETTO, Antonio Valerio; MACHADO, Liliane dos Santos; OLIVEIRA, Maria Cristina F. de. **Realidade Virtual: fundamentos e aplicações**. Florianópolis: VisualBooks, 2002.

OLIVEIRA, E. M.; STOLAAR, H. L. F.; MORAES, K. C. M. Tornando o ensino de ciências (biologia-celular) mais dinâmico e eficaz através de atividades práticas. **Encontro Latino Americano de Iniciação Científica**, 13/ Encontro Latino Americano de Pós-Graduação da Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: [s.n.], pp. 1-6, 2009.

ORLANDO, Tereza Cristina et al. Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de biologia celular e molecular no ensino médio por graduandos de ciências biológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular**. - [s.l.] : Alfenas, Vol. 1, 2009.

PALMERO, Maria Luz Rodríguez; MOREIRA, Marco Antonio. Modelos menateles de la estructura y del funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre: [s.n.], - 2: Vol. 4, 1999.

PALMERO, Maria Luz Rodríguez. Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza de la biología y la investigación em el estudio de la célula. **Investigações em Ensino de Ciências**, - 3: Vol. 5, pp. 237-263, 2000.

PRINS, Jan F. et al. A virtual environment for steered molecular dynamics. **Future Generation Computer Systems**. - [s.l.] : Elsevier Science B.V. All rights reserved, - 4. - Vol. 15, pp. 485-495, julho de 1999.

REIMEIER, Tanja; GROPPENGIEBER, Harald. On the Roots of Difficulties in Learning about Cell Division: Process-based analysis of student conceptual development in teaching experiments. **International Journal of Science Education**, - 7. - Vol. 30, pp. 923-939, junho de 2008.

RHEINGOLD, Howard. **Realidade Virtual: los mundos artificiales generados por ordenador que modificarán nuestras vidas**. - [s.l.]: Gedisa, 1994. p. 408.

RIZZATO, Andréia C.; NUNES, Fátima L. S. Realidade Virtual aplicada à educação: reflexões sobre o estado da arte e o futuro. **IX Workshop de Realidade Virtual e Aumentada**. - s/a.

RODRIGUES, Leude Pereira; MOURA, Lucilene Silva; TESTA, Edimácio. O Tradicional e o moderno quanto a didática do ensino superior. **Revista Científica do ITPAC**. Araguaína: [s.n.], - 3 : Vol. 4, pp. 1-9, 2011.

SANTOS, Tessa Larissa de; OLIVEIRA, Diene Eire Melo Bortotti de. O uso de recursos didáticos no ensino superior. **II Jornada de didática e I seminário de pesquisa do CEMAD**. Londrina: [s.n.], 2013.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Cortez, 2007. - 23.

SIQUEIRA, Jairo. **Criatividade Aplicada**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. - 1.

SOARES, Michel dos Santos. Comparação entre Metodologias Ágeis e Tradicionais para o Desenvolvimento de Software. **Revista INFOCOMP de Ciência da Computação**, - 2: Vol. 3, pp. 8-13, novembro de 2004.

SOTRES, Rogelio Rodríguez et al. Simulated Site-directed Mutations in a Virtual Reality Environment as a Powerful Aid for Teaching the Three-dimensional Structure of Proteins. **Educación Química**, - 4. - Vol. 20, pp. 461-465, outubro de 2009.

TORI, Romero. A presença da tecnologia. In: _____. **Educação sem Distância**: As tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem. São Paulo: Senac São Paulo, 2010.

TORI, Romero; KIRNER, Cláudio. Fundamentos de Realidade Virtual. In: TORI, Romero; KIRNER, Cláudio; SISCOOTTO, Robson. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2006.

TORI, Romero. **Educação sem distância**: as tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem. São Paulo: Artesanato Educacional, 2017. - 2.

Tutoriais Blender. Disponível em: <https://www.graphicsandprogramming.net/por>. - 3 de novembro de 2017. - <https://www.graphicsandprogramming.net/por/tutorial/blender>.

UNITY. Unity 3D. - Unity Technologies ApS, 16 de janeiro de 2019. - 08 de abril de 2019. - Disponível em: <https://unity.com/pt>.

VALÉRIO, NETTO Antonio. Realidade Virtual: economiza tempo e dinheiro na cadeia automotiva. **Revista Engenharia Automotiva e Aeroespacial**, - 9, pp. 32-37, abril de 2002.

VIANNA, Ilca Oliveira de Almeida. **Metodologia do Trabalho científico: um enfoque didático da produção científica**. - [s.l.]: Editora E.P.U., 2001.

VINCE J. **Virtual Reality Systems**. - [s.l.] : Addison-Wesley, 2004.

VIVE VIVE™ | Sistema de Realidade Virtual. Disponível em: www.vive.com. - 04 de Abril de 2018. - <https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>.

WINN, Willian. **A Conceptual Basis for Educational Applications of Virtual Reality**. - agosto de 1993.

XU, Xiaoqian et al. Exploration of an interactive “Virtual and Actual Combined” teaching mode in medical developmental biology. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, - 6: Vol. 46, pp. 585-591, novembro de 2018.

ZUANON, Átima Clemente Alves; DINIZ, Raphael Hermano Santos; NASCIMENTO, Luziane Helena do. Construção de jogos didáticos para o ensino de Biologia: um recurso para integração dos alunos à prática docente. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, - 3: Vol. 3, pp. 49-59, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE I – TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO*

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título do Projeto: Simulador em ambiente de Realidade Virtual para o ensino da Membrana Plasmática

Pesquisadores Responsáveis: Juliardnas Rigamont dos Reis, Prof. Dr Dionne Cavalcante Monteiro.

Instituição dos Pesquisadores Responsáveis: Universidade Federal do Pará – Núcleo de Inovação e Tecnologias Aplicadas a Ensino e Extensão – NITAE².

Contato: (91) 992434516 – Juliardnas Rigamont dos Reis (juliarigamont@yahoo.com.br).

Nome do estudante: _____.

Idade: _____ anos R.G. _____.

Responsável legal (quando for o caso): _____

R.G. Responsável legal: _____

O(a) estudante _____ está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa **“Simulador da Membrana Plasmática em ambiente de Realidade Virtual como recurso didático para o ensino de Biologia Celular”**, de responsabilidade da pesquisadora Juliardnas Rigamont dos Reis, sob orientação do Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro.

O presente estudo tem por objetivo desenvolver e validar o simulador em ambiente de realidade virtual da membrana plasmática, para ser utilizado como ferramenta didática no processo de ensino-aprendizagem da disciplina Biologia Celular, além de investigar como o uso do recurso tecnológico influencia na compreensão dos processos biológicos trabalhados pelos graduandos.

A atividade desenvolvida consiste na aplicação do Simulador em Ambiente de Realidade Virtual da Membrana Plasmática, desenvolvido pelos pesquisadores mencionados, nos cursos de graduação que possuam em sua ementa as disciplinas de Biologia Celular, onde a temática explorada no *software* é ministrada. Durante a sessão de aplicação do simulador, os graduandos deverão navegar pela célula, explorar a membrana plasmática e os transportes de substâncias que ocorrem através dela.

O método de aplicação e análise do comportamento dos estudantes será dividido em dois momentos: aplicação do simulador em realidade virtual da membrana plasmática e aplicação de questionário. A atividade será realizada em sala de aula, e todas as informações obtidas pelo registro ou experimento serão sigilosas.

A realização do trabalho não acarretará prejuízos quer do ponto de vista acadêmico, quer de qualquer natureza ao estudante participante. O experimento visa validar a ferramenta e investigar o efeito que esta tem no processo de ensino-aprendizagem da membrana plasmática.

A participação do graduando é **voluntária**, sendo que este consentimento poderá ser retirado a qualquer momento, sem prejuízos a nenhuma das partes envolvidas.

Reitera-se que qualquer informação gerada será sigilosa, sendo de uso exclusivamente científico. A privacidade dos participantes desta pesquisa sempre será preservada e assegurada de tal forma a não identificar os participantes nominalmente.

Informamos que o(a) senhor(a) não pagará nem será remunerado por sua participação.

Qualquer dúvida eventual sobre esta pesquisa poderá ser sanada com um telefonema ou e-mail aos pesquisadores responsáveis (informações disponibilizadas no início do termo), ou pelo Programa de Pós-Graduação em Criatividade e Inovação em Metodologias do Ensino Superior (PPGCIMES) do Núcleo de Inovação em Tecnologias Aplicadas a Ensino e Extensão (NITAE) da Universidade Federal do Pará – Campus Universitário do Guamá, Av. Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP: 66.075-110, Belém-PA, telefone 3201-8698, e-mail: ppgcimes.ufpa@gmail.com.

Agradecemos sua apreciação deste documento e sua eventual concordância com a participação nesta pesquisa.

Eu, _____, R.G. nº _____, responsável legal por _____, R.G. nº _____, declaro ter sido informado e concordo com sua participação, como voluntário, no projeto de pesquisa acima descrito.

Belém, ____ de _____ de _____.

Assinatura do participante ou responsável

Testemunha

Testemunha

APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO PARA GRADUANDOS E PÓS-GRADUANDOS

	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA</p> <p>NUCLEO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIAS APLICADAS A ENSINO E EXTENSÃO – NITAE²</p> <p>PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CRIATIVIDADE E INOVAÇÃO EM METODOLOGIAS DO ENSINO SUPERIOR – PPGCIMES</p> <p>LINHA DE PESQUISA: INOVAÇÕES METOLÓGICAS NO ENSINO SUPERIOR – INOVAMES</p>	
---	---	---

Projeto: Simulador em ambiente de Realidade Virtual para o ensino da Membrana Plasmática.

Identidade de Gênero: Masculino Feminino **Idade:** _____ **Instituição de Ensino:** _____

Curso: _____ **Disciplina:** _____

A SEGUIR, HÁ ALGUMAS QUESTÕES RELACIONADAS À UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR EM REALIDADE VIRTUAL DA MEMBRANA PLASMÁTICA E SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM. RESPONDA-AS UTILIZANDO A ESCALA REPRESENTADA NA LEGENDA ABAIXO.

		<input type="checkbox"/> 1 Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> 2 Discordo <input type="checkbox"/> 3 Indiferente <input type="checkbox"/> 4 Concordo <input type="checkbox"/> 5 Concordo Totalmente
Quanto à utilização do simulador, responda as questões abaixo:		
1.	O simulador é difícil de ser manipulado	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
2.	As instruções fornecidas foram suficientes para utilização e manuseio do recurso	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
3.	Foi muito interessante utilizar esse recurso	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
4.	Gostei de participar de uma experiência em Realidade Virtual	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
5.	Em alguns momentos fiquei entediado durante a utilização do recurso	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
6.	A utilização da realidade virtual no ensino estimula o aprendizado	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
7.	Tive um bom desempenho durante a utilização do recurso	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
8.	Após a aplicação do recurso compreendi melhor o conteúdo	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
9.	Você gostaria de utilizar esse recurso outras vezes?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
10.	Você recomendaria o uso do simulador a outras pessoas?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO

11. Você sentiu dificuldades ao utilizar o simulador? Comente sua experiência, destacando quais foram as suas dificuldades
12. Qual o assunto relacionado à membrana plasmática ficou mais fácil de assimilar após a utilização do simulador?
13. A estrutura básica de todas as membranas celulares é uma bicamada fosfolipídica. Durante a utilização do simulador, quais foram os movimentos realizados por essas estruturas que você conseguiu visualizar?
14. Quais os tipos de proteína de membranas você observou durante o uso do simulador? Exemplifique e cite diferenças entre elas.
15. Quais os tipos de transporte você percebeu durante o uso do simulador? Exemplifique
16. Os canais iônicos são altamente seletivos, permite a passagem somente de íons com tamanho e cargas apropriadas. O simulador permitiu que observasse isso? Exemplifique
17. Em sua opinião, o que poderia ser melhorado no ambiente virtual, para que sua experiência e seu aprendizado sejam mais positivos?

Obrigada pela disposição e cooperação em utilizar e avaliar o Simulador em ambiente de Realidade Virtual como recurso didático para o ensino da Membrana Plasmática. Sua opinião é muito importante para auxiliar na melhoria deste recurso didático.

APÊNDICE III – QUESTIONÁRIO PARA DOCENTES DE BIOLOGIA CELULAR

	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA NUCLEO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIAS APLICADAS A ENSINO E EXTENSÃO – NITAE² PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CRIATIVIDADE E INOVAÇÃO EM METODOLOGIAS DO ENSINO SUPERIOR – PPGCIMES LINHA DE PESQUISA: INOVAÇÕES METOLÓGICAS NO ENSINO SUPERIOR - INOVAMES</p>	
---	---	---

Projeto: Simulador em ambiente de Realidade Virtual para o ensino da Membrana Plasmática.

Sexo: Masculino Feminino

Idade: _____

Instituição de Ensino que leciona: _____

Após a experimentação do simulador, avalie-o utilizando a tabela abaixo, onde se faz uso da escala de Likert, que permite classificar as afirmativas, presentes na primeira coluna, em uma escala que varia de 1 a 5, o que possibilita quantificá-las, permitindo uma análise objetiva quanto ao funcionamento do simulador. Você pode complementar a sua avaliação, respondendo às questões abertas.

Análise do professor quanto à usabilidade do Simulador de Realidade Virtual para o ensino da Membrana Plasmática	Discordo totalmente	Discordo	Indiferente	Concordo	Concordo totalmente
Pesos	1	2	3	4	5
Usar este simulador pode tornar o processo ensino-aprendizagem do assunto mais interessante.					
É mais fácil ensinar Biologia Celular utilizando este simulador ou outros semelhantes a esse.					
O simulador pode ser utilizado para realizar revisão do assunto trabalhado.					
As informações apresentadas são úteis, objetivas e contribuem para compreender o assunto abordado.					
O simulador é fácil de ser manuseado.					
As representações das informações da interface são fáceis de ser reconhecidas (menu, modelagens etc).					
Seria interessante ter simuladores como este, abordando outros conteúdos					

1. Você já teve contato com algum recurso de realidade virtual voltado para o ensino?

() Sim () Não

2. Caso a resposta da pergunta anterior seja afirmativa, descreva onde e como foi à experiência.

3. Baseada na experiência em realidade virtual que vivenciou ao utilizar o **Simulador em ambiente de Realidade Virtual para o ensino da Membrana Plasmática**, você acredita que essa tecnologia é um bom recurso para ser utilizado no ensino de Biologia Celular e Molecular? Por quê?

4. Você adotaria esse simulador em suas aulas de biologia celular e molecular? Por quê?

5. Os conceitos de biologia molecular e celular abordados no simulador estão corretos?

6. Em relação ao design do simulador, você considera que os formatos e as cores utilizadas nas modelagens estão apropriadas?

() Sim () Não

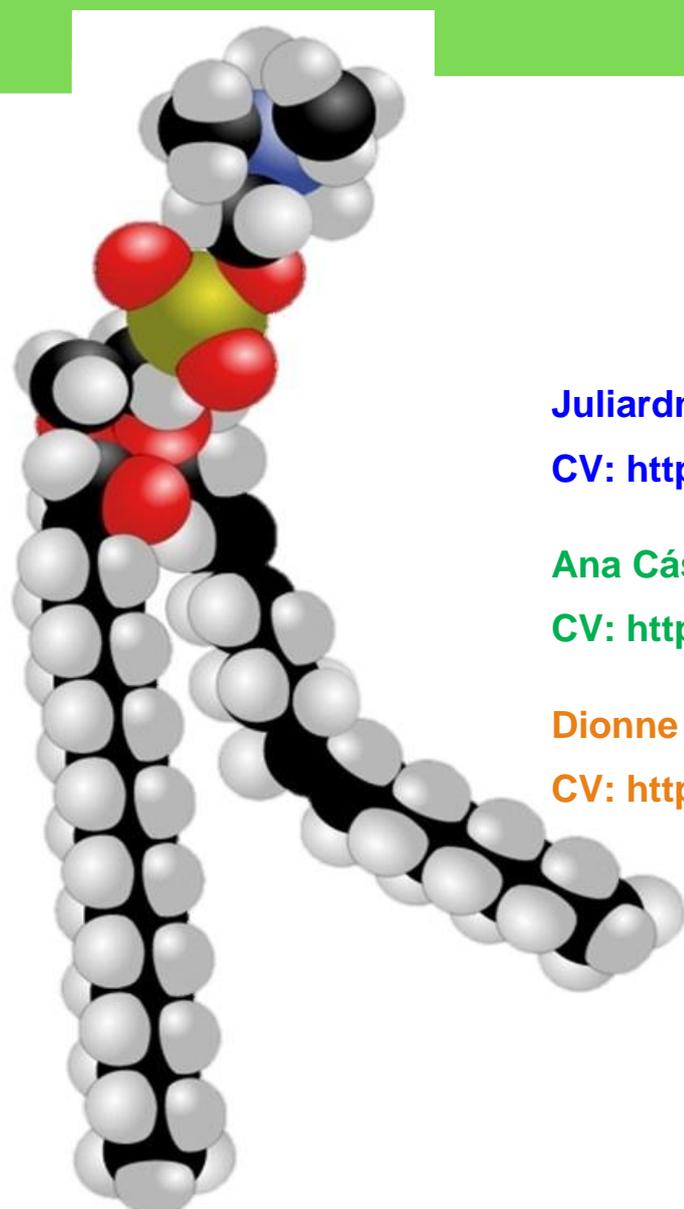
7. Caso não estejam, o que poderia melhorar?

8. Você considera que algum aspecto do conteúdo abordado no simulador precisa ser adequado e/ou melhorado? O quê?

Obrigada pela disposição e cooperação em utilizar e avaliar o Simulador em ambiente de Realidade Virtual como recurso didático para o ensino da Membrana Plasmática. Sua opinião é muito importante para auxiliar na melhoria deste recurso didático

APÊNDICE IV – GUIA PARA MONTAGEM DO QUEBRA-CABEÇA DOS FOSFOLIPÍDEOS

GUIA PARA MONTAGEM DO QUEBRA-CABEÇA DOS FOSFOLIPÍDEOS



AUTORES

Juliardnas Rigamont dos Reis - UFPA

CV: <http://lattes.cnpq.br/9792261025601451>

Ana Cássia Sarmiento Ferreira - IFPA

CV: <http://lattes.cnpq.br/2022102405472089>

Dionne Cavalcante Monteiro - UFPA

CV: <http://lattes.cnpq.br/4423219093583221>

APRESENTAÇÃO

E aí, jogador! Está preparado para se divertir e aprender tudo sobre os fosfolipídeos? Este quebra-cabeça vai te desafiar a construir as fórmulas espaciais dos fosfolipídeos por meio de modelos didáticos que facilitam o processo de ensino-aprendizagem. Mas não se preocupe, este guia foi feito para te ajudar. Ele reúne pistas para você descobrir como montar cada fórmula. Assim, você poderá desenvolver aprendizagem significativa brincando!

Você vai entender a organização dos átomos e as ligações químicas existentes entre eles de forma diferente. Ao invés de simplesmente escrever a fórmula estrutural ou visualizar uma imagem bidimensional dos fosfolipídeos, você terá a oportunidade de manusear e construir as fórmulas sozinho, seguindo algumas dicas fornecidas aqui.

Para jogar, você tem à disposição 425 (quatrocentos e vinte e cinco) átomos de hidrogênio, representados por bolas brancas; 230 (duzentas e trinta) átomos de carbono, simbolizados por bolas pretas; 50 (cinquenta) átomos de oxigênio, reproduzidos em bolas vermelhas; 10 (dez) átomos de fósforo, equivalentes às bolas verdes e 10 (dez) átomos de nitrogênio, demonstrados em bolas azuis. Tais átomos constituem os fosfolipídeos da membrana plasmática de células animais. Além disso, o “quebra-cabeça dos fosfolipídeos” apresenta hastes metálicas para estabelecerem as ligações químicas entre esses átomos.



POR QUE APRENDEMOS MAIS QUANDO BRINCAMOS?

Este guia foi elaborado porque o estímulo visual contribuirá para sua aprendizagem, afinal, a maioria das informações que seu cérebro recebe é através da visão. Isso ocorre tanto na leitura de textos quanto na observação de imagens, mas a assimilação imagética é muito mais rápida, pois o cérebro é capaz de perceber uma imagem em um décimo de segundo [1].

O processo de aprendizagem está intimamente ligado aos estímulos enviados ao cérebro humano, e depende desses para ativar o raciocínio e a assimilação. Portanto, o trabalho do professor não consiste em motivar o aluno, mas sim em estimular o seu raciocínio [2].

Mas quando o modelo de ensino é abstrato e vertical, a probabilidade de o aluno aprender menos é grande, pois, ao assumir uma postura passiva, ele restringe-se a aprender decorando e copiando, mas não exercita a capacidade de criar e transformar, ações fundamentais para a sua formação [3].



[1] OLIVEIRA, 2011.

[2] ZANATA, 2014.

[3] PACHANE, 2001.

Portanto, é importante que as atividades lúdicas se façam presentes na sala de aula, como elementos estruturantes do processo de ensinar e desencadeadores de aprendizagens significativas, aquelas em que o ser humano precisa integrar suas capacidades de pensar, agir e sentir, sem hipertrofiar. Mas ludicidade no ensino superior? Sim! Quem disse que na educação universitária não se pode trabalhar ludicamente? Primeiramente, é preciso desmistificar a compreensão restrita de ludicidade como sendo ação recreativa ou de lazer. O lúdico inclui, sim, a recreação, mas não se limita a ela. Recreação é uma atividade lúdica, externa. Não é ludicidade. Lazer também não é sinônimo de ludicidade [4].

Lazer é o espaço/tempo no qual as atividades lúdicas se realizam. Ludicidade é um estado interno, uma atitude de quem vivencia uma experiência lúdica plenamente. A ausência da linguagem visual tem reduzido o ensino-aprendizagem, pois as práticas utilizadas são reiteradamente academicistas, ou muito assentadas sobre conteúdos abstratos. Não que os conteúdos não sejam importantes. Eles são nossa matéria-prima, isso é uma questão indiscutível. Mas é preciso entender que o ser humano não aprende apenas com o intelecto [4].

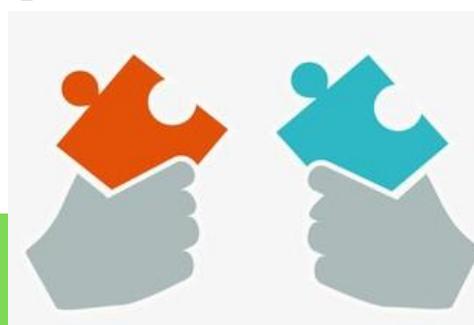


E foi a partir desses princípios que o “quebra-cabeça dos fosfolipídeos” foi elaborado para você. Na montagem das peças, você conseguirá enxergar aquilo que está aprendendo, tornando-se mais ativo no processo de ensino-aprendizagem e facilitando a memorização dos conteúdos. Isso porque, ao juntar as peças, será capaz de visualizar e compreender as ligações químicas estabelecidas pelos átomos que constituem os fosfolipídeos.

Então, jogador, o estímulo visual representa um grande potencial para o processo de ensino-aprendizagem, pois, além de despertar seu interesse e sua curiosidade, poderá contribuir para reter melhor o conteúdo.

Após a aula teórica sobre os fosfolipídeos, você poderá montar seu próprio quebra-cabeça, uma ferramenta visual que beneficiará a aprendizagem da bioquímica dessa molécula específica.

Esse quebra cabeça é importante para o processo de aprendizagem, pois materializa um conhecimento abstrato. Quando o aluno trabalha apenas com memorização, é comum que esqueçam os conceitos após a aula. Mas quando o aluno faz, a aprendizagem é efetiva, pois, de acordo com a pirâmide de aprendizagem, o ser humano aprende: 10% quando lê; 20% quando ouve; 30% quando observa; 50% quando vê e ouve; 70% quando discute com outros; 80% quando faz; 95% quando ensina aos outros [5].

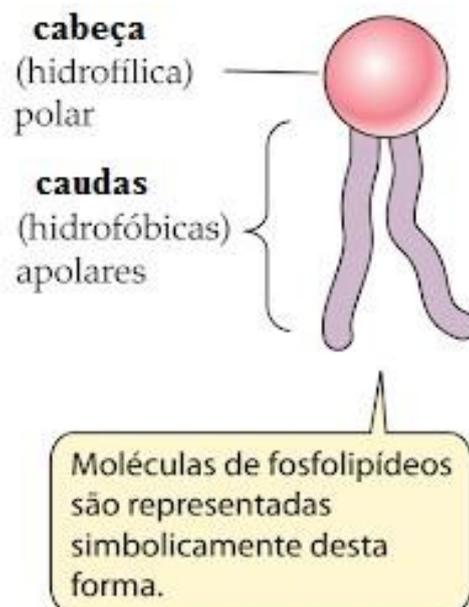




Os fosfolipídeos são os mais abundantes lipídeos da membrana plasmática. São moléculas anfifílicas, isto é, que apresentam uma região hidrofílica, solúvel em meio aquoso, e uma região hidrofóbica, insolúvel em água, porém solúvel em lipídios e solvente orgânicos. (COOPER, 2007).

Todos os fosfolipídios são constituídos por duas cadeias de ácidos graxos, que compõem a “cauda” hidrofóbica dos fosfolipídeos (figura 1), ligadas a uma molécula de glicerol ou esfingosina, que, por sua vez, possui outro grupamento ligado a si. Esse grupamento pode ser uma etanolamina, uma serina, uma colina ou um inositol. O glicerol, junto com esse grupamento, compõe a “cabeça” hidrofílica (figura 1).

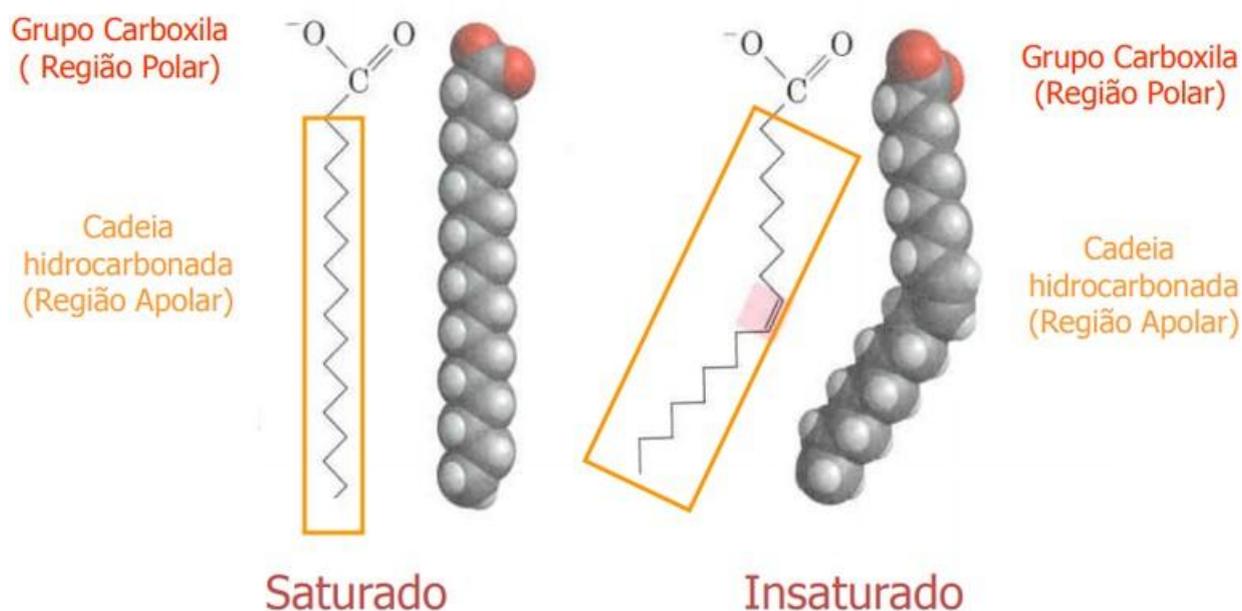
Figura 1: Modelo da molécula de fosfolipídeos.



Fonte: Hiil et al. (2012).

Os ácidos graxos diferem entre si pela extensa cadeia de hidrocarbonetos (figura 2) que possui, bem como pela presença, número e posição dessas duplas ligações. Quando não apresentam dupla ligação, são denominados de “saturados”. Já quando há dupla ligação, são chamados de “insaturados”.

Figura 2: Ácido Graxo Saturado e Insaturado.



Fonte: GOULART, Flávia Cristina, s/d.

QUAIS OS TIPOS DE FOSFOLIPÍDEOS QUE SERÃO MONTADOS?

Este quebra-cabeça representa os fosfoglicerídeos, que apresentam uma cadeia principal de glicerol com três carbonos ($C_3H_5O_3$). Os carbonos adjacentes ao glicerol se ligam às duas longas cadeias de hidrocarbonos, já o terceiro átomo de carbono do glicerol liga-se a um grupo fosfato. Esse, por sua vez, une-se a vários tipos de grupamentos, constituindo diferentes fosfoglicerídeos. Os mais abundantes na membrana plasmática animais são: fosfatidiletanolamina, fosfatidilserina, fosfatidilcolina e fosfatidilinositol (ALBERTS et al., 2017).

Outra importante classe de fosfolipídeos, também representada neste quebra-cabeça, são os esfingolipídios. Ao invés de glicerol, eles apresentam esfingosina, que é uma longa cadeia acetil com um grupo amino (NH_2) e dois grupos hidroxila (OH) em uma das extremidades. Nestes fosfolipídeos, uma cauda de hidrocarbonetos é ligada ao grupo amino, e um grupo fosfocolina é ligado ao grupo hidroxila terminal, como é o caso da esfingomiélin (ALBERTS et al., 2017).



DICAS PARA MONTAGEM DOS FOSFOLIPÍDEOS

As “caudas” de todos os fosfolipídeos (fosfatidilinositol, fosfatidilcolina, fosfatidilserina, fosfatidiletanolamina e esfingomielina) representados neste quebra-cabeça são simbolizadas por duas cadeias hidrocarbonadas e um grupamento carboxila (COOH ou CO₂H) terminal.

Cauda Saturada: formada por 18 carbonos.

Cauda Insaturada: grau de insaturação 18:1 (Δ9).

Observe que a diferença entre os variados tipos de fosfolipídeos está na cabeça.

1. Fosfatidiletanolamina

Tem a cabeça constituída por glicerol (C₃H₈O₃), grupo fosfato (PO₄⁻³) e etanolamina (C₂H₇NO). O glicerol une-se às caudas e sua outra extremidade se une ao grupo fosfato, que também estabelece ligação com a etanolamina.

2. Fosfatidilserina

Sua cabeça é formada por glicerol (C₃H₈O₃), grupo fosfato (PO₄⁻³) e serina (C₂H₇NO₃). O glicerol une-se às caudas e sua outra extremidade une-se ao grupo fosfato, que, por sua vez, estabelece ligação com a serina.

3. Fosfatidilcolina

Os componentes da cabeça são glicerol ($C_3H_8O_3$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e colina ($C_5H_{14}NO$). O glicerol une-se às caudas e sua outra extremidade se une ao grupo fosfato, esse estabelece ligação com a colina.

4. Fosfatidilinositol

A composição química de sua cabeça é glicerol ($C_3H_8O_3$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e inositol ($C_6H_{12}O_6$). O glicerol estabelece ligação química com as caudas e sua outra extremidade estabelece ligação química com o grupo fosfato, que, por sua vez, se liga ao inositol.

5. Esfingomielina

A composição química de sua cabeça é esfingosina ($C_{26}H_{47}NO_2$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e colina ($C_5H_{14}NO$). A esfingosina realiza ligação química com as caudas e sua outra extremidade se liga ao grupo fosfato, que, por sua vez, se liga a colina.



AS DICAS NÃO FORAM SUFICIENTES PARA MONTAR SEU FOSFOLIPÍDEO? ENTÃO VAMOS FACILITAR AINDA MAIS!



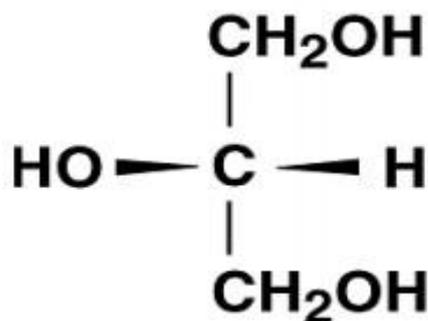
As “caudas” de todos os fosfolipídeos (fosfatidilinositol, fosfatidilcolina, fosfatidilserina, fosfatidiletanolamina e esfingomielina) apresentados nesse quebra-cabeça são representadas por duas cadeias hidrocarbonadas e um grupamento carboxila (COOH ou CO₂H) terminal.

Cauda Saturada: CH₃ (CH₂)₁₆CO₂H

Cauda Insaturada: CH₃ (CH₂)₇CH = CH (CH₂)₇CO₂H

O que diferencia um fosfolipídeo de outro é a cabeça, sendo que quatro tipos de fosfolipídeos apresentam o glicerol na sua formação, e a representação química do glicerol é:

Figura 3: Fórmula Estrutural do Glicerol.

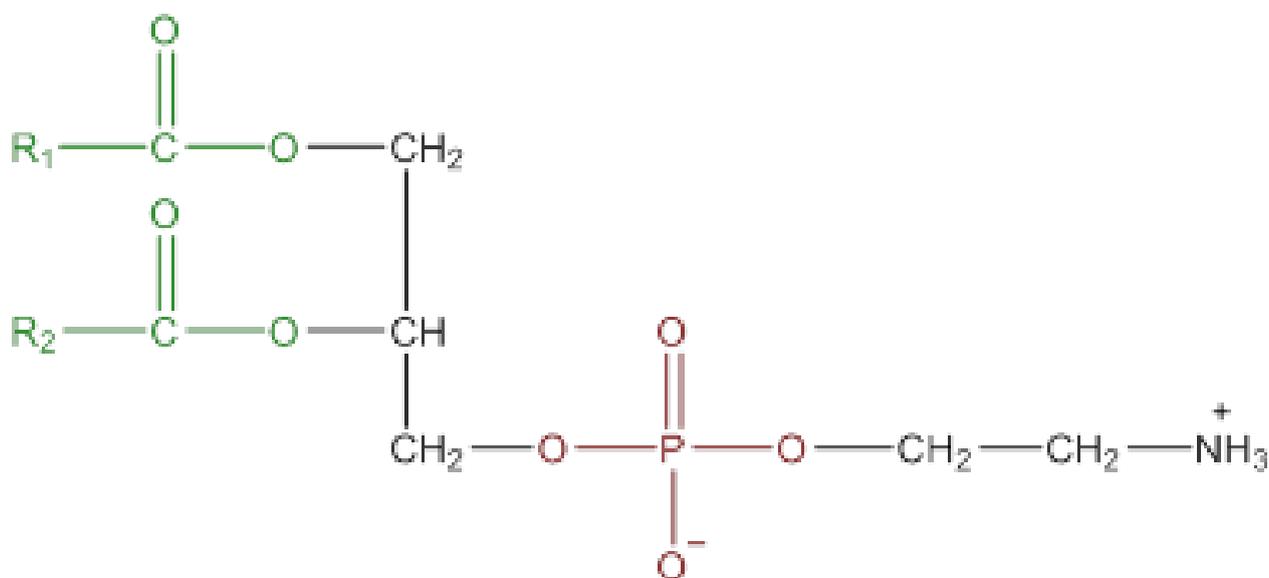


Fonte: autores, 2019.

1. Fosfatidiletanolamina

Tem a cabeça constituída por glicerol ($C_3H_8O_3$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e etanolamina (C_2H_7NO). O glicerol une-se às caudas e sua outra extremidade se une ao grupo fosfato, que também estabelece ligação com a etanolamina.

Figura 4: Fórmula Estrutural do Fosfatidiletanolamina.

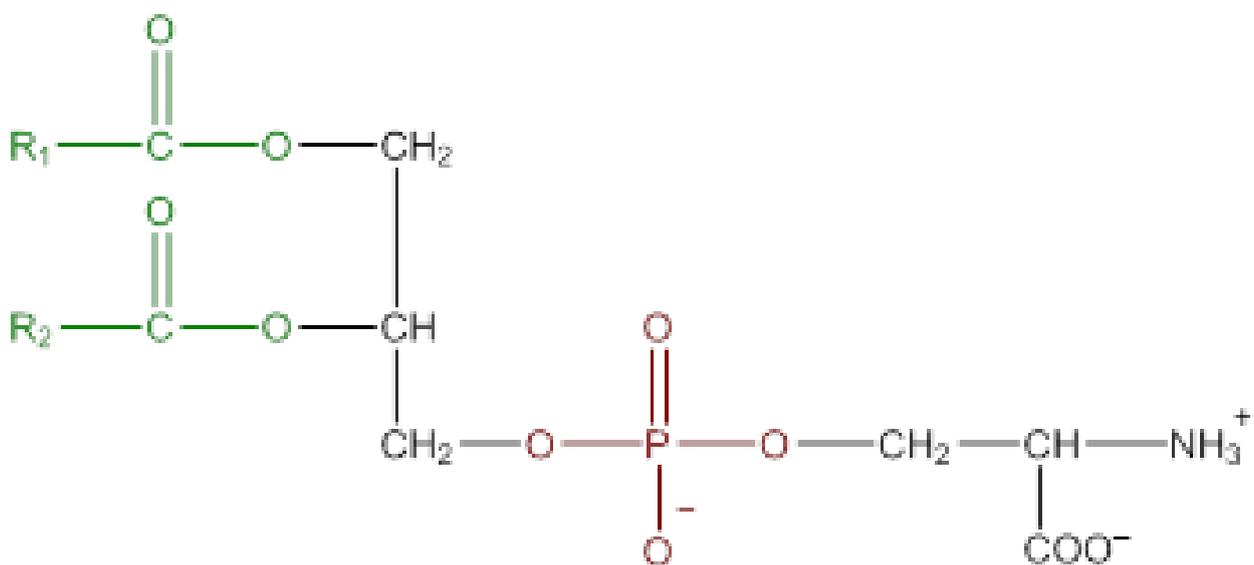


Fonte: autores, 2019.

2. Fosfatidilserina

Sua cabeça é constituída por glicerol ($C_3H_8O_3$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e serina ($C_2H_7NO_3$). O glicerol une-se às caudas e sua outra extremidade se une ao grupo fosfato, esse estabelece ligação com a serina.

Figura 5: Fórmula Estrutural do Fosfatidilserina.

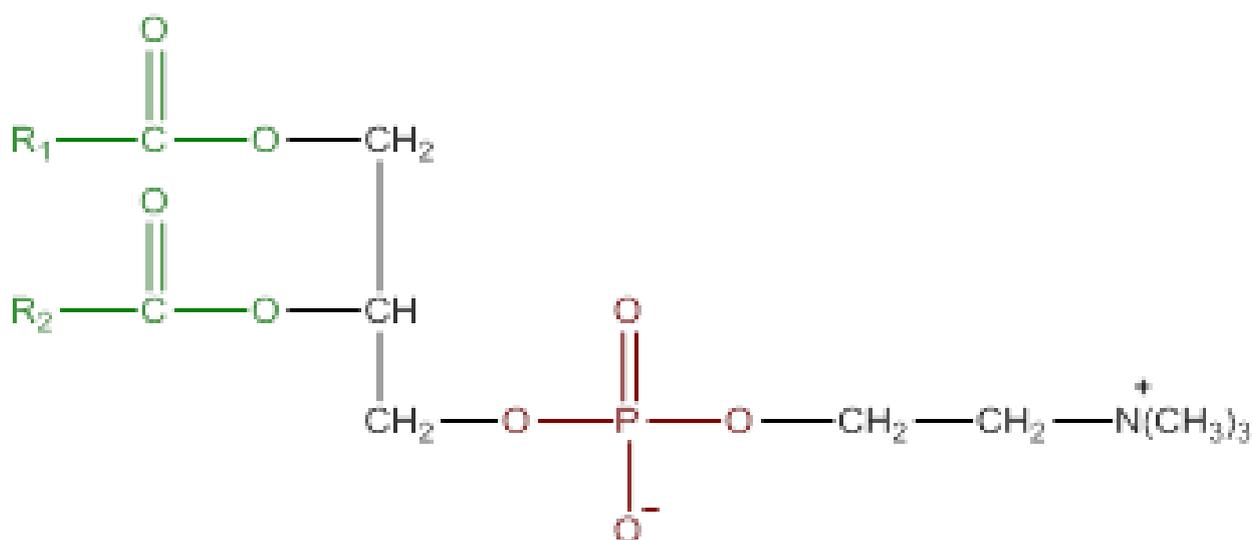


Fonte: autores, 2019.

3. Fosfatidilcolina

Os componentes da cabeça são glicerol ($C_3H_8O_3$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e colina ($C_5H_{14}NO$). O glicerol une-se às caudas e sua outra extremidade se une ao grupo fosfato, esse estabelece ligação com a colina.

Figura 6: Fórmula Estrutural do Fosfatidilcolina.



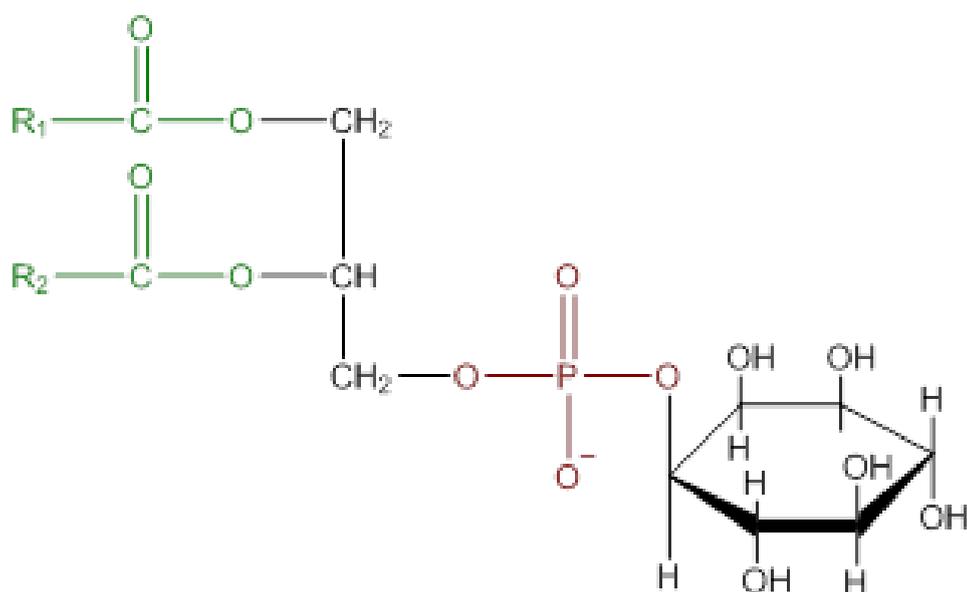
Fonte: autores, 2019.



4. Fosfatidilinositol

A composição química de sua cabeça é glicerol ($C_3H_8O_3$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e inositol ($C_6H_{12}O_6$). O glicerol estabelece ligação química com as caudas e sua outra extremidade estabelece ligação química com o grupo fosfato, que, por sua vez, se liga ao inositol.

Figura 7: Fórmula Estrutural do Fosfatidilinositol

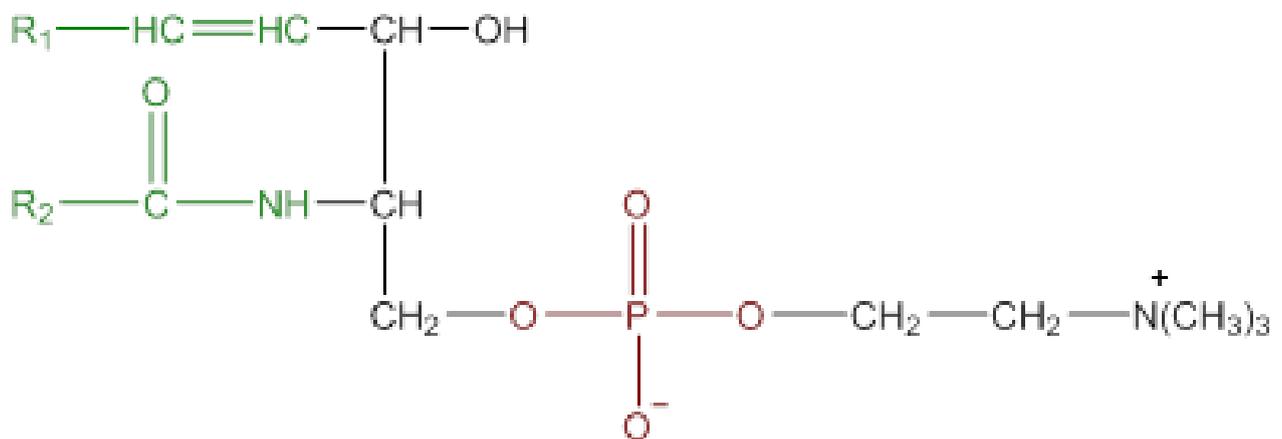


Fonte: autores,-2019.

5. Esfingomielina

A composição química de sua cabeça é esfingosina ($C_6H_{10}O_2N$), grupo fosfato (PO_4^{-3}) e colina ($C_5H_{14}NO$). A esfingosina realiza ligação química com as caudas e sua outra extremidade se liga ao grupo fosfato, que, por sua vez, se liga à colina.

Figura 8: Fórmula Estrutural do Esfingomielina.



Fonte: autores, 2019.



REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTS, B. et al. **Biologia Molecular da Célula**. Tradução de Ardala Elisa Breda Andrade et al. 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

COOPER, G.M. **A célula: Uma abordagem molecular**. 3ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

D'ÁVILA, Cristina M. **Didática Lúdica: Saberes Pedagógicos e Ludicidade no Contexto da Educação Superior**. Setembro/2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324848479_Didatica_Ludica_saberes_pedagogicos_e_ludicidade_no_contexto_da_educacao_superior> Acesso em: 21 de maio de 2019.

GLASSER, W. (2017). William Glasser. Fonte: PPD: Disponível em: <<http://www.ppd.net.br/william-glasser/>>. Acesso em: 21 de maio de 2019.

GOULART, Flávia Cristina, s/d. **Lipídios**. Disponível em: <<https://www.marilia.unesp.br/Home/Instituicao/Docentes/FlaviaGoulart/lipidios.pdf>> Acesso em: 21 de maio de 2019.

HILL, Richard W.; GORDON, A.; WYSE, Margaret Anderson. **Fisiologia Animal** (recurso eletrônico). 2ª edição. Dados eletrônicos. Porto Alegre: Artmed, 2012.

OLIVEIRA, Gilberto Gonçalves. **Neurociência e os Processos Educativos: Um Saber Necessário na Formação de Professores**. Programa de mestrado em educação linha de pesquisa: cultura e processos educativos. Uberaba 2011. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/277132829>>. Acesso em 16 mai 2019.

PACHANE, G. O caráter híbrido da “língua portuguesa” no ensino superior. In: Anais XIII COLE: **Congresso de Leitura no Brasil**. UNICAMP, 2001.

ZANATA, Milena Hoppen. A Contribuição da estimulação para a Aprendizagem. **Revista de Educação do IDEAU**. Vol. 9 – Nº 20 - Julho - Dezembro 2014 Semestral ISSN: 1809-6220. Disponível em <https://www.ideau.com.br/getulio/restrito/upload/revistasartigos/222_1.pdf>. Acesso em 15 maio 2019.



