



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

GLENDAL QUARESMA ALVES

**GLICOLISEUM: SIMULADOR EM AMBIENTE DE
REALIDADE VIRTUAL PARA O ENSINO DA PRIMEIRA
FASE DA RESPIRAÇÃO CELULAR**

BELÉM- PARÁ
2019

GLEND A QUARESMA ALVES

**GLICOLISEUM: SIMULADOR EM AMBIENTE DE
REALIDADE VIRTUAL PARA O ENSINO DA PRIMEIRA
FASE DA RESPIRAÇÃO CELULAR**

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

BELÉM-PARÁ
2019

A474g Alves, Glenda Quaresma

Glicoliseum: simulador em ambiente de realidade virtual para o ensino da primeira fase da respiração celular /Glenda Quaresma Alves, .-- 2019.

125 f. : il. color.

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

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. Respiração Celular. 3. Ensino. 4. Recursos Didáticos. 5. Realidade Virtual. I. Título

C.D.D. 371.397

GLEND A QUARESMA ALVES

**GLICOLISEUM: A REALIDADE VIRTUAL COMO
RECURSO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE BIOLOGIA
MOLECULAR**

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

RESULTADO: () APROVADO () REPROVADO

Data:

Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro

Profa. Dra. Luciana Pereira Xavier

Prof. Dr. Marcio Lima do Nascimento

BELÉM-PARÁ
2019

*A meus pais, minhas maiores inspirações e
exemplos de amor. Amo vocês!*

AGRADECIMENTOS

Durante minha formação acadêmica, inúmeras pessoas acompanharam-me e auxiliaram-me a trilhar novos caminhos e superar as barreiras que se apresentaram. Estas tornaram-se fundamentais para que eu atingisse meus objetivos e pudesse chegar onde estou hoje.

Proporcionando suporte, conforto e escutando minhas inquietações, essas pessoas me ofereceram seus abraços e conselhos, dando-me novas forças para reorganizar o caos de sentimentos e emoções que em mim se instalava, e seguir adiante.

Portanto, ao completar mais essa etapa de minha vida e realizar este sonho que é o mestrado, venho agradecer em primeiro lugar a Deus, por todas as bênçãos que Ele me contempla, por iluminar meus caminhos em todos os momentos, rogando e cuidando de minha vida. Sem Ele nada seria possível.

Agradeço, com todo meu amor, a meus pais, Haroldo Dias Alves e Maximiana de Lourdes Quaresma Alves. Alicerces de minha vida, que não medem esforços em me apoiar, orientar, acolher e inundá-la de amor incondicional, alimentando minhas forças para seguir em frente e trilhar novos caminhos, buscando explorar novos horizontes.

Agradeço também a meu irmão e grande amigo Gianluca Quaresma Alves, que por muitas vezes compreendeu exatamente meus sentimentos, escutou minhas dúvidas e me encorajou a perseguir meus sonhos.

Sendo minha fortaleza e porto seguro, vocês me impulsionam a buscar o melhor de mim e evoluir não só como profissional, mas, sobretudo como cidadã, que almeja contribuir para a construção de uma sociedade calcada em valores humanistas, mais justa e fraterna.

Um dos maiores presentes dado a nós por Deus, é nossa família. Sou muito grata por também poder contar com o apoio de tios, tias e avós, que em muitas ocasiões atuaram como pai e mãe, me oferecendo carinho, conselhos e risos. Que o tempo traga a nossa família amor e união sempre, para que estejamos nos apoiando e comemorando nossas vitórias juntos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Dionne Cavalcante Monteiro, pelo conhecimento e conselhos a mim repassados, além da serenidade sempre demonstrada em nossos diálogos, o que me proporcionou evoluir não apenas como profissional, mas também como pessoa.

Nessa nova trajetória, que foi o mestrado, tive a dádiva de ter ao meu lado meus diletos amigos e irmãos de outras mães, Angela Alexandre e Yuri Macedo. Companheiros de todas as horas, nós choramos, sorrimos e nos apoiamos, superando obstáculos e comemorando juntos as vitórias uns dos outros. Profissionais brilhantes além de seres humanos maravilhosos, rogo

a Deus que os abençoe sempre, fortalecendo nossa amizade cada vez mais. Sou muito abençoada por tê-los em minha vida.

O mestrado também me trouxe surpresas. Em meio a tantas leituras, trabalhos e inquietações, desenvolvi, em meses, laços de amizades que parecem existir a anos. Obrigada aos meus amigos, Aislan de Paula, Ana Carolina Quaresma, Edilson Nery, Jéssica Brigido, Juliardnas Rigamont e Mayara Maciel, que me acompanharam nessa jornada. Meus queridos, compartilharam comigo alguns dos momentos mais felizes que vivenciei nesses dois anos. Que nossa amizade se fortaleça com o tempo e se torne melhor a cada ano, para que possamos estar sempre perto, se não em corpo, mas em coração, celebrando nossas conquistas.

A toda a equipe do Laboratório de Inteligência Artificial (LAAI) sem os quais essa dissertação não seria possível. Obrigada por todas as conversas, ensinamentos e contribuições, fundamentais para o desenvolvimento do produto deste trabalho.

Por fim, agradeço ao Programa de Criatividade e Inovação em Metodologias do Ensino Superior (PPGCIMES) que, através de seus membros trabalham conjuntamente e incessantemente para a formação de profissionais comprometidos com a causa da educação. Em um período onde o processo de ensino não recebe a valorização e reconhecimentos devidos, sair da caixinha, inovar e buscar diferentes estratégias que valorizem os estudantes e repassem a estes, não só conceitos acadêmicos, mas valores humanisticamente dignificantes tornam-se diferenciais, na construção de uma sociedade solidária.

RESUMO

Esta dissertação apresenta o processo de concepção, desenvolvimento, testagem e validação de um simulador em ambiente de Realidade Virtual (RV) para o processo de glicólise, primeira fase da respiração celular. A ferramenta possui controle ambiental celular e foi desenvolvida como instrumento didático cujo objetivo é auxiliar as relações de ensino-aprendizagem nas disciplinas Biologia Celular e Molecular e Bioquímica, no ensino superior. As abordagens metodológicas utilizadas foram a quantitativa e qualitativa, obedecendo as três etapas do processo científico sugerido por Minayo (2009), a saber: fase exploratória, trabalho de campo e análise do material empírico e documental. O desenvolvimento do *software* seguiu o modelo de métodos ágeis, sendo a ferramenta desenvolvida por uma equipe de profissionais interdisciplinar. Como etapas de construção do produto, realizou-se a pesquisa bibliográfica, para dar suporte teórico aos conceitos glicolíticos, seguida da modelagem dos substratos glicolíticos e ambiente celular, no *software* de modelagem 3D Blender. Além disso, realizou-se a integração dessas moléculas ao ambiente em RV, através do motor de desenvolvimento de jogos Unity 3D, culminando na programação da via glicolítica e em formas de interação do usuário com o meio celular e substratos glicolíticos. 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. A testagem do produto foi realizada em uma turma do Bacharelado em Biotecnologia da Universidade Federal do Pará (UFPA) e em duas turmas de Licenciatura em Ciências Naturais do Programa Nacional de Formação de Professores da Educação Básica (PARFOR). Os dados da testagem foram obtidos por meio de questionários prévios e posteriores às experimentações e de entrevistas com os participantes da pesquisa. A partir da análise de conteúdos percebeu-se na comparação dos questionários que, de forma geral, os alunos envolvidos na testagem desenvolveram ou expandiram suas aprendizagens sobre os conceitos abordados.

Palavras-chaves: Biologia Molecular; Respiração Celular; Ensino; Recursos Didáticos; Realidade Virtual.

ABSTRACT

This dissertation presents the process of conception, development, testing and validation of a Virtual Reality (RV) simulator for the glycolysis process, the first phase of cellular respiration. The tool has cellular environmental control and was developed as a didactic instrument whose objective is to assist teaching-learning relations in the subjects Cellular and Molecular Biology and Biochemistry, in higher education. The methodological approaches used were quantitative and qualitative, obeying the three stages of the scientific process suggested by Minayo (2009), namely: exploratory phase, field work and analysis of empirical and documentary material. The software development followed the agile methods model, being the tool developed by a team of interdisciplinary professionals. In order to provide theoretical support to the glycolytic concepts, followed by the modeling of the glycolytic substrates and cellular environment, in the 3D modeling software Blender. Besides that, the integration of these molecules into the VR environment was performed through the Unity 3D game development engine, culminating in the programming of the glycolytic pathway and in ways of user interaction with the cellular environment and glycolytic substrates. For immersion in the cellular environment in RV, it uses the headset of RV, HTC VIVE Óculus, consisting of movement sensors, interaction controls and immersion glasses. The product testing was carried out in a group of the Biotechnology Bachelor of the Federal University of Pará (UFPA) and in a group of the Degree in Natural Sciences of the National Program of Training of Teachers of Basic Education (PARFOR). The testing data were obtained through previous and post experimentation by questionnaires and interviews with the research participants. From the analysis of contents (BARDIN, 1970) it was noticed in the comparison of the questionnaires that, in general, the students involved in the test developed or expanded their learning about the concepts approached.

Keywords: Molecular Biology; Cellular Respiration; Teaching; Didactic Resources; Virtual Reality

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Método de desenvolvimento do simulador em ambiente de RV	23
Figura 2 - As principais vias de utilização da glicose	28
Figura 3 - Fosforilação da Glicose	29
Figura 4 - Isomerização da Glicose-6-fosfato	30
Figura 5 - Fosforilação da Frutose-6-fosfato	31
Figura 6 - Clivagem da Frutose-1,6-bifosfato	31
Figura 7 - Isomerização da Di-hidroxiacetona	32
Figura 8 - Transferência de grupo fosforil de 1,3-bifosfoglicerato para o ADP	33
Figura 9 - Remoção de uma molécula de água da 2-Fosfoglicerato	33
Figura 10 - Formação de Piruvato e ATP	34
Figura 11 - Metabolismo energético celular	35
Figura 12 - Formas de visualização da molécula HIV-1 capsid	44
Figura 13 - Visualização da interação entre várias moléculas	45
Figura 14 - Forma de visualização e representação do usuário no ambiente em RV	46
Figura 15 - Visualização das moléculas no Molecular Zoo	47
Figura 16 - Interação do usuário no Molecular Zoo	47
Figura 17 - Informações fornecidas pelo <i>software</i> ao usuário	48
Figura 18 - Visualizações do interior celular e controles de movimento	49
Figura 19 - Barras de Ferramenta utilizadas para interação com o ambiente virtual	50
Figura 20 - Estrutura proteica apresentada no simulador	50
Figura 21 - Interação de dois usuários em um ambiente de RV	51
Figura 22 - Consoles de imersão e interação	52
Figura 23 - Representação molecular utilizada no <i>software</i>	52
Figura 24 - Adenosina trifosfato (ATP)	59
Figura 25 - Base Nitrogenada Adenina, constituinte do ATP	59
Figura 26 - Ribose, Pentose constituinte do ATP	59
Figura 27 - Orientação das ligações atômicas	60
Figura 28 - Interface do Blender e modelagem do ATP	61
Figura 29 - Renderização das moléculas da via glicolítica: (a) Adenosina trifosfato (ATP) , (b) Glicose, (c) Piruvato, (d) Nicotinamida adenina dinucleotídeo reduzido (NADH).	62
Figura 30 - Interface do Blender para produção de animações	63
Figura 31 - Mudanças estruturais durante a animação	63

Figura 32 - Visualização externa da célula.....	64
Figura 33 - Visualização interna da célula	64
Figura 34 - Controles do HTC VIVE Oculus	65
Figura 35 - Integração dos substratos glicolíticos ao Unity 3D	66
Figura 36 - Visualização da célula no ambiente de RV	66
Figura 37 - Visualização superior da célula no ambiente em RV	67
Figura 38 – Via Glicolítica na 1ª versão do simulador em RV	68
Figura 39 – Substratos glicolíticos reunidos em um único ambiente	68
Figura 40 - Janela de apresentação das etapas.....	69
Figura 41 - Apresentação do processo desenvolvido	69
Figura 42 - Visualização das mitocôndrias no ambiente celular em RV.....	70
Figura 43 - Visualização dos Ribossomos no ambiente celular em RV.....	70
Figura 44 - Museu Glicolítico	73
Figura 45 - Glicose e NADH.....	73
Figura 46 - Fórmula molecular estrutural plana da Glicose-6-fosfato	74
Figura 47 - Menu principal do simulador em ambiente de RV	74
Figura 48 - Menu da Via Glicolítica.....	75
Figura 49 - Comandos definidos para movimentação e interação com o meio celular.....	75
Figura 50 - Comandos definidos para movimentação e interação no museu glicolítico.....	76
Figura 51 - Comandos definidos para a simulação da via glicolítica.....	76
Figura 52 – Alunos durante a simulação da Via Glicolítica.....	97
Figura 53: Visualização da via glicolítica na tela do computador.....	97
Figura 54: Alunos explorando o ambiente celular.....	98
Figura 55: Alunos imersos no ambiente em RV.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Uso potencial dos SRVs.....	39
Quadro 2 - Palavras-chave utilizadas na pesquisa.....	43
Quadro 3 - Trabalhos relacionados e as características da RV.....	54
Quadro 4 - Acesso a computadores pelos alunos	78
Quadro 5 - Acesso à Internet pelos alunos	78
Quadro 6 - Atividades mais desenvolvidas pelos alunos no celular.....	80
Quadro 7 - Interesse tecnológico dos alunos	81
Quadro 8 – Curiosidade em manusear novas tecnologias	83
Quadro 9 – Alunos que possuem receio de manusear novas tecnologias	83
Quadro 10 - Percepção dos alunos sobre o uso de recursos didáticos.....	84
Quadro 11 - Uso de recursos didáticos audiovisuais para o ensino de biologia.....	85
Quadro 12 - Contato dos estudantes com RV.....	88
Quadro 13 - Contato dos alunos com experiências em RV.....	88
Quadro 14 - RV como recurso para o ensino de bioquímica.....	90
Quadro 15 - Percepção dos alunos sobre RV	93
Quadro 16 - Principais dificuldades na disciplina Bioquímica	95
Quadro 17 - Dificuldade em utilizar o simulador.....	100
Quadro 18 – Bem-estar do usuário ao utilizar o simulador.....	102
Quadro 19 - Estímulo e satisfação do aluno ao utilizar o simulador.....	103
Quadro 20 - Desempenho do aluno ao utilizar o simulador	104
Quadro 21 - RV como recurso didático para a bioquímica	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Atividades mais realizadas pelos alunos no computador.....	79
Gráfico 2 - Jogos mais utilizados pelos graduandos.....	81
Gráfico 3 - Motivação dos estudantes por explorar recursos tecnológicos	82
Gráfico 4 – Justificativas dos alunos que possuem receio em manusear novas tecnologias ...	84
Gráfico 5 - Recursos tecnológicos aplicados ao ensino	86
Gráfico 6 - Contato dos estudantes com recursos tecnológicos na educação.....	87
Gráfico 7 – Uso de ferramentas em RV durante a formação dos estudantes	89
Gráfico 8 - Respostas dos alunos sobre a atuação das enzimas na via glicolítica.....	91
Gráfico 9 - Respostas dos alunos sobre o rendimento energético do processo glicolítico	92
Gráfico 10 - Respostas sobre a função do NAD ⁺ na via glicolítica.....	92
Gráfico 11 – Dificuldades dos alunos com os conteúdos bioquímicos	94
Gráfico 12 – Experiência de uso em relação ao simulador em RV	101
Gráfico 13 - Envolvimento dos alunos ao utilizar o simulador	102
Gráfico 14 - Instruções de uso do simulador.....	104
Gráfico 15 - Análise posterior referente a atuação das enzimas na via glicolítica	106
Gráfico 16 - Análise posterior do rendimento energético do processo glicolítico	107
Gráfico 17 - Análise posterior referente a função do NAD ⁺ na via glicolítica.....	107
Gráfico 18 - Dificuldades ao utilizar o simulador em ambiente de RV	109
Gráfico 19 - Motivação despertada pelo uso do simulador	109

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
OBJETIVOS	20
Específicos:	20
METODOLOGIA	20
Materiais e Métodos de Desenvolvimento do Produto	23
Estrutura da dissertação	24
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
1.1 A VIA Glicolítica.....	27
1.2 Realidade virtual	35
1.2.1 RV como Recurso Didático.....	37
2 TRABALHOS CORRELATOS	42
2.1 UCSF Chimera X: Meeting modern challenges in visualization and analysis (GODDARD, HUANG, et al. 2018).....	44
2.2Molecular Visualization on the Holodeck (GODDARD, BRILLIANT, et al. 2018).....	45
2.3 The Body VR: O Journey Inside a Cell (The Body VR 2018)	48
2.4 Journey to the of the cell: Virtual reality immersion in to scientific data (JOHNSTON, et al. 2017)	48
2.5 Simulated Site-directed Mutation in a Virtual Reality Environment as a Powerful Aid for Teaching the three-dimensional Structure of Proteins	49
2.6 A virtual environment for steered molecular dynamics (PRINS, et al. 1999).....	50
2.7 Exploring molecular structure by virtual reality (HARTSHORN, HERZYK e HUBBARD 1995).....	51
2.8 Quadro comparativo.....	53
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO GLICOLISEUM.....	58
3.1 Modelagem dos substratos glicolíticos e ambiente celular	58
3.3 Integração ao ambiente de RV	65

3.4 Simulador da VIA Glicolítica	70
3.5 Museu Glicolítico.....	72
4 VALIDAÇÃO E RESULTADOS	77
4.1 Questionário prévio.....	77
4.2 Experimentação.....	96
4.3 Questionário Posterior	100
4.4 Entrevistas.....	111
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
5.1 Trabalhos futuros	117
Bibliografia.....	120
Apêndices	125
Apêndice I – Questionário Prévio.....	125
Apêndice II – Questionário posterior.....	131

INTRODUÇÃO

O processo de ensino-aprendizagem sofre alterações e está em constante atualização, influenciado por fatores como a relação professor-aluno, pelas metodologias de ensino e pelos recursos pedagógicos utilizados. Com o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias e a presença destas no dia a dia da população, os estudantes estão expostos a uma variedade de instrumentos que se tornam, em alguns casos, indispensáveis no desenvolvimento de suas tarefas diárias. Dessa forma, a implementação e aplicação de recursos didáticos diferenciados e inovadores é imprescindível para o processo de ensino, a medida em que possuem potencial para envolver o estudante na construção do seu próprio conhecimento, estimulando a autonomia e possibilitando que cada discente encontre seu ritmo e maneira favorável para compreender os conteúdos.

O ensino-aprendizagem, como apresentado por Borges e Alencar (2014) é um processo diretamente ligado às relações interpessoais. Para ser desenvolvido no contexto universitário, além do domínio do conteúdo por parte do docente, é necessário que este implemente em suas aulas métodos, técnicas e recursos que abordem os conteúdos de formas diferenciadas (BORGES e ALENCAR 2014).

Dessa maneira, a adoção de ferramentas didáticas que venham a somar e facilitar o processo de ensino-aprendizagem tem potencial para facilitar a relação entre professor e alunos, além de despertar o interesse dos estudantes pelos temas abordados, impulsionando-os a atuarem como agentes ativos na construção de seus conhecimentos.

A diversidade de recursos didáticos disponíveis permite que estes sejam utilizados em diferentes contextos e públicos, possibilitando ao educador adequar suas estratégias de ensino de acordo com a necessidade das turmas. Por meio de recursos que variam desde livros didáticos, lousa, até simuladores em Realidade Virtual (RV), a utilização de estratégias diferenciadas deve ser direcionada a contribuir na relação professor-aluno, de maneira a aperfeiçoar o processo de ensino-aprendizagem.

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) estão entre os instrumentos que, quando associados ao ensino, podem contribuir de maneira positiva na abordagem dos conteúdos. Com celulares, computadores, Internet, jogos eletrônicos, entre outros recursos, a cultura tecnológica faz parte da formação dos alunos, e cobra dos docentes a adoção de estratégias de ensino diferenciadas. A necessidade de formação de um profissional adaptado à

nova realidade, familiarizado com instrumentos tecnológicos ressalta a importância de se investigar como se dá o uso dessas ferramentas didáticas pelo professor, no ensino superior (SANTOS e OLIVEIRA 2013).

Direcionado a um processo educativo, a associação das TICs como recursos auxiliares aos métodos de ensino-aprendizagem proporciona novas abordagens de conteúdo possibilitando aos educadores explorar e adaptar conceitos a realidades dos estudantes e diversidades de aprendizagem. Assim, a aplicação destes instrumentos, tem potencial para atender as necessidades de diferentes áreas de estudo, atuando como facilitadores na compreensão dos conceitos.

Para a Biologia, que abrange uma variedade de áreas de estudo, recursos que possibilitem trabalhar cada conteúdo destacando suas especificidades são significativos para facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Os cursos devem incluir práticas e modalidades didáticas diversas possibilitando abordar cada tema de uma maneira específica, contemplando suas particularidades. Além do mais, abordagens diversas também possibilitam que os estudantes se adequem melhor e busquem à sua maneira de compreensão dos conteúdos.

Ao analisarem o efeito do uso de um *software* educacional no processo de ensino-aprendizagem para a disciplina Bioquímica nos cursos de saúde da Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL), Amaral, Figueira e Barros (2006) destacam que os cursos, por descreverem processos e conceitos moleculares, exigem muita abstração dos estudantes para que possam compreender as temáticas. O uso de recursos que facilitem a abordagem desses temas é imprescindível como via de colaboração para melhores abordagens das temáticas, e para o envolvimento dos alunos nas disciplinas.

Esse desafio de trabalhar e possibilitar a compreensão dos processos biológicos vem desde a educação básica, onde os conceitos moleculares são mais bem compreendidos quando os processos e estruturas podem ser visualizados ou representados. A inquietação, então, permanece no ensino superior, onde, com muitos procedimentos complexos, a Biologia é comumente ensinada por meio de narrativas detalhadas, em que professores descrevem os assuntos e cabe ao aluno compreendê-los (WILSON, et al. 2006).

Ao trabalhar o conteúdo macro e micromolecular em sala de aula, é comum os alunos apresentarem dificuldades e considerarem a Bioquímica uma disciplina complexa e de difícil entendimento (VIANA e BIANCHI 2015). Sendo assim, é importante a adoção de práticas e recursos que permitam a interação e a participação dos alunos durante as aulas, facilitando a abordagem e entendimento dos conteúdos e primando pela formação de bons profissionais.

Na tarefa de trabalhar os conceitos e processos biológicos, as TICs, já inseridas no dia a dia, podem atuar como facilitadoras no processo de ensino. Essas ferramentas, quando aplicadas ao ensino, podem motivar os estudantes e despertar seu interesse. Barbosa et al. (2015) falam sobre o uso de animações para o ensino de Biologia, as quais possibilitam observar processos de difícil visualização em um cenário real, que levariam muito tempo para se desenvolver, ou acontecem em nível molecular, dentre outras dificuldades, além de possibilitar aos estudantes repetir e executar o instrumento quantas vezes considerarem necessário, podendo estabelecer o seu ritmo e tempo para compreensão dos conceitos (BARBOSA, et al. 2015).

Outro horizonte possível de ser explorado por meio das tecnologias computacionais para o ensino de Biologia, é o desenvolvimento de experimentos, simulações por meio de laboratórios virtuais e remotos. Estes têm o potencial de oferecer aos discentes oportunidades para melhorarem a compreensão dos conceitos biológicos (SANTOS, FERNANDES e SILVA 2017).

A Realidade Virtual (RV) é outro 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).

Dessa forma, sendo a Biologia um ramo de estudo muito extenso, que engloba diversas áreas de ensino, trabalhá-la de modo a possibilitar que aos alunos compreendam as temáticas biológicas de forma efetiva configura-se como uma prática desafiadora para os docentes dessa disciplina. Assim justifica-se a importância do desenvolvimento e utilização de recursos didáticos tecnológicos para o ensino de Biologia, a medida em que estes configuram-se como alternativas para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem, envolvendo o aluno na construção de seu conhecimento, e facilitando a abordagem dos temas biológicos.

Os docentes têm papel fundamental na criação de um ambiente que proporcione maior liberdade aos alunos em sua formação e fazendo uso de sua criatividade, devem implementar métodos que dinamizem suas aulas e aproximem o conteúdo das vivências dos discentes (OLIVEIRA e ALENCAR 2004). É importante que os educadores percebam a potencialidade que a adoção de práticas diferenciadas tem no processo de formação dos estudantes, podendo facilitar a compreensão dos conteúdos trabalhados.

Entre os processos explorados pela Biologia Celular e Bioquímica está a respiração celular, a qual engloba uma série de reações e processos, resultando em energia para as atividades desempenhadas pelo organismo.

Devido a diversidade de reações que ocorrem, em nível molecular, durante o processo de respiração Celular, é comum aos alunos apresentarem dificuldade para visualizar e compreender o funcionamento de cada etapa, restringindo-se, ao final do processo de ensino, a memorizar as fases dos processos. Tal premissa é ratificada por Baines et al. (2004, p. 2) ao afirmarem que “muitos estudantes não familiarizados com a respiração celular parecem se perder na memorização de detalhes, em vez de se concentrarem no processo geral e no propósito da respiração celular” (BAINES, et al. 2004). Assim, uma ferramenta que permita aos discentes não apenas observar, mas interagir com o meio celular e moléculas envolvidas na respiração Celular pode facilitar a compreensão dos processos e representa uma maneira diferente e inovadora de trabalhar as estruturas moleculares.

Um ambiente para a Biologia Celular em RV oferece uma nova forma de trabalhar tais temáticas e impulsiona a utilização de diferentes tecnologias na educação. Com orientação do professor, o aluno torna-se ativo em seu processo de aprendizagem, podendo, no ambiente, dirimir dúvidas e formular novos questionamentos.

Nesta dissertação, a RV é apresentada como um recurso didático para auxiliar na abordagem dos processos celulares a nível molecular, mais especificamente a via glicolítica, explorando as funcionalidades oferecidas por essa tecnologia, e ressaltando a importância da adoção de práticas de ensino diferenciadas que despertem o interesse dos alunos e coloque-os como agentes ativos, no centro do processo de ensino-aprendizagem.

O Glicoliseum, produto desta dissertação, é um simulador em ambiente de RV da via glicolítica, e recebeu esta nomenclatura, pois ao final do processo configurou-se como um museu da glicose, onde é possível participar ativamente da via metabólica, além de observar as mudanças químicas que a molécula sofre no decorrer das reações químicas, catalisadas por diferentes enzimas.

Será detalhado os tipos de pesquisa, metodologias, métodos, técnicas e instrumentos utilizados no decorrer do trabalho para realizar a fundamentação teórica, construção e validação do Glicoliseum e resultados obtidos.

OBJETIVOS

Desenvolver um simulador em ambiente de Realidade Virtual (RV) para o processo de glicólise, da respiração celular, com controle ambiental celular, para ser utilizado como instrumento de ensino das disciplinas Biologia Celular e Molecular e Bioquímica.

ESPECÍFICOS:

- Modelar a estrutura atômica dos substratos envolvidos no processo de respiração celular, no *software* Blender;
- Modelar o ambiente celular e as organelas nele presentes;
- Desenvolver o simulador em ambiente de Realidade Virtual para abordar a glicólise;
- Controlar as reações entre as moléculas no ambiente em Realidade Virtual;
- Validar a ferramenta com graduandos dos cursos de Ciências Naturais e Biotecnologia o funcionamento do simulador em ambiente de Realidade Virtual em sala de aula.

METODOLOGIA

Para a definição dos procedimentos da pesquisa, instrumentos e métodos de análise de dados, foi necessário estabelecer a abordagem metodológica a ser utilizada. A partir dos objetivos do trabalho, optou-se por utilizar uma abordagem quanti-qualitativa, considerando importante analisar aspectos objetivos e subjetivos nos processos de coleta e análise de dados, e validação da ferramenta. Buscou-se quantificar as informações oferecidas pelos estudantes quanto a familiaridade com novas tecnologias, recursos didáticos tecnológicos e funcionalidades da ferramenta, assim como também aferir a percepção dos alunos e professores sobre o papel da ferramenta desenvolvida, influência desta no processo de ensino-aprendizagem, dentre outros aspectos.

A pesquisa qualitativa é constituída por fases passíveis de mudanças, que podem se adaptar ao contexto, público e interesses da pesquisa. O desenvolvimento desta dissertação baseou-se nas etapas apresentadas por Minayo (2016) para abordagem qualitativa, que são: 1) fase exploratória, onde realizou-se a pesquisa bibliográfica e planejamento do trabalho; 2) trabalho de campo, quando o produto foi validado pelo público definido no projeto, os alunos de Ciências Naturais e Biotecnologia; 3) análise e tratamento do material empírico e documental, momento em que os materiais e observações obtidos foram analisados.

A fase exploratória foi orientada pelas etapas definidas por Deslandes (2016): a) escolha do tópico de investigação, quando optou-se por explorar o processo de glicólise da respiração celular; b) delimitação do objeto e definição dos objetivos, em que estabeleceram-se objetivos para a construção do simulador em ambiente de RV, e utilização deste com graduandos dos cursos de Ciências Naturais e Biotecnologia; c) construção do marco teórico conceitual, momento da realização de pesquisas bibliográficas para fundamentar o desenvolvimento e aplicação do produto; d) seleção dos instrumentos de coleta/coleta de dados, onde estabeleceu-se o uso de questionários, entrevistas e observação como forma de obtenção de dados durante e após o uso do simulador em RV; e) exploração, realizada durante a aplicação do simulador nos cursos de Ciências Naturais e Biotecnologia, quando investigou-se o contato dos estudantes com tecnologias, a fim de entender melhor o contexto de vivência das turmas em que o recurso foi empregado, e posteriormente, os discentes atuaram na validação do produto.

A abordagem quantitativa, também presente no trabalho, envolve geralmente uma grande amostra. Esse tipo de investigação conta com um grupo específico de participantes, com características definidas que atendam às necessidades da pesquisa. Os grupos pesquisados são considerados como representativos da população e o resultado obtido é considerado como uma representação real da população investigada (SILVEIRA e CÓRDOVA 2009).

Essa abordagem foi escolhida a fim de quantificar as respostas dos alunos e analisá-las de forma objetiva, utilizando-as como modelo representativo do público pesquisado. Dessa forma, por meio da análise quanti-qualitativa, o trabalho busca considerar aspectos objetivos e subjetivos da pesquisa, e ter resultados mais completos quanto ao uso do simulador como recurso didático.

Centrada na objetividade, a pesquisa quantitativa pode ser empregada quando se busca analisar a realidade com base em dados brutos. Sendo assim, para o processo de validação da ferramenta quanto às funcionalidades e repasse dos conteúdos, considerou-se importante a adoção da análise quantitativa com fim de investigar os efeitos do produto e seu funcionamento com o público em questão (SILVEIRA e CÓRDOVA 2009).

Para análise da percepção dos alunos sobre a ferramenta e suas funcionalidades, utilizou-se as escalas de atitude Likert (CUNHA 2007), onde se transformam as alternativas em números. Da mesma forma, conforme explicam Silva, Lopes e Braga Jr. (2014, p. 6), é possível “ [...] transformar frases em números, pois há um conjunto de conhecimentos que permite classificar pessoas ou objetos em uma escala ou em postos (ordenação)” (SILVA, LOPES e BRAGA Jr 2014). Assim, nas questões em que a escala não foi empregada, foram

atribuídos valores às alternativas, possibilitando quantificá-las para uma análise objetiva quanto ao funcionamento do recurso.

Os instrumentos de coleta de dados mais adequados para colher informações e analisá-las para validação do produto foram questionários prévios e posteriores, entrevista com professores e especialistas, assim como a observação.

O processo de validação da ferramenta foi desenvolvido com uma turma de Biotecnologia, da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus Belém - PA, e duas turmas do Programa Nacional de Formação de Professores da Educação Básica (PARFOR), da UFPA, no curso de Ciências Naturais, em Ponta de Pedra - PA e Mãe do Rio - PA, totalizando um grupo de 45 alunos.

Na elaboração dos questionários, levou-se em consideração o contato dos estudantes com tecnologias e recursos didáticos, além de como influenciam no processo de ensino, dentre outros questionamentos. Buscou-se aferir as percepções dos alunos sobre o produto e possíveis influências externas.

Para averiguar a presença de tecnologias no dia a dia dos alunos, a utilização destas no processo de ensino e busca de conhecimentos sobre a via glicolítica, foram aplicados questionários prévios que investigam o uso de celulares, computadores, aplicativos e conceitos glicolíticos. Já nos questionários posteriores, os aspectos avaliados consideraram o funcionamento da ferramenta e a satisfação dos estudantes ao utilizá-las.

A análise do tipo categorial foi utilizada para a análise das respostas subjetivas dos alunos. Esse método permitiu agrupar em categorias todas as respostas dos questionários e informações obtidas por meio de observações, para que dessa forma fosse possível analisá-las buscando compreender as percepções dos discentes e docentes sobre o impacto do simulador de RV em sala de aula (BARDIN 1997).

Também como forma de validação do produto, foram realizadas entrevistas com um mestrando e um doutorando em Biotecnologia, além de uma bióloga, para investigar aspectos relacionados às funcionalidades da ferramenta, potenciais no ensino, e conteúdo apresentado, analisadas de forma qualitativa.

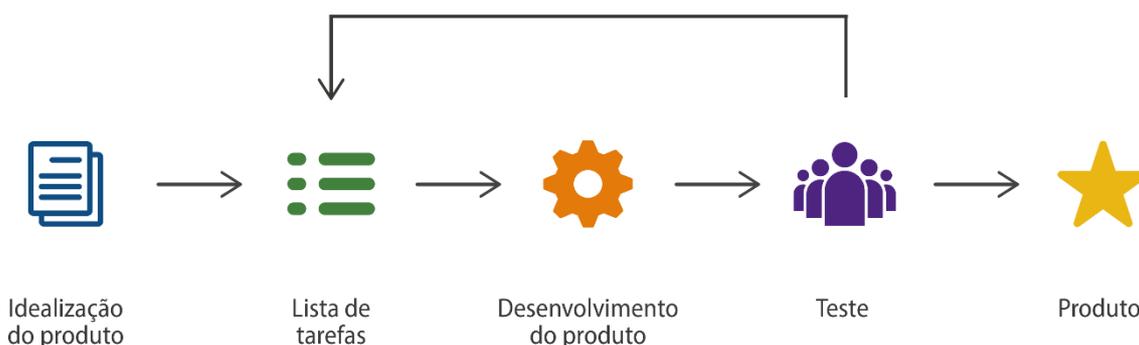
Com o intuito de coletar informações quanto à percepção dos estudantes sobre uso da ferramenta, o contexto e influências externas aos sujeitos investigados, a abordagem qualitativa permitiu a maior aproximação do pesquisador com os graduandos, explorando aspectos particulares da pesquisa (GODOY 1995) (MINAYO 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

A construção do simulador em ambiente de RV seguiu o modelo dos Métodos Ágeis, que são descritos por Libardi e Barbosa (2010) como metodologias adaptativas, que permitem alterações durante o desenvolvimento do produto (LIBARTI e BARBOSA 2010). Assim, o recurso passou por alterações durante o percurso de seu desenvolvimento, com objetivo de aperfeiçoar e facilitar as interações do usuário com o meio, e de aprimorar as formas de apresentação dos conteúdos.

Os Métodos Ágeis usam um *loop* de desenvolvimento de atividades, onde a cada ciclo novos aspectos eram analisados e aperfeiçoados. Assim, orientando-se pelas metodologias ágeis, o ciclo de desenvolvimento do simulador seguiu o modelo representado na figura 1.

Figura 1 - Método de desenvolvimento do simulador em ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

Para desenvolvimento do produto foram definidas tarefas a serem desenvolvidas, e cronograma de execução das atividades. Os passos utilizados para a construção do simulador foram: 1) levantamento bibliográfico para aprofundamento na temática trabalhada, e domínio do conteúdo, necessário para o desenvolvimento da aplicação; 2) modelagem dos compostos presentes na via glicolítica, e do ambiente celular; 3) integração dos modelos desenvolvidos ao ambiente de RV; 4) programação do simulador; 5) validação da ferramenta; 6) aperfeiçoamento produto; 7) recurso final.

Para a construção dos substratos e ambiente celular onde se desenvolve a via glicolítica, utilizou-se o *software* de modelagem 3D livre Blender (Blender Inc. 2018).

Através do Unity 3D (Unity 2019), um IDE, ambiente integrado para desenvolvimento de *software*, integrou-se as estruturas modeladas ao ambiente em RV, e por meio da linguagem

de programação C#, estabeleceu-se formas de interação do usuário com o meio e suas estruturas, possibilitando o desenvolvimento da simulação.

São utilizados programas e equipamentos específicos para a construção e imersão no ambiente celular em RV. Da mesma forma, o seu desenvolvimento contou com uma equipe interdisciplinar de profissionais. Os atores e materiais necessários para a modelagem e execução do ambiente virtual são divididos e detalhados abaixo.

Recursos materiais: equipamentos necessários para a construção e testagem do simulador da via glicolítica. Nessa categoria estão inclusos Notebook para RV, HTC VIVE óculos (VIVE™ | Sistema de Realidade Virtual 2018) (*headset*, sensores de movimento e controles).

Equipe interdisciplinar: os profissionais envolvidos na construção do ambiente foram uma bióloga (autora deste trabalho) que direcionou a construção do simulador, estruturas presentes, processos desenvolvidos e tipos de interação possíveis; um profissional de design que auxiliou nas modelagens realizadas; programadores Unity 3D responsáveis por exportar as estruturas tridimensionais do Blender para o *software* e desenvolver o simulador em ambiente de RV. A equipe trabalhou conjuntamente no manuseio dos materiais e programas disponíveis, organização do conteúdo e a forma de apresentação em RV. Nas seções seguintes serão apresentados os conceitos presentes na ferramenta, assim como as características de ferramentas em RV.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

- Capítulo 1: apresenta a fundamentação teórica que direcionou o desenvolvimento da ferramenta, dando suporte aos conceitos glicolíticos trabalhados no simulador, e a construção de um ambiente em RV direcionado para o ensino.
- Capítulo 2: trabalhos que relacionam a RV com o ensino da Biologia celular e molecular são descritos, destacando as principais características dos *softwares* e, ao final da seção, comparados com o simulador desenvolvido.
- Capítulo 3: detalha o passo a passo de concepção e construção da ferramenta, mecanismos utilizados para desenvolvê-la e descreve a simulação desenvolvida no *software*.

- Capítulo 4: apresenta os procedimentos de validação da ferramenta, e resultados alcançados após sua aplicação em turmas pré-definidas e especialistas que validaram o conteúdo apresentado.
- Capítulo 5: conclui-se o trabalho destacando as potencialidades da ferramenta desenvolvida para o ensino da via glicolítica e apresentando possibilidades de aplicação da RV em futuras produções relacionadas ao ensino de Biologia.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Abrangendo uma diversidade de processos que permeiam a vida em sociedade, relacionados a saúde, educação, meio ambiente, entre outros, as temáticas biológicas estão inseridas no cotidiano da população de diferentes maneiras. Quando abordadas durante a formação dos discentes os conteúdos, por mais que estejam relacionados, necessitam de abordagens, procedimentos e recursos diferenciados, que contemplem as necessidades de cada tema, e dos alunos que devem compreendê-los.

A partir de aspectos como perfil dos alunos, conteúdo trabalhado, habilidades e competências a serem desenvolvidas, devem ser elencados recursos, métodos e técnicas, que auxiliem estudantes e professores na abordagem dos conteúdos. A adoção de instrumentos tecnológicos, cada vez mais presentes no dia a dia dos discentes, tornam-se diferenciais do processo de ensino-aprendizagem e tendem a favorecer a relação professor-aluno-conteúdo.

Esses instrumentos tecnológicos podem contribuir para aproximar os temas biológicos da realidade dos alunos, impulsionar a autonomia e despertar o interesse dos estudantes pelos conceitos, oferecendo novas e diferentes possibilidades de explorar os assuntos.

A abordagem de fórmulas moleculares e processos bioquímicos, exigem dos estudantes um amplo entendimento dos processos, que muitas vezes estão fora dos sentidos humanos, ou difíceis de serem visualizados através de práticas experimentais, podendo acarretar o desinteresse dos discentes. Esses são alguns dos motivos para que o ensino desses conteúdos seja considerado difícil e abstrato (ARAÚJO e VIEIRA 2010).

Partindo da premissa que os conteúdos bioquímicos são temáticas visuais, e a compreensão dos alunos depende muito de sua capacidade de transitar entre os modelos que lhe são oferecidos, e as representações criadas pela mente, mecanismos que facilitem observar e interagir com os processos estudados podem facilitar o entendimento e levar ao aluno a se apropriar do conteúdo (AYRES, et al. 2017).

Dessa forma, a RV pode ser utilizada como uma alternativa para a abordagem dos temas bioquímicos, visto que, dentre suas características, ela possibilita imergir em um novo cenário, interagir e simular situações ideais e atuando livremente para explorar o meio virtual.

Nas seções seguintes, são desenvolvidas a fundamentação teórica necessária para a construção do produto, com o intuito de situar o leitor no conteúdo da via glicolítica e quanto as características da RV, conceitos estes que nortearam o trabalho durante a elaboração de um recurso didático direcionado à Biologia Molecular.

1.1 A VIA GLICOLÍTICA

Durante a concepção do produto, após definidos o tema e tipo de recurso a ser explorado, foi necessário aprofundamento quanto aos conceitos glicolíticos, afim de buscar apresentá-los de forma clara para os discentes. Como uma das vias do metabolismo energético do corpo, em organismos heterotróficos (aqueles que não produzem seu próprio alimento) a glicólise busca a degradação de nutrientes orgânicos produzidos por seres autotróficos (aqueles que produzem seu próprio alimento) para obtenção de energia (ALBERTS, et al. 2017), (NELSON e COX 2014), (RAVEN, EVERT e EICHHORN 2014).

A obtenção dessa energia de maneira que possa ser utilizada pelas células se dá pelo metabolismo, conjunto de reações químicas que visam por meio de etapas consecutivas alterações nas estruturas moleculares em substratos com elevado potencial energético, resultando na liberação de energia, em muitos casos liberada através de moléculas de adenosina trifosfato (ATP), principal carregador e energia nas células (NELSON e COX 2014).

O processo enfatizado no trabalho é a via glicolítica, primeira fase da respiração celular, que se desenvolve por uma sequência de reações químicas, tendo como fim a produção de energia.

As reações químicas são transformações de matéria em que a energia presente nas ligações moleculares é liberada quando estas são desfeitas e repassadas à outras moléculas, sendo armazenadas por meio de novas ligações. Essa transferência de energia pode ser observada no processo de respiração celular, onde a energia química dos carboidratos é transferida para a adenosina trifosfato (ATP), molécula considerada como intermediário químico ativador de processos celulares, e, assim, torna-se disponível para ser utilizada pelos nas reações químicas, que necessitam de energia imediata (RAVEN, EVERT e EICHHORN 2014) (NELSON e COX 2014).

A respiração celular abrange uma série de vias metabólicas, onde os compostos sofrem mudanças estruturais, transferência de radicais, além de liberarem energia através da formação da molécula de ATP, por meio de suas interações. Essas vias, fazem parte do metabolismo energético das células, temática onde são explorados compostos, reações e intermediários envolvidos na produção de energia. A respiração celular é dividida em três etapas: glicólise, ciclo de Krebs ou do ácido cítrico e via transportadora de elétrons. Nesta dissertação e no produto desenvolvido a partir de nossas pesquisas, abordaremos apenas o processo da glicólise.

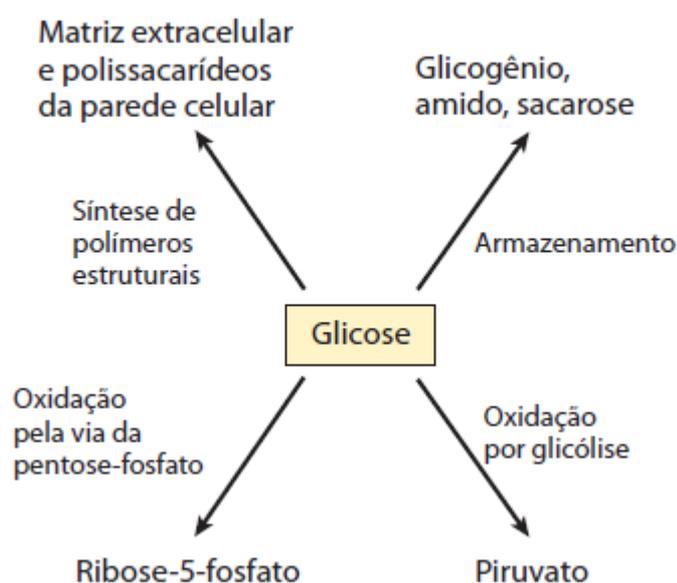
Nelson e Cox (2014) apresenta o metabolismo como sistemas multienzimáticos (vias metabólicas) que atuam na obtenção de energia a partir de energia solar, ou degradação de

nutrientes; conversão de nutrientes em moléculas, precursoras de macromoléculas; polimerização de monômeros em macromoléculas; e sintetize e/ou degradação biomoléculas para que realizem funções específicas para determinadas funções celulares (NELSON e COX 2014).

Dentre as principais moléculas envolvidas no metabolismo energético está a glicose. Com uma posição central na produção de energia, essa molécula possui elevada energia potencial tornando-a um importante combustível para o desenvolvimento dos processos celulares.

Os diferentes caminhos que podem ser percorridos pela glicose são apresentados na figura 2, sendo a oxidação por glicólise a via metabólica relacionada a respiração celular.

Figura 2 - As principais vias de utilização da glicose



Fonte: (NELSON e COX 2014)

Sendo a glicose uma molécula com alto potencial energético, e a mitocôndria o principal orgânulo responsável pela produção de energia celular, unir essa molécula e a organela em questão torna-se a chave para a produção da maior parte da energia necessária para os processos celulares. No entanto, a mitocôndria possui uma membrana com especificidades que selecionam e controlam a entrada e saída de substâncias em seu interior, e a glicose, apesar de conter alto potencial energético, é um composto que não consegue transpassar essa barreira. Sendo assim, para que o potencial energético dessa molécula possa adentrar na mitocôndria, é necessário modificações estruturais e essas alterações são desenvolvidas durante a via glicolítica (ALBERTS, et al. 2017).

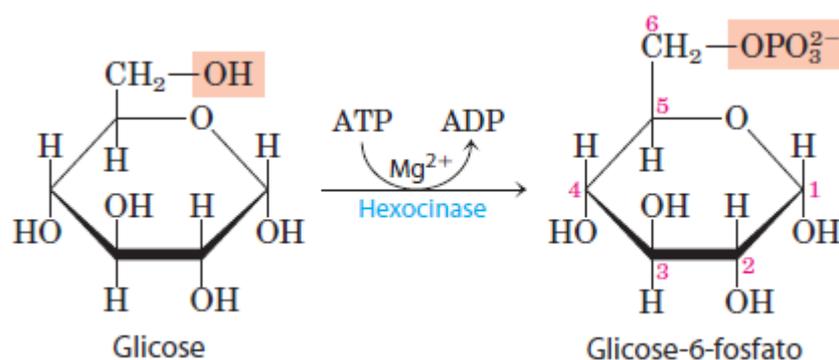
As mudanças estruturais da glicose envolvem processos de fosforilação, isomerização e cisão da molécula, culminando em um produto capaz de ingressar na mitocôndria, o piruvato. Envolvendo substratos, enzimas e reações químicas diferentes, a via glicolítica é dividida em duas fases: preparatória e de pagamento, diferenciadas pelo investimento energético necessário para dar início as vias metabólicas.

Dividida em cinco fases, a etapa preparatória é marcada pelo consumo de duas moléculas de ATP, para que o processo tenha início com a ativação da glicose para que possam ser desenvolvidas as demais etapas do processo.

Para se desenvolverem, as vias metabólicas da glicólise sofrem a atuação de enzimas específicas em cada etapa da via. As cinases, estão entre as enzimas que atuam na via e são responsáveis por catalisar reações de transferência de um grupo fosforil, para um aceptor nucleofílico (possui afinidade e tende a receber elétrons). Na Fase 1, fosforilação da glicose, a hexose (molécula de 6 carbonos) é fosforilada pela hexocinase através da hidrólise do ATP e transferência do grupo funcional fosforil ao carbono 6 do açúcar, produzindo glicose-6-fosfato (NELSON e COX 2014).

A figura 3 é uma representação do processo de fosforilação da glicose através das fórmulas estruturais planas, onde está destacado o campo de ligação do grupo fosforil na molécula de glicose e o consumo de energia do ATP, originando ADP, pela atuação da hexocinase.

Figura 3 - Fosforilação da Glicose



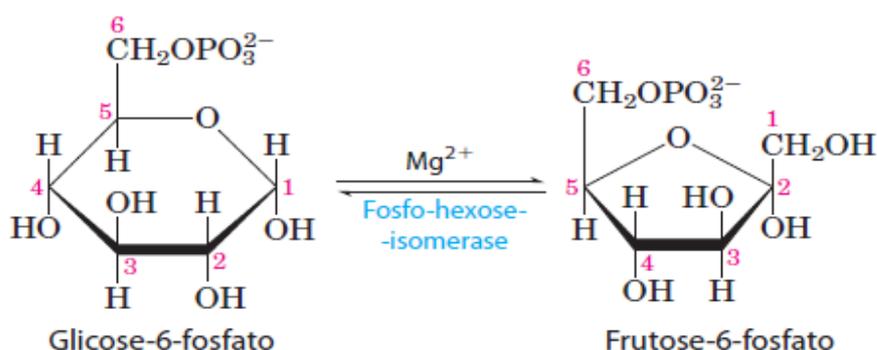
Fonte: (NELSON e COX 2014)

Após a ativação da glicose pela adição de um grupo fosforil, inicia-se a via glicolítica, sendo a Fase 2 a responsável pelo processo de isomerização da glicose-6-fosfato à frutose-6-fosfato. A isomerização consiste no rearranjo dos átomos da glicose-6-fosfato, estruturada como uma hexose (anel de seis carbonos), para uma pentose (anel de cinco carbonos). Essa

reação é reversível e novamente é mediada pela presença de uma enzima específica, a fosfoglicose-isomerase. A partir da reestruturação da molécula, tem-se a formação da frutose-6-fosfato, que possui em seu carbono 1, um grupo hidroxila (-OH), importante para seguimento da via.

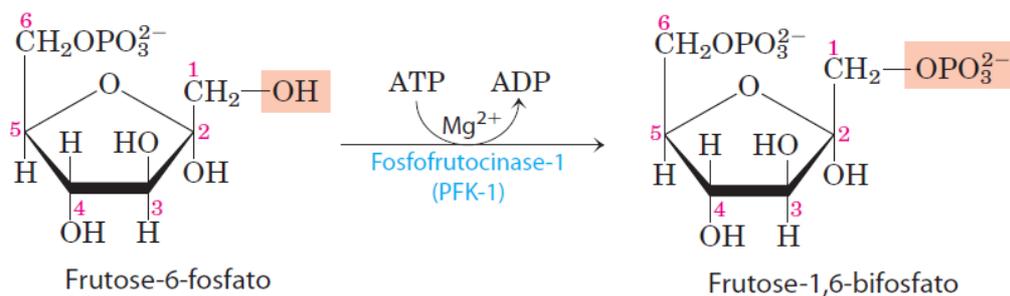
O rearranjo da glicose-6-fosfato à frutose-6-fosfato acontece a medida em que há o acúmulo de moléculas de glicose fosforiladas, e o gradiente de frutose-6-fosfato diminui, em virtude de seu consumo na etapa seguinte da via. A figura 4 é uma representação da mudança estrutural da hexose, onde é possível observar que as duas moléculas permanecem com o mesmo número e tipos de átomos, apenas organizados de formas diferentes.

Figura 4 - Isomerização da Glicose-6-fosfato



Fonte: (NELSON e COX 2014)

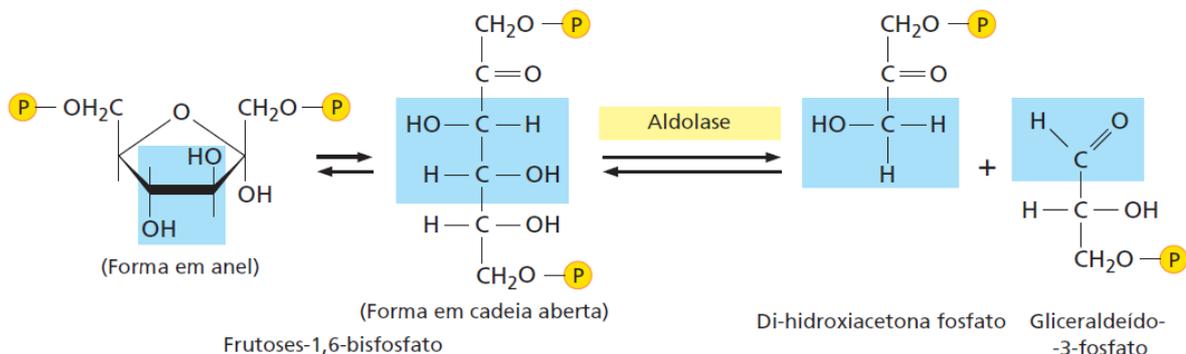
Na Fase 3 o processo de preparação da molécula, iniciado na Fase 1, segue acontecendo, dessa vez através da fosforilação da frutose-6-fosfato. A figura 5 representa o processo de adição de um segundo grupo fosforil no carbono 1 da frutose-6-fosfato, como resultado, ao final da via, tem-se a formação de frutose-1,6-bifosfato. Da mesma forma que as etapas anteriores, essa fase possui uma enzima específica, a fosfofrutocinase-1, que atua como catalizadora para essa reação química (NELSON e COX 2014).

Figura 5 - Fosforilação da Frutose-6-fosfato

Fonte: (NELSON e COX 2014)

Da mesma maneira que ocorre que na Fase 2, a isomerização de glicose-6-fosfato à frutose-6-fosfato é controlada pela necessidade da pentose na Fase 3, a enzima fosfofrutocinase-1 atua como reguladora da produção de frutose-1,6-bifosfato. A atividade dessa cinase aumenta sempre que é necessário um suprimento maior de ATP pelo corpo, ou é inibida quando há excesso de ATP disponível.

Ainda na etapa preparatória, é realizada na Fase 4 a clivagem da frutose-1,6-bifosfato em duas trioses-fosfato, o gliceraldeído-3-fosfato e a di-hidroxiacetona-fosfato. A enzima frutose-1,6-bifosfato-aldolase, ou também chamada simplesmente de aldolase, atua como catalizadora nesta fase, intermediando a cisão da molécula. Na figura 6 é representado o local de ruptura do substrato, resultando na formação de uma aldose e uma cetose. Como indicam as setas de direcionamento da reação, a reação apresentada é reversível, porém o sentido contrário é trabalhado durante o processo de glicogênese (NELSON e COX 2014).

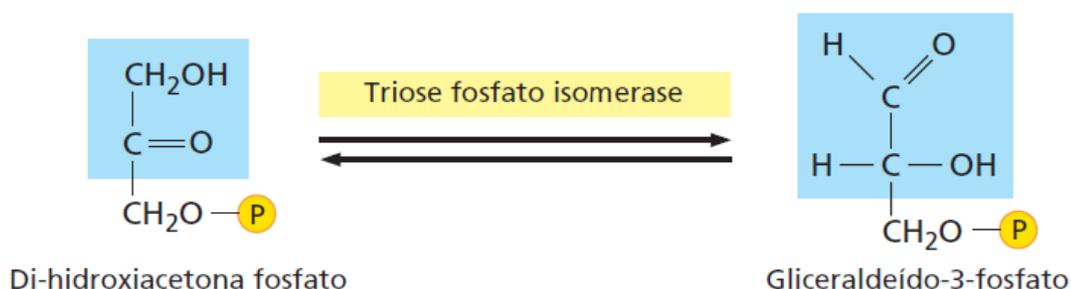
Figura 6 - Clivagem da Frutose-1,6-bifosfato

Fonte: (ALBERTS, et al. 2017)

Dos produtos resultantes da Fase 4, apenas o gliceraldeído-3-fosfato gerado segue na via glicolítica. Para finalizar a fase preparatória é necessária a conversão da molécula de di-

hidroxiacetona em gliceraldeído-3-fosfato, sendo a Fase 5, caracterizada pela isomerização do substrato glicolítico. A enzima triose-fosfato-isomerase, atua no processo, onde a conformação molecular da triose é rearranjada. A figura 7 apresenta as alterações na estrutura molecular da triose, convertendo-se de cetose, em uma aldose (NELSON e COX 2014).

Figura 7 - Isomerização da Di-hidroxiacetona



Fonte: (ALBERTS, et al. 2017)

É também na Fase 5 que se encerra a preparação da glicose, que foi fosforilada duas vezes e clivada em duas trioses-fosfato. Nesse processo de preparação da molécula houve investimento de dois ATPs, resultando em gasto de energia, assim, na etapa de pagamento, as fases seguintes objetivam o pagamento da energia utilizada e a formação de novas moléculas de ATP e adenina nicotinamida dinucleotídeo – NADH, um carregador de elétrons (NELSON e COX 2014).

A etapa de pagamento, assim como a de preparo é dividida em cinco fases, nas quais se dará a formação de moléculas energéticas de ATP e NADH.

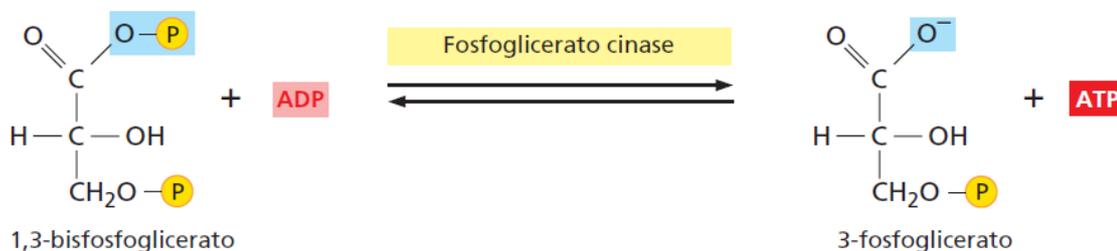
Na Fase 6, primeira da etapa de pagamento energético, as moléculas de gliceraldeído-3-fosfato, oriundas da quebra da molécula de glicose, são oxidadas, liberando dois átomos de hidrogênio e energia. Parte da energia produzida é utilizada para a ligação de um novo grupo fosforil no carbono 1 das trioses e outra armazenada durante a formação de uma molécula de NADH, a partir de NAD⁺. Ao final desta fase, obtém-se como produto a formação de 1,3-bifosfoglicerato (RAVEN, EVERT e EICHHORN 2014).

O processo é desenvolvido nas duas moléculas de gliceraldeído-3-fosfato formadas a partir da glicose, dessa forma, a Fase 6 encerra-se com a formação de suas moléculas de NADH, marcando o início da geração de energia da via glicolítica (ALBERTS, et al. 2017).

As primeiras moléculas de ATP são formadas na Fase 7, com a transferência de um grupo fosforil da molécula 1,3-bifosfoglicerato que é direcionado pela enzima fosfoglicerato-

cinase e se liga ao ADP, produzindo ATP e 3-fosfoglicerato. Na figura 8, é ressaltada a transferência do grupo fosforil para o ATP.

Figura 8 - Transferência de grupo fosforil de 1,3-bisfosfoglicerato para o ADP



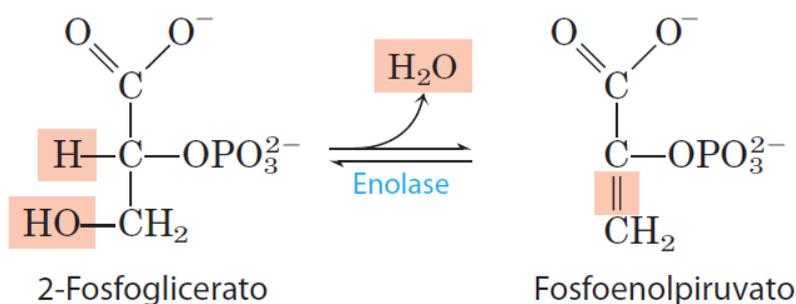
Fonte: (ALBERTS, et al. 2017)

A enzima fosfoglicerato-cinase é assim denominada por sua atuação no processo inverso a via glicolítica, a glicogênese, quando o substrato 3-fosfoglicerato será oxidado a 1,3-bisfosfoglicerato.

Durante a Fase 8 a enzima fosfoglicerato-mutase catalisa a reação de transferência do grupo fosforil da 3-fosfoglicerato, retirando-o do carbono 3, que possui uma energia de hidrólise baixa para o carbono 2, resultando em 2-fosfoglicerato.

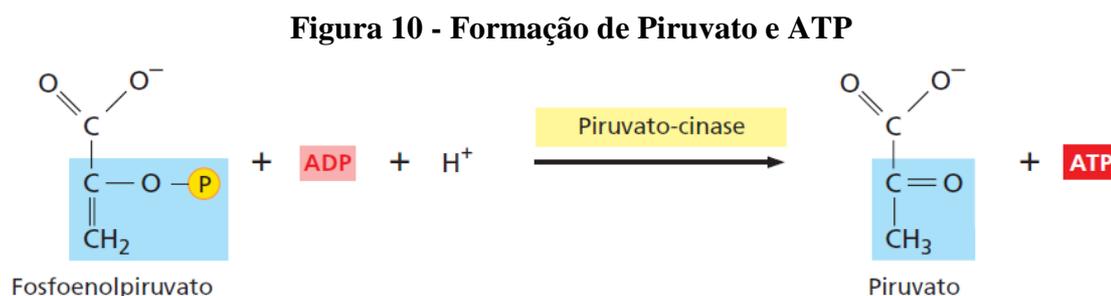
E dando seguimento ao processo, na Fase 9, a enolase atua na remoção de uma molécula de água, da 2-fosfoglicerato, resultando no substrato fosfoenolpiruvato (PEP). Essa molécula possui um potencial elevado de transferência do grupo fosforil, possibilitando assim, que na Fase 10, a via glicolítica seja finalizada com a transferência do grupo fosforil presente no fosfoenolpiruvato para uma molécula de ADP (NELSON e COX 2014). Na figura 9 é representada a remoção da molécula de água e o rearranjo na estrutura molecular formando fosfoenolpiruvato.

Figura 9 - Remoção de uma molécula de água da 2-Fosfoglicerato



Fonte: (NELSON e COX 2014)

Como resultado, na Fase 10 da via glicolítica tem-se a produção de uma nova molécula de ATP, a partir de ADP, para cada uma das trioses, além do substrato glicolítico, piruvato. A reação é catalisada pela enzima piruvato-cinase (NELSON e COX 2014). A figura 10 apresenta a remoção do grupo fosforil do fosfoenolpiruvato, formando ATP e piruvato.



Fonte: (NELSON e COX 2014)

Ao final do processo metabólico, há a produção de 4 moléculas de ATP e 2 NADH, no entanto, para quantificar o rendimento das reações, é necessário subtrair o investimento de 2 ATP, realizado na fase de preparação da glicólise, dessa forma, o rendimento energético da via glicolítica é de 2 ATP e 2NADH. A molécula resultante do processo, piruvato, possui uma conformação que permite a esta ingressar na mitocôndria, principal organela ligada a produção de energia celular, e assim, dar seguimento as demais vias metabólicas da respiração celular.

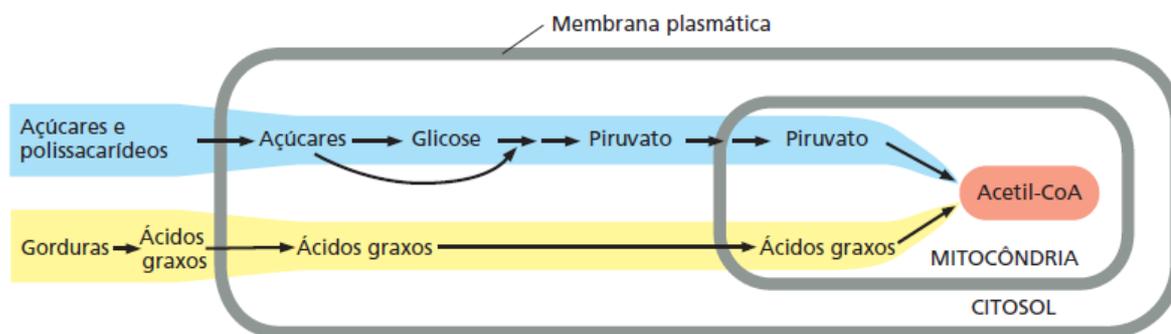
Todo processo descrito, assim como outras vias, direcionadas a moléculas diferentes da glicose, tem como função a degradação de nutrientes orgânicos no intuito de se obter energia para os processos celulares. O ATP, composto altamente energético, possui energia livre durante a hidrólise (quebra de uma ligação química, por uma molécula de água) alta e negativa, por isso, quando necessário a molécula libera parte de sua energia armazenada para realização de atividades celulares, possibilitando o desenvolvimento de processos endergônicos, ou seja, que necessitam de energia.

Na via glicolítica, o ATP funciona como “moeda energética” para a realização de vias que necessitam de energia para o seu desenvolvimento. A fosforilação da glicose, por exemplo, conta com o auxílio de uma molécula de ATP, e ao final da via, como resultado obtém-se energia padrão livre negativa, favorável ao desenvolvimento da reação e seguimento do processo.

A figura 11 apresenta-se um resumo do metabolismo energético, descrito pelo ingresso de nutrientes energéticos na célula e vias metabólicas as quais é submetido, culminando na

mitocôndria, organela onde se gera um elevado número de moléculas de ATP, responsáveis pelo transporte de energia.

Figura 11 - Metabolismo energético celular



Fonte: (ALBERTS, et al. 2017)

Dessa forma, é possível perceber que todas as etapas descritas na via glicolítica, culminam com a formação do piruvato, o qual consegue adentrar na mitocôndria e dar seguimento a respiração celular.

1.2 REALIDADE VIRTUAL

Para algumas pessoas, em tempos atrás, pensar em uma sociedade dominada por tecnologias, onde estas estão inseridas no cotidiano da população em quase todos os momentos, era uma realidade de cinema, ficção. Porém, o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias no dia a dia da população tornaram possível a concretização desse cenário.

Presentes na saúde, no transporte, nas engenharias, na educação, entre outras áreas, as tecnologias hoje fazem parte da vida da sociedade e são imprescindíveis para o desenvolvimento e aperfeiçoamento das formas de interação e trabalho.

Uma das tecnologias que se apresentam como atrativas e despertam o interesse de seus usuários é a Realidade Virtual (RV), pois possibilita novos modelos de interação com o mundo e seus conceitos a partir de diferentes ferramentas.

Essa tecnologia ganhou força e se destacou principalmente na última década, com o aperfeiçoamento dos *headsets* de RV¹. No entanto, esse recurso que hoje possibilita ingressar

¹ Óculos de RV constituído por uma câmera frontal, acoplada a fones de ouvido.

em ambientes diferenciados sem sair do lugar e vivenciar experiências, muitas vezes impossíveis de serem realizadas no espaço real, começou a ser desenvolvido muito antes.

A RV começou a ser desenvolvida na década de 1950 por um cineasta, e ganhou força nos anos de 1970, quando um engenheiro desenvolveu o primeiro capacete de RV (TORI e KIRNER 2006). Entretanto, até esse período esses avanços ainda não eram nomeados como RV. Foi somente na década de 1980 que o termo se consolidou, e criou-se uma área de pesquisa direcionada ao desenvolvimento da RV.

Sabe-se que a RV é uma tecnologia atrativa, que desperta o interesse de seus usuários. Mas por que essa ferramenta se apresenta como tão diferente e empolgante entre as demais? Qual o diferencial dos instrumentos em RV em relação as demais tecnologias? O que é RV?

Martins e Guimarães (2012) definem a RV como tecnologias que fazem uso dos sentidos e recursos multimídias para desenvolver ambientes artificiais. São espaços que possibilitam aos usuários imergir em um novo cenário e interagir com ele através de comandos previamente estabelecidos, que possibilitam o desenvolvimento de estímulos dos sentidos, proporcionando a relação de imersão no meio.

Diferentemente das demais mídias, a RV precisa de equipamentos específicos para que a experiência se desenvolva de maneira satisfatória, além de possuir especificidades que possibilitam a sensação de imersão no meio virtual.

Durante o desenvolvimento de um ambiente em RV, a tecnologia deve contemplar os seguintes aspectos, apresentados por Martins e Guimarães (2012):

- Sintética: onde o ambiente é gerado em tempo real, permitindo assim interações do usuário com o meio;
- Tridimensional: o meio e suas estruturas não modelados em 3D, além de comandos de programação que permitem a sensação de profundidade, favorecendo a imersão do usuário;
- Multissensorial: mais de um sentido deve ser estimulado pelo meio (visão, audição, resposta a estímulos do meio etc.). Os sentidos ativados variam de acordo com os equipamentos e formas de interação com o ambiente;
- Imersiva: a tecnologia tem que proporcionar aos usuários a sensação de estar dentro do ambiente, não apenas observando por meio de monitores e óculos;
- Interativa: a tecnologia deve detectar as ações do usuário no meio e responder aos comandos solicitados;

- Realística: reproduzir os objetos existentes no ambiente real, de forma mais precisa possível (MARTINS e GUIMARÃES 2012).

Para que a imersão aconteça de fato no meio, a RV conta com o apoio de diferentes instrumentos que possibilitam ingressar no ambiente virtual e estabelecer diferentes formas de interação. Essas ferramentas de imersão são denominadas *hardwares*.

De acordo com Tori, Hounsell e Kirner (2018), os *hardwares* são diferentes equipamentos que se configuram como as formas de entrada, ou seja, comunicação do usuário com o meio. Dentre os equipamentos disponíveis estão rastreadores, luvas eletrônicas, mouses 3D, teclado, joystick, reconhecedores de voz, etc. (TORI, HOUNSELL e KIRNER 2018).

Esses equipamentos permitem identificar a posição e movimentos do usuário, situá-lo no ambiente em RV, interagir com os objetos, manuseando e realizando as atividades presentes no meio, além de outras formas de atuação dos participantes no meio, estabelecidas pelos programadores.

Além dos instrumentos de entrada do usuário no ambiente em RV, para a sua imersão também é necessário o auxílio de *softwares* para desenvolvimento e utilização do produto. Dentre os *softwares* estão os de modelagem 3D, que possibilitam o desenvolver do ambiente virtual e seus componentes. A modelagem se dá principalmente na fase de construção do meio em RV e deve almejar a construção de um ambiente mais próximo da realidade possível. Há também os *softwares* utilizados para a construção do ambiente através de programação, definindo as formas de interação, locomoção, visualização, dentre outras características. Em muitos casos são usados motores de desenvolvimento de jogos (*Game Engines*) para desenvolver as aplicações em RV (TORI, HOUNSELL e KIRNER 2018)

Assim, por meio da utilização de equipamentos específicos, das interações estabelecidas e objetivos definidos no produto, o usuário pode interagir no meio em RV, da mesma forma que fariam em um ambiente físico (MARTINS, et al. 2017).

Ressalta-se que a construção do meio e formas de interação estabelecidos buscam tornar o ambiente virtual o mais próximo da realidade, atendendo aos objetivos que norteiam a RV. Para que a ferramenta se estabeleça com êxito, o diálogo do usuário com a RV deve ser fluido e prazeroso.

1.2.1 RV COMO RECURSO DIDÁTICO

Como apresentado na seção anterior, para se desenvolver um ambiente em RV é necessário considerar diversos aspectos que devem ser contemplados pelo ambiente. Imersão e

interação com o meio estão entre características dessa tecnologia. Assim, esses atributos configuram-se como diferenciais, despertando o interesse dos usuários pela aplicação.

No entanto, a RV se apresenta como um importante recurso não só por ser uma ferramenta diferente que desperta a curiosidade e interesse dos usuários, mas pelo seu potencial quando aplicada a diversas áreas. Essa tecnologia permite explorar conceitos e situações antes difíceis de serem visualizados.

Empregada na engenharia, medicina, entretenimento, a RV possibilita o desenvolvimento de simulações, que podem levar ao aperfeiçoamento ou treinamento de profissionais permitindo a diferentes áreas de conhecimento se beneficiarem com esse recurso. Alguns campos onde encontra-se aplicações dessa tecnologia, são:

- Entretenimento: games e viagens virtuais.
- Saúde: cirurgias virtuais, tratamento de pacientes em UTI, reabilitação.
- Negócios: maquetes virtuais, edificações, interiores.
- Treinamento: simuladores de voo, motocicletas, teste de qualidade de veículos, etc.
- Educação: esta aplicação ainda é foco de estudos (BRAGA 2001).

Assim, considerando suas características e diferentes formas de visualização e interação com o meio, a RV, já explorada por diferentes setores sociais, também se configura como um importante recurso para ser aplicado a educação.

No processo de ensino-aprendizagem, os estudantes possuem formas diferentes de compreender conceitos e abordagens diferenciadas que contemplem os distintos estilos de aprendizagem, ou que possibilitem ao aluno explorar o conteúdo à sua maneira, buscando, questionando, investigando e construindo seus conceitos são imprescindíveis no processo de formação dos discentes. Dessa forma, um dos diferenciais da RV, para a educação, é a diversidade de funcionalidades que permiti contemplar diferentes estilos cognitivos (BARILLI, EBECKEN, N. F. F. e CUNHA 2011).

A inserção de tecnologias digitais no cotidiano da sociedade interfere de forma direta na maneira como as relações interpessoais e processos sociais se desenvolvem. Assim, a educação precisa acompanhar esse processo e fazer uso das tecnologias apresentadas como auxiliares para o ensino.

A presença de novas tecnologias no ensino pode levar a maior proximidade do aluno com o conteúdo e autonomia dos estudantes. Como apresenta Tori (2010, p. 27) “[...] com a ajuda das tecnologias interativas, as atividades virtuais estão conseguindo aumentar a sensação de proximidade percebida pelos aprendizes. [...] Com recursos de realidade virtual, é possível

uma maior aproximação entre aluno e conteúdo”. A RV permite que o estudante se torne um agente ativo, trabalhando junto ao docente na construção de seus conhecimentos (TORI 2010).

Ferreira, Tarouco e Becker (2003) falam sobre a importância das imagens para a aprendizagem humana, sendo elas o conteúdo que mais se destaca no pensamento humano. Assim os autores destacam o potencial que Sistemas de Realidade Virtual (SVRs) para a educação como facilitadores do processo de ensino-aprendizagem, pois oportunizam estímulos audiovisuais, movimentação e interação direta com o conteúdo.

No Quadro 1 são apresentadas possíveis aplicações da RV no ensino e principais benefícios da adoção desta tecnologia para a educação (FERREIRA, TAROUCO e BECKER 2003).

Quadro 1 - Uso potencial dos SRVs

Uso potencial	Benefícios comparados com os métodos tradicionais
Simulação de sistemas complexos	Habilidade para observar a operação do sistema a partir de um número de perspectivas aliadas a uma alta qualidade de visualização e interação.
Visualização macroscópica e microscópica	Observação de propriedades de objetos, que são muito grandes ou muito pequenos para serem observados em escala normais.
Simulação em tempos mais rápidos ou mais lentos	Habilidade para controlar a escala de tempo em um evento dinâmico. Essa facilidade pode operar como no avanço ou retrocesso rápido dos gravadores de vídeo modernos.
Permite altos níveis de interatividade	Os SRVs permitem um grau maior de interatividade que outros sistemas baseados em computador.
Sensação de imersão	Em algumas aplicações, a sensação de escala é extremamente importante.
Flexibilidade e adaptabilidade	Um mesmo SRV pode ser alocado a diversos usos.

Fonte: (FERREIRA, TAROUCO e BECKER 2003)

De acordo com Braga (2001, p. 5) “a Educação pode ser vista como um processo de descoberta, exploração e de observação, além de eterna construção do conhecimento”. Assim, as características da RV abrem possibilidades de aplicações dessas tecnologias em diferentes

áreas. Para a educação, abordagens de ensino envolvendo esse recurso podem oferecer benefícios, como, estímulo a participação dos alunos, vivenciar e explorar conceitos e ambientes a níveis microscópicos, realizar experimentos, entre outras aplicações. Assim, como apresentado por Pizzato e Nunes (2019) essa ferramenta mostra-se positiva principalmente na abordagem de temas abstratos, de difícil visualização, que não podem ser observados no meio físico.

Braga (2001) destaca algumas características que devem impulsionar cada vez mais a aplicação da RV no ensino, como:

- Maior motivação dos estudantes (usuários);
- O poder de ilustração da realidade virtual para alguns processos e objetos é muito maior do que outras mídias;
- Permite uma análise próxima;
- Permite uma análise distante;
- Permite que as pessoas com deficiência realizem tarefas que de outras formas não são possíveis;
- Dá oportunidades para experiências;
- Permite que o aprendiz desenvolva o trabalho no seu próprio ritmo;
- Não restringe o prosseguimento de experiências ao período da aula regular;
- Permite que haja interação e, dessa forma, estimula a participação ativa do estudante. (BRAGA, 2001, p.6)

Portanto, com base nas características da RV, de possibilitar imersão, interação, explorar meios impossíveis ou dificilmente possíveis no mundo real, percebe-se que essa ferramenta tem muito a contribuir quando associada à educação, estimulando a autonomia, o questionamento, e permitindo aos estudantes formas diferenciadas de contato com o conteúdo, podendo facilitar seu processo de aprendizagem.

Apesar de auxiliadora no processo de ensino-aprendizagem e dos inúmeros aspectos positivos impulsionados pelo desenvolvimento da ferramenta em RV, assim como qualquer Recurso Didático, esta deve ser utilizada com objetivos definidos e sob mediação do educador, impedindo que se configure apenas como um instrumento de entretenimento, e atue positivamente na construção do conhecimento.

No capítulo seguinte são apresentados exemplos da RV como ferramenta de ensino, assim como aplicada a pesquisa, direcionada para a abordagem da Biologia Molecular e Bioquímica.

2 TRABALHOS CORRELATOS

Ferramentas tecnológicas são desenvolvidas, aperfeiçoadas e implementadas na sociedade todos os dias, e tornaram-se instrumentos chaves no cotidiano da população, atuando na saúde, educação, transporte, dentre outros. A RV é um desses instrumentos que ganhou força nos últimos anos com o aperfeiçoamento dos *headsets* de RV. Sendo a ferramenta produto desta dissertação, um simulador em RV direcionado ao ensino, realizou-se um levantamento de produções relacionadas a temática do trabalho, que apresentassem a RV como um recurso para a abordagem dos temas celulares.

É possível encontrar uma variedade de produções que aplicam a RV como instrumentos auxiliares para o processo de ensino-aprendizagem. As áreas da saúde, engenharia, e entretenimento são as mais beneficiadas por produções relacionadas a RV, utilizando esta tecnologia para simular situações do cotidiano dos profissionais e possibilitar mais práticas antes de atuarem efetivamente no meio real

Na busca por produções relacionadas à ferramenta desenvolvida e sua temática de ensino, por meio da pesquisa bibliográfica compilou-se produções acadêmico-científicas, nos idiomas português e inglês, que abordam a temática da respiração celular e/ou processos celulares através de ferramentas de RV.

Foram utilizados os repositórios científicos PubMed, Science Direct e a ferramenta de busca Google Acadêmico, sendo este último pesquisado até a página de número 10, pois à medida que avançavam, os títulos dos trabalhos distanciaram-se mais do termo pesquisado.

Algumas das palavras-chave apresentaram muitos resultados e tornou-se necessário filtrar os trabalhos condizentes com o objetivo da busca. Os materiais foram selecionados primeiramente pela leitura do título, sendo feita a triagem dos artigos que possivelmente estariam relacionados ao conteúdo trabalhado. Posteriormente, foram analisados os resumos destes e selecionados os que relataram produções em RV no ensino de Biologia Celular. Não foram encontrados documentos associando diretamente o ensino de respiração celular e a ferramenta de RV.

O Quadro 2 apresentada as palavras chaves, repositórios e ferramenta de busca Google acadêmico, utilizados na busca por trabalhos relacionados. É apresentado no quadro o número de produções encontrada para cada termo pesquisado, considerando o período de pesquisa, até dezembro de 2018.

Quadro 2 - Palavras-chave utilizadas na pesquisa

PALAVRAS-CHAVE	PUBMED	SCIENCE DIRECT	GOOGLE ACADÊMICO
Virtual Reality, Science Teaching	381	7726	883000
Realidade Virtual, Ensino de Ciências		50	68700
Virtual Reality, Biology	234	7061	252000
Realidade Virtual, Biologia		18	35500
Virtual Reality, Cellular Respiration	4	453	7000
Realidade Virtual, Respiração Celular			7380
Teaching of Cellular Respiration	797	2472	40500
Ensino de Respiração Celular			20700
Virtual Reality, Biochemistry	23	1755	32500
Realidade Virtual, Bioquímica		5	10300

Fonte: autora, 2019.

Apesar dos elevados resultados encontrados durante a pesquisa, principalmente na ferramenta de busca Google Acadêmico, os trabalhos, em sua maioria, não relacionavam a RV ao ensino de Biologia e processos celulares. Nas buscas que envolveram o termo Realidade Virtual, ou *Virtual Reality*, ligados ao ensino, as produções encontradas referiam-se geralmente a ambientes virtuais de aprendizagem relacionados ao ensino de Ciências e Biologia. Da mesma forma, muitos artigos que relacionavam o ensino de Ciências e Biologia práticas envolvendo estruturas 3D.

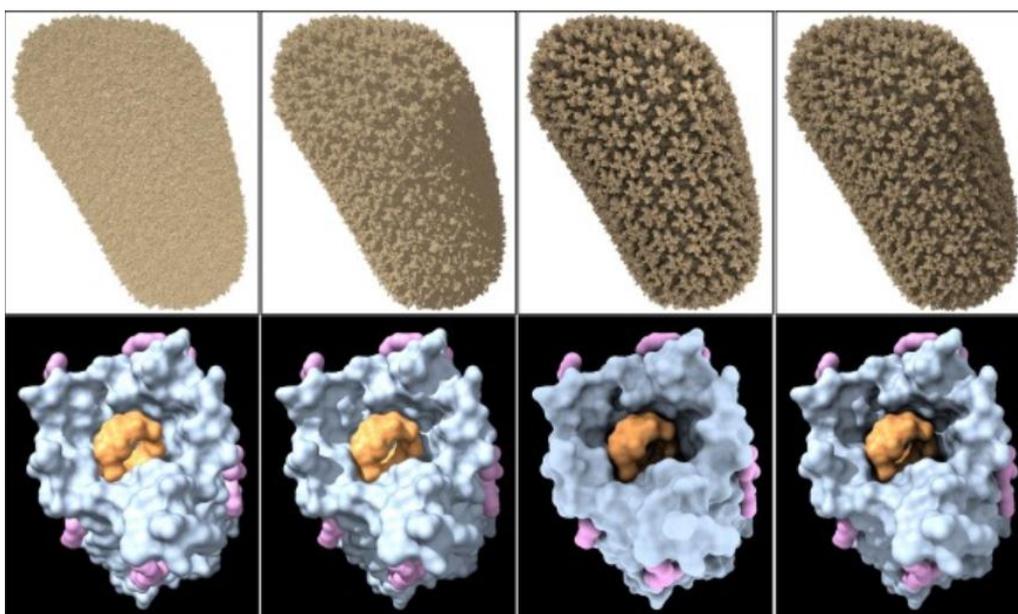
Após a filtragem dos materiais, obtiveram-se quatro produtos que relacionam a RV ao ensino de Biologia Celular e Molecular. Os trabalhos encontrados são descritos a seguir, destacando suas características e potencial educacional.

2.1 UCSF CHIMERA X: MEETING MODERN CHALLENGES IN VISUALIZATION AND ANALYSIS (GODDARD, HUANG, ET AL. 2018)

Chimera X (GODDARD, HUANG, et al. 2018): permite visualizar e analisar estruturas moleculares, mapas de densidade, microscopia 3D, e dados associados de proteínas. É possível realizar alterações nas estruturas de aminoácidos e outras células, além de alternar as formas de visualização das moléculas. O recurso pode ser utilizado em computadores com auxílio do mouse, para manusear as estruturas, no entanto também foi desenvolvida a versão em RV, que conta com *headsets* de RV, e controles para manusear os compostos moleculares. No ambiente em RV os comandos de interação são selecionados através dos controles, por uma janela de interface, semelhante à usada no monitor dos computadores. Neste aplicativo, dois usuários podem interagir com a estrutura ao mesmo tempo, necessitando para isso, de dois computadores e *headsets* de RV, a que devem estar conectados por uma rede. No entanto, as alterações de mais de um participante ao mesmo tempo são limitadas, restringindo-se a mover, dimensionar e girar as estruturas.

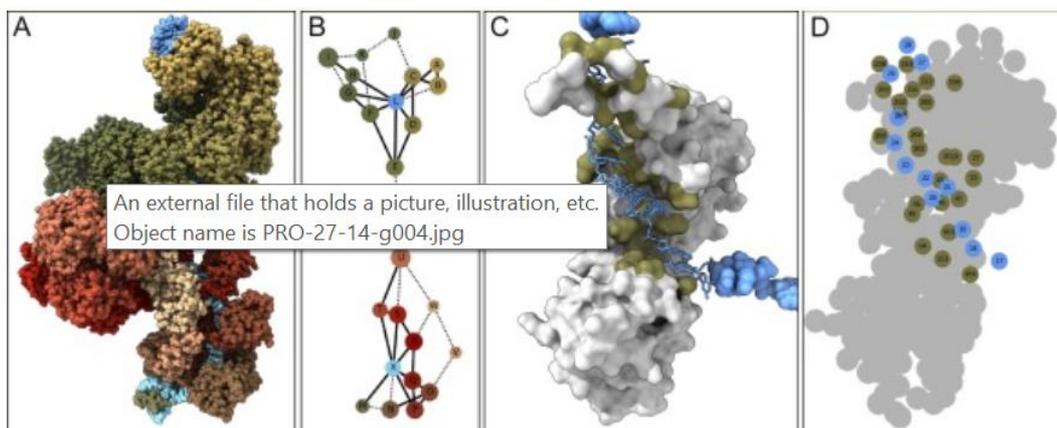
A figura 12 apresenta uma das formas de visualização das moléculas através do software e a figura 13 indica uma das funcionalidades da ferramenta, que permite aos estudantes selecionar aspectos como pontos de contato entre moléculas e visualizar apenas uma parte da estrutura.

Figura 12 - Formas de visualização da molécula HIV-1 capsid



Fonte: (GODDARD, HUANG, et al. 2018)

Figura 13 - Visualização da interação entre várias moléculas



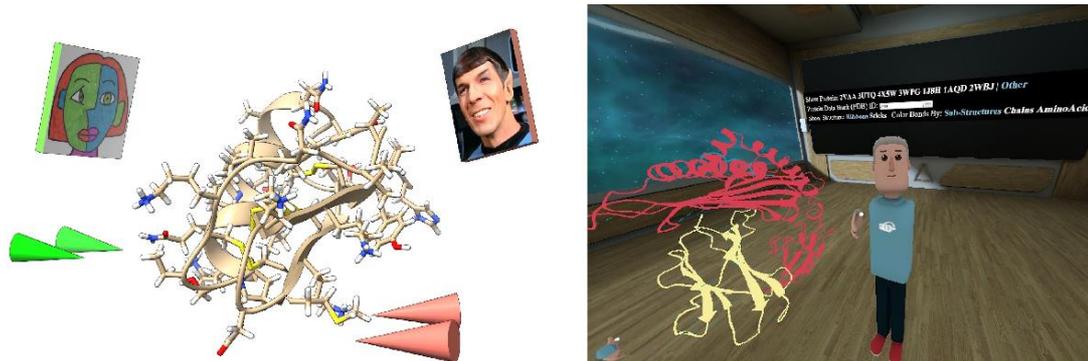
Fonte: (GODDARD, HUANG, et al. 2018)

2.2 MOLECULAR VISUALIZATION ON THE HOLODECK (GODDARD, BRILLIANT, ET AL. 2018)

O trabalho de Goddard et al. (2018) descreve três aplicações da RV para pesquisa e ensino de Biologia molecular. Os produtos apresentados pelos autores, são:

- 1) *Chimera X* (GODDARD, HUANG, et al. 2018): já descrita no trabalho anterior.
- 2) *AltPDB* (GODDARD, BRILLIANT, et al. 2018): para facilitar a visualização das estruturas moleculares por mais de uma pessoa, foi desenvolvido através da plataforma de RV *AltSpace VR* o *AltPDB*, que permite a visualização molecular multi-pessoa. As moléculas são construídas de maneira simples, utilizando esferas e cilindros. O ambiente possibilita sincronizar sessões com vários usuários, nas quais estruturas projetadas no *Chimera X*, e enviadas ao *AltSpaceVR*. Durante a sessão cada usuário recebe áudio, dados e avatar, personalizados, para diferenciá-los. No entanto, como necessita de informações de uma outra aplicação, as respostas dessa ferramenta são mais lentas, e não recebem um *feedback* constante, além das ações previamente definidas, como movimentar e dimensionar a estrutura. Na figura 14 é ilustrado a forma de visualização, manuseio das estruturas moleculares e a forma que o usuário é representado no meio molecular.

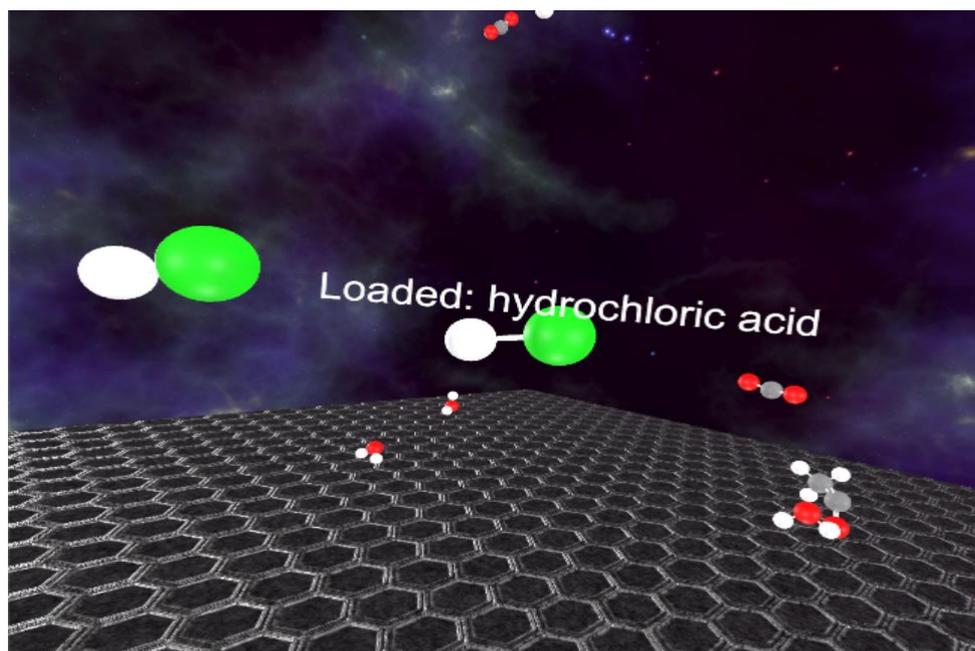
Figura 14 - Forma de visualização e representação do usuário no ambiente em RV



Fonte: (GODDARD, BRILLIANT, et al. 2018)

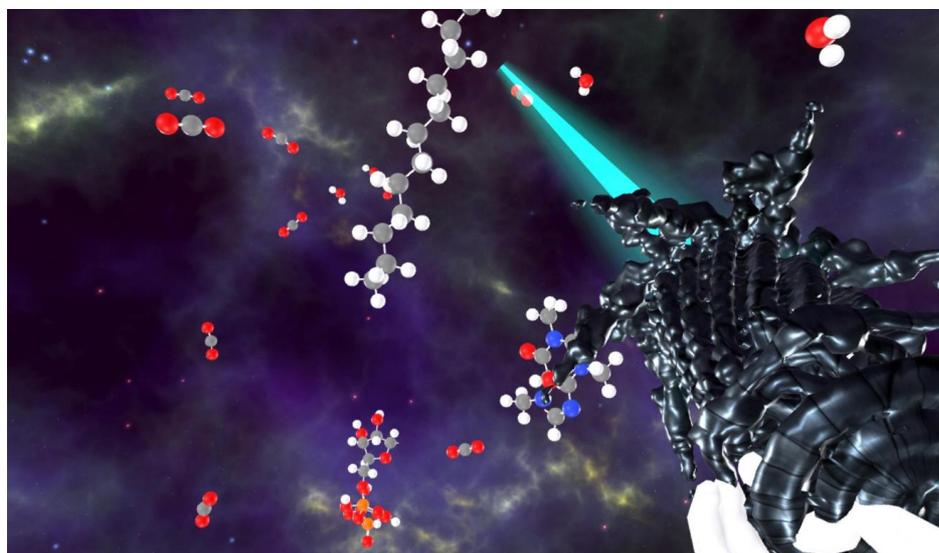
3) *Molecular Zoo* (GODDARD, BRILLIANT, et al. 2018): Essa aplicação, trata-se de um jogo onde os usuários podem separar, e colidir moléculas, para assim, observar as interações que podem ser realizadas entre estas. Moléculas de água e oxigênio estão entre as aplicações da ferramenta, em que o participante pode lançá-las e observar que tipo de interações realizam e com quais fragmentos moleculares se ligam. Os autores não apresentam atividades específicas a serem contempladas na ferramenta, eles justificam que o objetivo do recurso é despertar o interesse dos estudantes pelas ciências e instigá-los a serem pesquisadores, dessa forma, os usuários ficam livres para explorarem o ambiente. Nas figuras 15 e 16 são apresentados o ambiente no qual os usuários são inseridos e maneira de manuseio das moléculas.

Figura 15 - Visualização das moléculas no Molecular Zoo



Fonte: (GODDARD, BRILLIANT, et al. 2018)

Figura 16 - Interação do usuário no Molecular Zoo



Fonte: (GODDARD, BRILLIANT, et al. 2018)

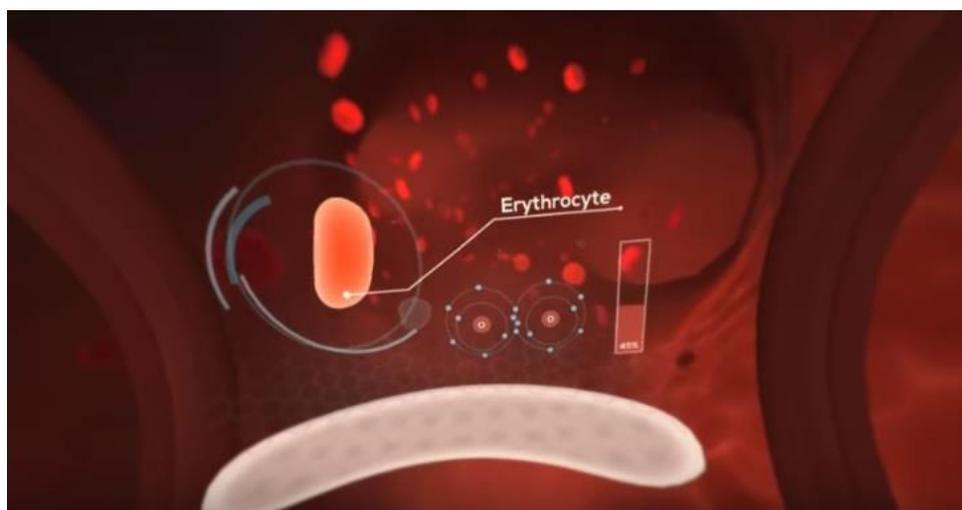
Como metas futuras, os autores pretendem adicionar novos componentes ao produto, como os três estados físicos da água, que os usuários possam variar a energia fornecida a um processo, adicionar a estrutura do DNA aberta e fechada, utilização de gás natural para observar as etapas da combustão, além de uma caixa de medicamentos para familiarizar os alunos com suas características e funcionamento.

Os autores apresentam entre as maiores dificuldades em elaborar as ferramentas, é a renderização e integração das estruturas no Motor de desenvolvimento dos aplicativos, visto que estas possuem grande quantidade de detalhes o que torna o processo, e por vezes o aplicativo, mais lento.

2.3 THE BODY VR: O JOURNEY INSIDE A CELL (THE BODY VR 2018)

Ferramenta desenvolvida pela The Body VR (The Body VR 2018), uma empresa de RV direcionada para a saúde, permite realizar uma viagem pela corrente sanguínea, observando recebendo informações sobre as estruturas moleculares através de quadros explicativos, como apresentado na figura 17. O site permite utilizar o recurso através dos óculos *Samsung Gear VR*, *HTC Vive Oculus*, *Oculus Rift* e *Daydream Coming Soon*.

Figura 17 - Informações fornecidas pelo *software* ao usuário



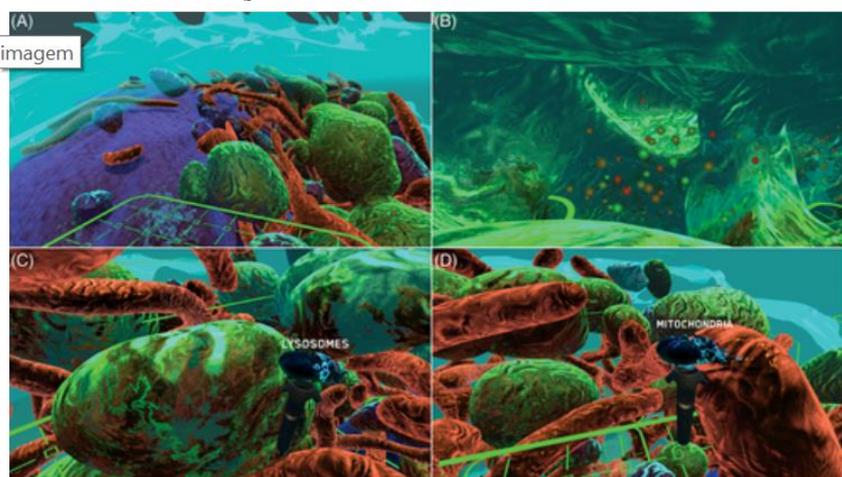
Fonte: (The Body VR 2018)

2.4 JOURNEY TO THE OF THE CELL: VIRTUAL REALITY IMMERSION IN TO SCIENTIFIC DATA (JOHNSTON, ET AL. 2017)

O artigo de Johnston et al. (2017) aborda o desenvolvimento de um ambiente em RV de uma célula de câncer de mama. A célula em RV foi desenvolvida para os cursos da área de saúde, e permite ao usuário interagir com o ambiente em RV através do contato destes com as

estruturas celulares, para receber informações a respeito destas por meio de textos explicativos ou áudios. Os autores ratificam a importância do recurso como facilitador no processo de compreensão dos conteúdos. A figura 18 apresenta cenas do ambiente celular, e formas de interação do usuário.

Figura 18 - Visualizações do interior celular e controles de movimento

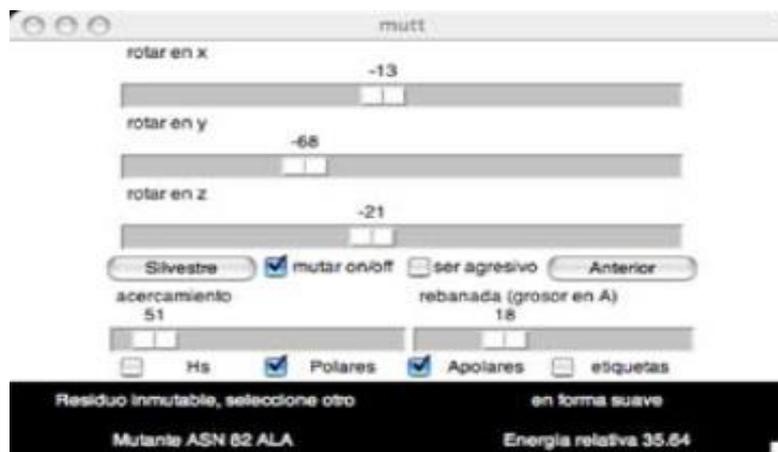


Fonte: (JOHNSTON, et al. 2017)

2.5 SIMULATED SITE-DIRECTED MUTATION IN A VIRTUAL REALITY ENVIRONMENT AS A POWERFUL AID FOR TEACHING THE THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE OF PROTEINS

Sotres et al. (2009) descrevem o uso de RV para trabalhar as estruturas e mutações de proteínas, sendo possível aos graduandos, manusearem as moléculas em todas as dimensões, e adicionarem ou retirarem aminoácidos. A interação dos estudantes se dá através de barras movimento das moléculas, como demonstrado na figura 19. O *software* não proporciona a imersão no ambiente celular, a figura 20 apresenta a forma como as moléculas são exibidas através do *software*.

Figura 19 - Barras de Ferramenta utilizadas para interação com o ambiente virtual



Fonte: (SOTRES, et al. 2009)

Figura 20 - Estrutura proteica apresentada no simulador



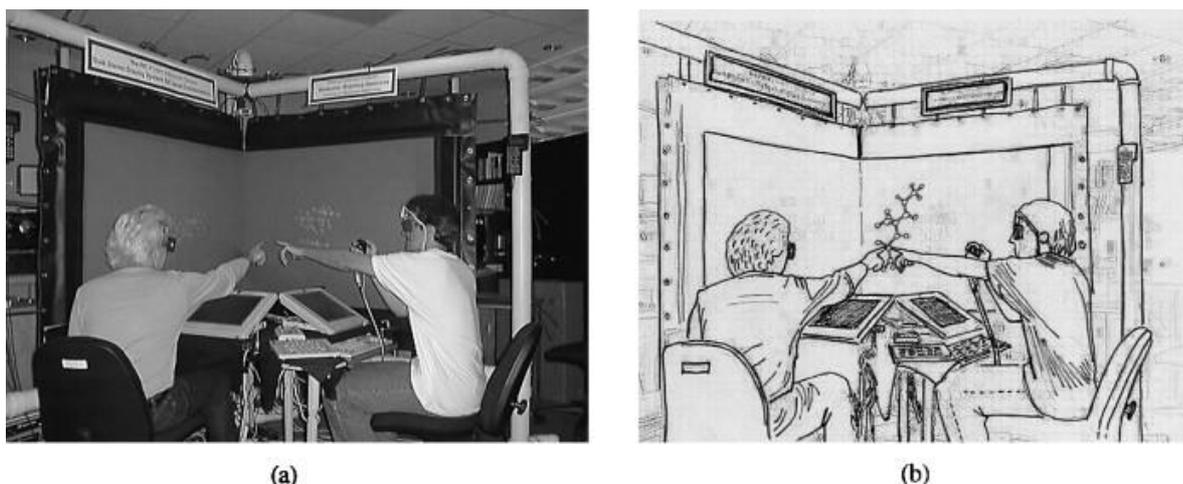
Fonte: (SOTRES, et al. 2009)

2.6 A VIRTUAL ENVIRONMENT FOR STEERED MOLECULAR DYNAMICS (PRINS, ET AL. 1999)

Jan F. Prins et al. (1999) apresentam um ambiente virtual de imersão que permite visualizar e interagir com estruturas tridimensionais de proteínas através do sistema *Steered Molecular Dynamics* (SMD). Os autores podem manusear a estrutura da molécula movimentando-a e observando por diferentes ângulos, retirando ou adicionando ligações e ressaltam que a ferramenta facilita a compreensão e estudos sobre as forças moleculares e

reações. O modelo é mais antigo e necessita, além dos óculos de imersão, de dois monitores acoplados possibilitando a atuação de dois usuários concomitantemente. As interações são mais complexas e direcionadas para pesquisas, devido à grande quantidade de informações pouco didáticas. A figura 21 é uma representação *hardware* desenvolvido e como os usuários interagiam durante a utilização do instrumento.

Figura 21 - Interação de dois usuários em um ambiente de RV



Fonte: (PRINS, et al. 1999)

2.7 EXPLORING MOLECULAR STRUCTURE BY VIRTUAL REALITY (HARTSHORN, HERZYK E HUBBARD 1995)

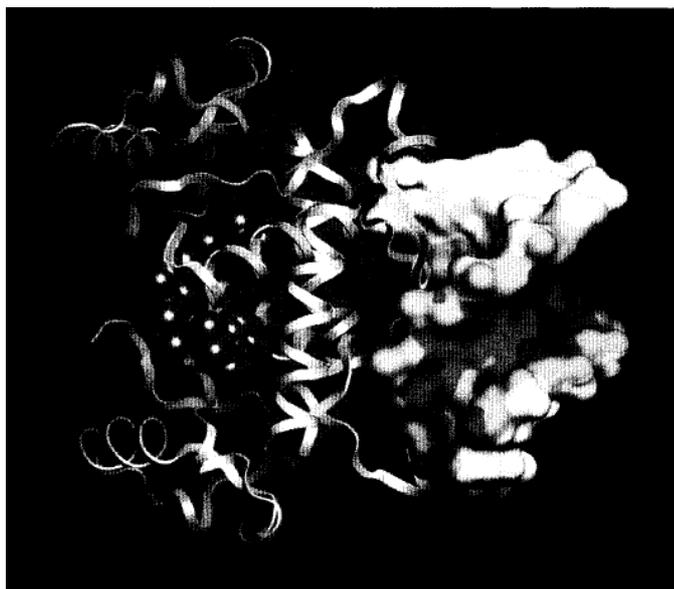
Hartshorn, Herzyk e Hubbard (1995) também apresentam o desenvolvimento de ferramentas de RV. Os autores abordam a visualização das estruturas moleculares do DNA, proteínas que se ligam e reagem com a molécula, suas interações com a molécula se restringiam a movimentação, controladas pelo uso de um *joystick*. Os recursos utilizados eram mais pesados o que dificultava a sensação de imersão. As figuras 22 e 23 apresentam os aparelhos utilizados pelos autores para imersão e manuseio das moléculas, e a forma como as estruturas moleculares eram retratadas no ambiente virtual.

Figura 22 - Consoles de imersão e interação



Fonte: (HARTSHORN, HERZYK e HUBBARD 1995)

Figura 23 - Representação molecular utilizada no software



Fonte: (HARTSHORN, HERZYK e HUBBARD 1995)

A partir das características *softwares* de RV, e dos produtos descritos elaborou-se um quadro comparativo buscando avaliar as funcionalidades das ferramentas desenvolvidas, e o aperfeiçoamento destas, em que pontos diferem ou convergem, além das principais mudanças desenvolvidas dos recursos mais antigos aos atuais.

2.8 QUADRO COMPARATIVO

Ferramentas em RV de acordo com os comandos estabelecidos, tipos de movimentação, consoles utilizados, entre outras características podem ser classificadas de diferentes maneiras. Os *softwares* variam entre instrumentos imersivos ou não-imersivos, interativos ou de visualização, cenários reais ou fictícios, formas de interação, e outros aspectos que devem ser levados em consideração na elaboração de um produto utilizando essa tecnologia.

Dos trabalhos apresentados anteriormente forma destacadas características da RV contempladas por eles assim como outros aspectos importantes para a utilização do produto, como por exemplo, se são *softwares* livre, onde estão hospedados e quais os recursos necessários para sua utilização. O Quadro 3 faz a comparação entre as características de cada ferramenta.

Trabalhos Relacionados	Sintética	Multissensorial	Imersiva	<i>Headset</i>	Sistema Operacional	Hospedagem	Código fonte	Disponibilização	Categoria
<i>Jan F. Prins et al. (1999)</i>	X	X	X						Pesquisa
<i>Hartshorn, Herzyk e Hubbard (1995)</i>	X		X						Educativo

Fonte: autora, 2019.

As características tridimensional, interativa e realista foram contempladas em todos os produtos o que pode indicar a preocupação dos pesquisadores em desenvolver uma ferramenta bem próxima à realidade. Nas descrições quanto as funcionalidades e desenvolvimento dos recursos, os mais antigos não definiram tipos de equipamentos utilizados e se a ferramenta está disponível para ser aplicada. No entanto, com o aperfeiçoamento dos *headsets* de RV, talvez estes não se adequem mais aos novos instrumentos.

O produto apresentado nesta dissertação, assim como as ferramentas anteriormente citadas, buscou adequar-se as características da RV, a fim de proporcionar aos estudantes sentirem-se verdadeiramente imersos no meio celular, rodeado por estruturas e processos moleculares.

Nos *softwares* de Johnston et al (2017) e *The Body VR*, que mais se assemelham do simulador desenvolvido por também trabalharem a célula, seus componentes e processos, as interações que os usuários podem estabelecer com o meio se restringem ao contato com estruturas celulares, que fornecem áudios e textos informativos e animações dos processos moleculares.

Para expandir o contato dos participantes com as estruturas celulares e envolvê-los mais profundamente na abordagem dos conteúdos apresentados no ambiente em RV, fugindo apenas da visualização e de textos informacionais, no simulador desenvolvido, foram elaborados comandos que permitem aos estudantes participarem da realização dos processos bioquímicos, manipulando substratos e participando ativamente em cada etapa da via glicolítica.

Ademais, quando comparados aos produtos *Chimera X*, *AltPDB*, *Molecular Zoo* Goddard et al. (2018), e as ferramentas de Sotres et al. (2009), Prins et al. (1999) e Hartshorn, Herzyk, Hubbard (1995), que permitem a análise de estruturas moleculares e mutações, o *software* desenvolvido pretende ir além da avaliação estrutural dos compostos moleculares, trabalhando o desenvolvimento de um ciclo de produção de energia, que possibilita observar além das estruturas moleculares dos substratos, como estes se relacionam, produtos das reações, e seus destinos.

Os produtos, de Prins et al. (1999) e Hartshorn, Herzyk, Hubbard (1995), são mais antigos e permitem interações limitadas com o produto visualizado, utilizando instrumentos de imersão mais antiquados e de menor praticidade. Estes apresentam muitas restrições de manuseio aos seus usuários, e dificuldades de imersão, portanto, quando analisados, observou-se a importância do desenvolvimento de mecanismos agradáveis que proporcionassem bem-estar e liberdade aos usuários. Dessa forma, com objetivo de favorecer a imersão no meio

virtual, buscou-se desenvolver um simulador, em que os estudantes realmente tenham a sensação de ingressar em um outro ambiente e possam atuar livremente no meio em RV.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO GLICOLISEUM

Como produto desta dissertação, desenvolveu-se um simulador em ambiente de RV como recurso didático para o ensino da via glicolítica, primeira fase da respiração celular, buscando apresentar um novo instrumento que possa ser utilizado para facilitar a abordagem dos processos celulares e o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes.

Utilizando modelagens tridimensionais dos substratos glicolíticos e possibilitando aos alunos ter contato direto com essas moléculas, por meio dos *headsets* de RV, o *software* desenvolvido buscou atender a aspectos que facilitassem aos estudantes compreenderem o processo de geração de energia, e em que condições estes se desenvolvem.

Todas as etapas de construção do simulador em RV, desde a modelagem dos substratos glicolíticos e meio celular, até as formas de interação planejadas para o usuário no ambiente virtual, foram desenvolvidas buscando oferecer ao usuário um ambiente e processor o mais próximos possível, graficamente, da realidade.

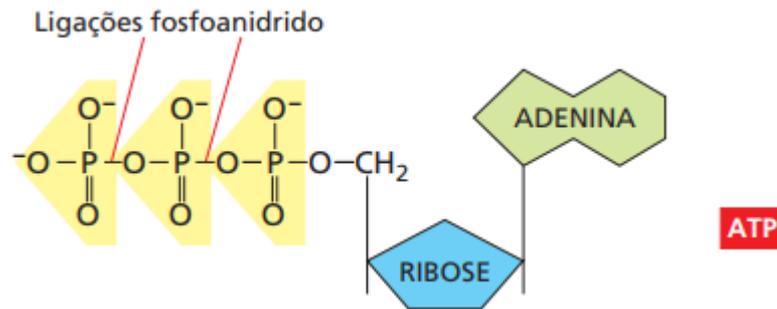
Após a idealização do *software* e planejamento quanto aos objetivos, estrutura e funcionalidades do produto, segundo o método de desenvolvimento adotado foram definidas tarefas para construção do simulador. Nas seções seguintes, são apresentadas as etapas de construção do simulador, assim como instrumentos e habilidades necessários para a construção do produto. Também é descrita a simulação da via glicolítica abordada no *software*.

3.1 MODELAGEM DOS SUBSTRATOS GLICOLÍTICOS E AMBIENTE CELULAR

A modelagem dos componentes da via glicolítica e meio celular foi realizada no *software* de modelagem 3D Blender, uma ferramenta gratuita que permite a construção e renderização de objetos tridimensionais.

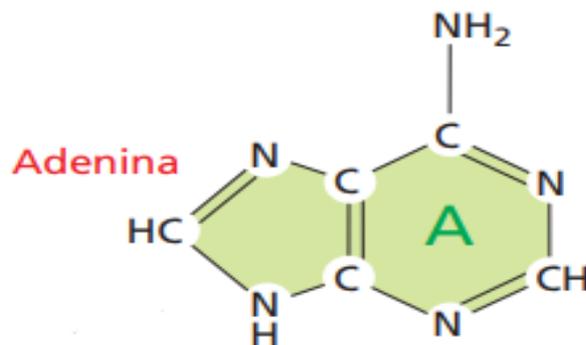
Como um dos principais produtos do metabolismo energético a primeira molécula desenvolvida foi a de ATP. Para a modelagem mais precisa e confiável de sua estrutura, utilizou-se como referência para o seu desenvolvimento as fórmulas estruturais planas presentes no livro *Biologia Molecular da Célula* (ALBERTS, et al. 2017). As figuras 24, 25 e 26 apresentam os modelos estruturais planos utilizados na construção das moléculas 3D.

Figura 24 - Adenosina trifosfato (ATP)



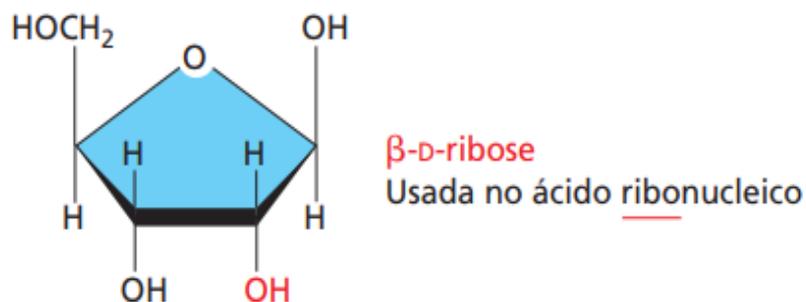
Fonte: Alberts et al. (2017, p. 65, edição nossa)

Figura 25 - Base Nitrogenada Adenina, constituinte do ATP



Fonte: Alberts et al. (2017, p. 136, edição nossa)

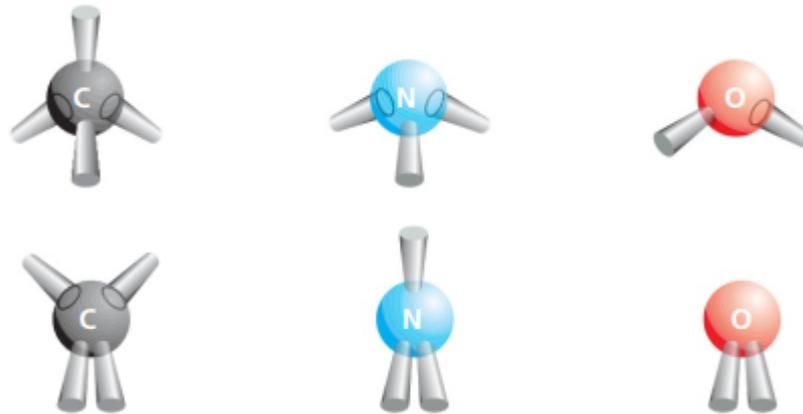
Figura 26 - Ribose, Pentose constituinte do ATP



Fonte: Alberts et al. (2017, p. 136, edição nossa)

Buscando desenvolver uma ferramenta que se aproximasse do processo real, teve-se o cuidado de construir os substratos glicolíticos de acordo com as orientações das ligações químicas estabelecidas por cada átomo. O livro de Alberts et al. (2017) também oferece um direcionamento quanto ao sentido das ligações. A figura 27, apresenta exemplos da orientação das ligações estabelecidas pelos átomos de carbono, nitrogênio e oxigênio.

Figura 27 - Orientação das ligações atômicas

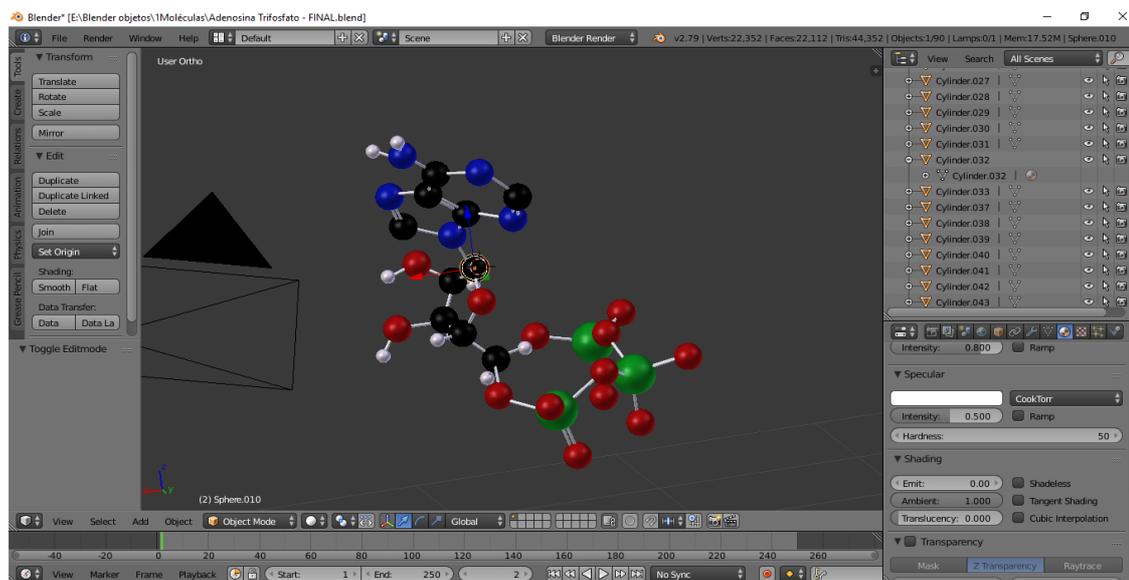


Fonte: Alberts et al. (2017, p. 126, edição nossa)

A construção da ferramenta se deu a partir de objetos já disponibilizados pelo *software* de modelagem. O modelo representativo escolhido para desenvolvimento das estruturas moleculares, foi o de esferas e cilindros, onde as esferas assumiram a função de átomos, e os cilindros atuaram como ligações químicas. Os átomos e tipos de interações estabelecidos por eles foram diferenciados através do tamanho e cores das esferas, e tamanho das ligações químicas.

Ao longo da via glicolítica, as moléculas envolvidas no processo sofrem inúmeras mudanças estruturais, dessa forma, um ponto importante a ser considerado na modelagem dos substratos foi a capacidade de permitir alterações na constituição das moléculas durante toda a via, sendo possível adicionar ou retirar átomos de acordo com a necessidade do processo. A figura 28 apresenta a interface de modelagem do ATP no Blender.

Figura 28 - Interface do Blender e modelagem do ATP



Fonte: autora, 2019.

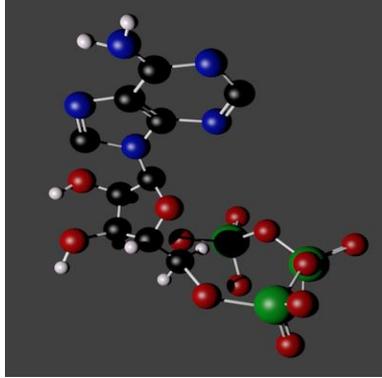
Após a construção do ATP, os demais substratos glicolíticos seguiram o mesmo modelo de produção. Foram desenvolvidas as estruturas em 3D da glicose, glicose-6-fosfato, frutose-6-fosfato, frutose-1,6-bifosfato, di-hidroxiacetona-fosfato, gliceraldeído-3-fosfato, 1,3-bifosfoglicerato, 3-fosfoglicerato, 2-fosfoglicerato, fosfoenolpiruvato, piruvato, nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD^+) e nicotinamida adenina dinucleotídeo reduzido (NADH).

Modelados os substratos, o passo seguinte foi o desenvolvimento da via glicolítica. Tratando-se de um processo complexo, com muitos substratos e trocas de radicais, para melhor direcionar a construção do simulador, e facilitar ao programador compreender a via glicolítica, ainda no Blender, foi desenvolvida uma animação, da via glicolítica, e esta foi apresentada ao restante da equipe. A figura 30 apresenta a interface de construção da animação.

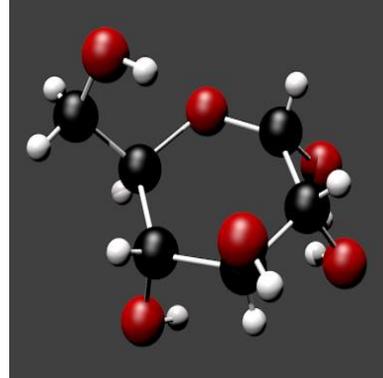
A animação direcionou todo o processo de construção do simulador, pois possibilitou avaliar quais as melhores formas de estabelecer interações do usuário com os substratos e maneiras de divisão das fases da glicólise.

As estruturas no Blender do ATP (figura 29a); da glicose (figura 29b), do piruvato, (figura 29c) e do NADH , (figura 29d), são apresentadas na figura 29 e a interface de desenvolvimento da animação é representada na figura 29.

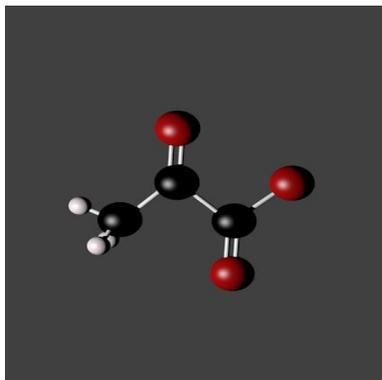
Figura 29 - Renderização das moléculas da via glicolítica: (a) Adenosina trifosfato (ATP), (b) Glicose, (c) Piruvato, (d) Nicotinamida adenina dinucleotídeo reduzido (NADH).



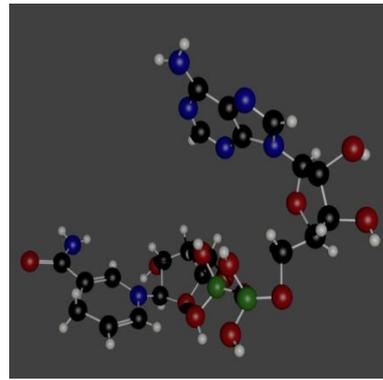
(a)



(b)



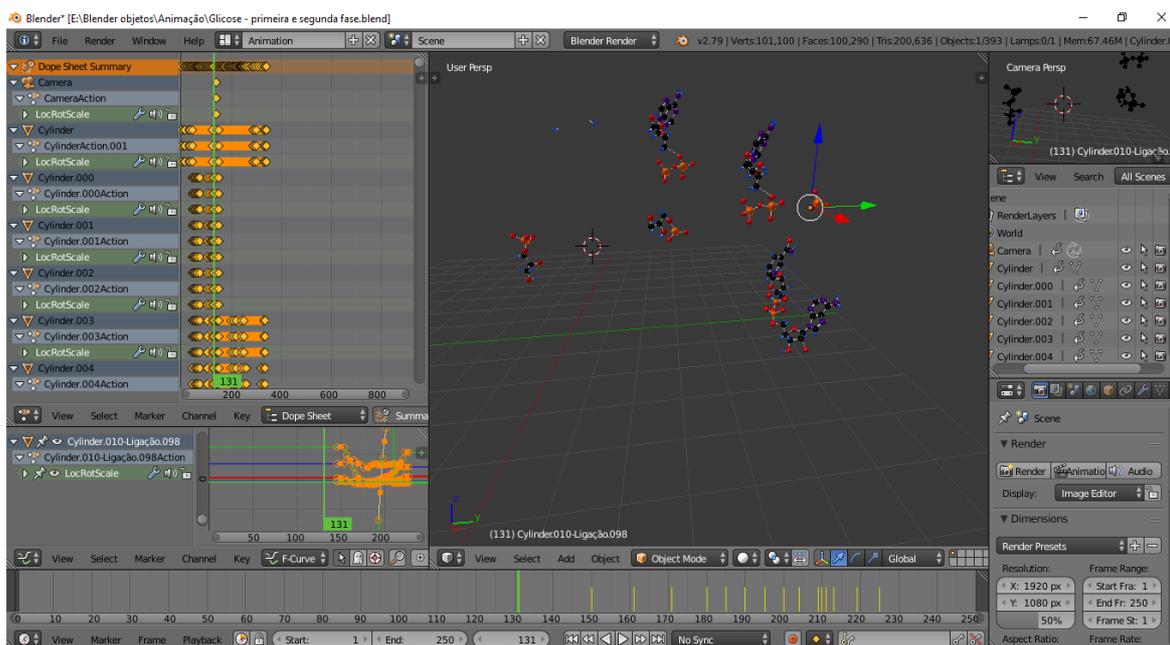
(c)



(d)

Fonte: autora, 2019.

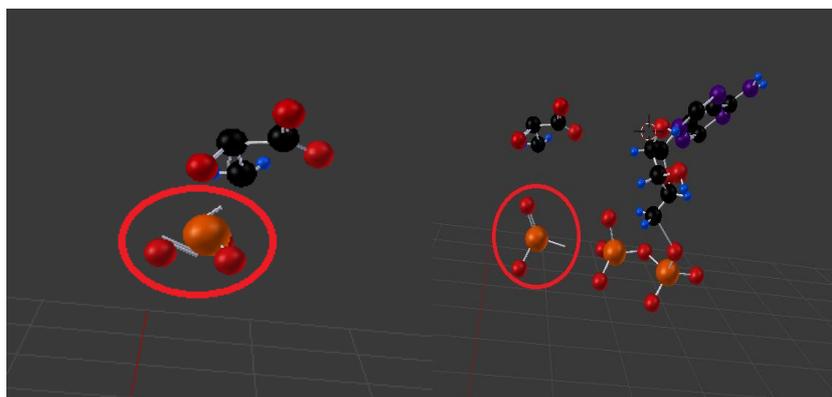
Figura 30 - Interface do Blender para produção de animações



Fonte: autora, 2019.

A animação foi produzida através do manuseio das moléculas, posicionando-as nos locais corretos e adicionando *keyframes*, que são quadros chaves para determinar a linha de tempo que registra o percurso da animação. Durante o fluxo das moléculas, por não estarem agrupadas como um único objeto, as ligações e átomos saem de sua conformação correta e movimentam-se de forma independente, mas, ao final do trajeto, reagrupam-se corretamente. A figura 31 apresenta o processo de movimentação do grupo fosforil da molécula de fosfoenolpiruvato para o ADP, a esquerda da imagem é possível observar a desorganização na estrutura do grupo fosforil durante sua transferência, para em seguida, como apresentado à direita da imagem, sua organização ser reestabelecida ao ligá-lo com outro substrato.

Figura 31 - Mudanças estruturais durante a animação

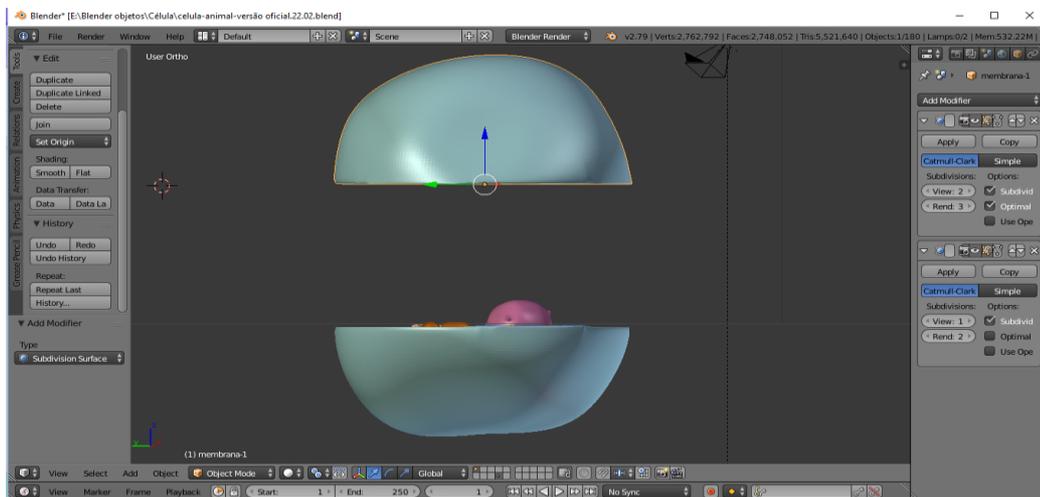


Fonte: autora, 2019.

Finalizada a construção dos compostos, para desenvolver um simulador em ambiente de RV que possibilite a imersão e sensação de ingressar em um ambiente real, considerou-se importante situar o aluno no meio em que a via glicolítica se desenvolve. Para isso, modelou-se uma célula animal e seus orgânicos onde os usuários podem navegar pelo meio, explorar cada estrutura presente e desenvolver a simulação da via glicolítica no citosol da célula.

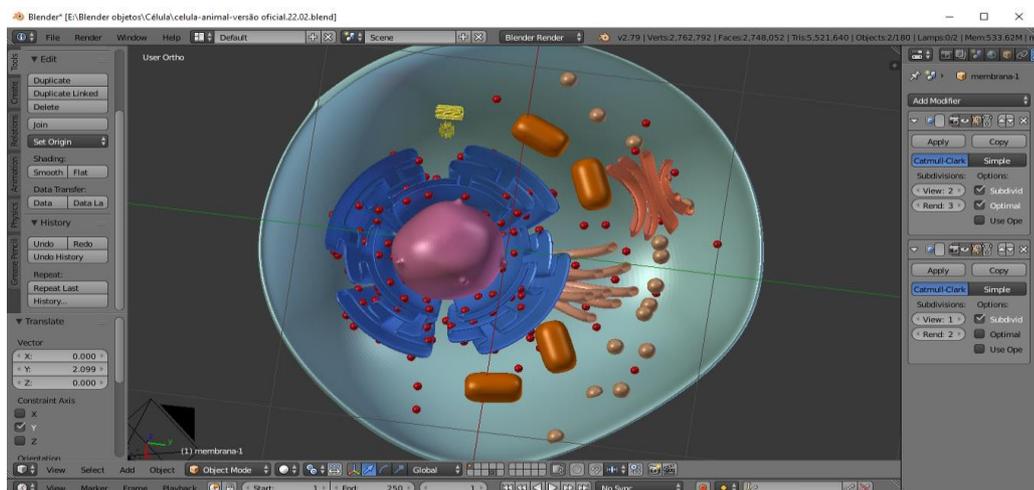
Novamente, para aproximar-se ao máximo da realidade, as organelas celulares foram modeladas tendo como referência as imagens do livro Fisiologia médica (BARRET, et al. 2014). A figura 32 apresenta a visualização externa da célula, assim como a figura 33 demonstra sua organização interna.

Figura 32 - Visualização externa da célula



Fonte: autora, 2019.

Figura 33 - Visualização interna da célula



Fonte: autora, 2019.

Ao fim da modelagem dos compostos e ambiente celular, e tendo esclarecido com a equipe o processo metabólico a ser representado no simulador, caminhou-se para a próxima etapa de construção do produto: a integração da célula e substratos ao ambiente em RV. Este, processo será detalhado na próxima seção.

3.3 INTEGRAÇÃO AO AMBIENTE DE RV

Após a modelagem de todos os substratos glicolíticos em 3D, as moléculas foram importadas para o motor de desenvolvimento de jogos Unity 3D. Como o HTC VIVE Oculus não possui um programa específico para manuseá-lo e criar ambientes em RV, o Unity 3D é utilizado para integrar o VIVE ao ambiente desenvolvido.

Tendo a animação como guia do processo e todos os substratos prontos, iniciou-se o desenvolvimento do simulador. Foram definidos, primeiramente, os comandos a serem estabelecidos aos controles, para movimentação, e interação no meio celular.

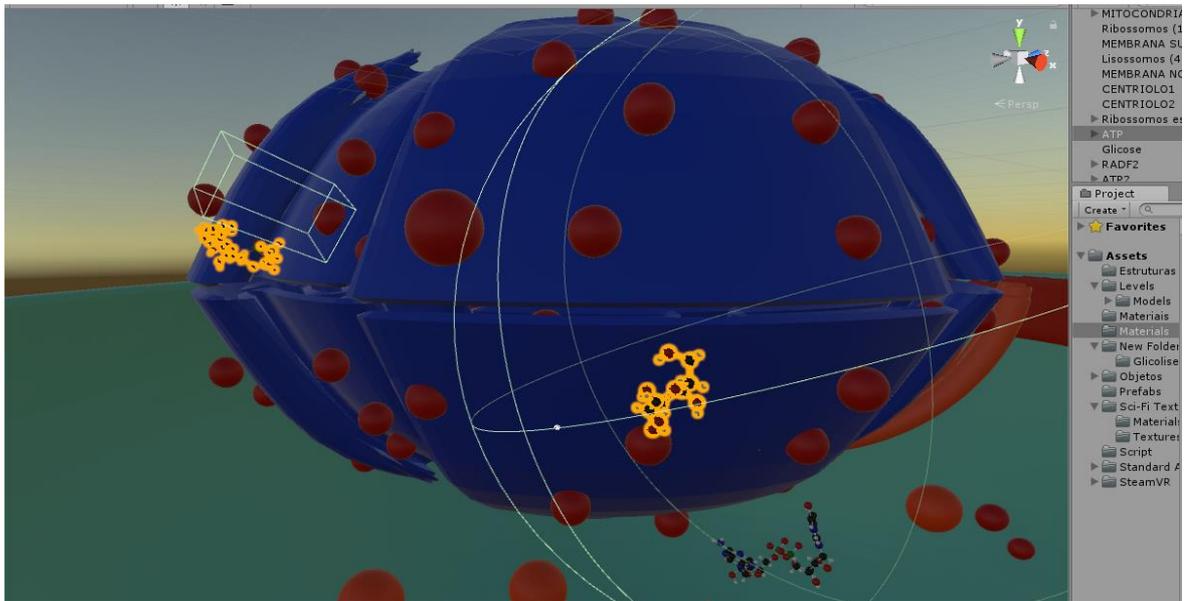
Definiu-se para a primeira versão do simulador que o botão denominado gatilho seria usado para movimentação no espaço e o *touchpad* para selecionar e manipular estruturas, figura 34. Para movimentação, ficou estabelecido que o usuário teria total liberdade para navegar pelo meio celular e explorar suas estruturas. Em seguida, foram estabelecidas a posição de cada molécula no meio celular e programadas as formas como estas iriam interagir entre si. Por fim, estabeleceram-se comandos que permitiram aos usuários participar da simulação do processo glicolítico, sendo possível manipular as moléculas e arrastá-las para colidirem uma com outra, desencadeando a via metabólica. A figura 35 apresenta a integração das moléculas no ambiente de RV.

Figura 34 - Controles do HTC VIVE Oculus



Fonte: (Vive s.d., VIVE™ | Sistema de Realidade Virtual 2018).

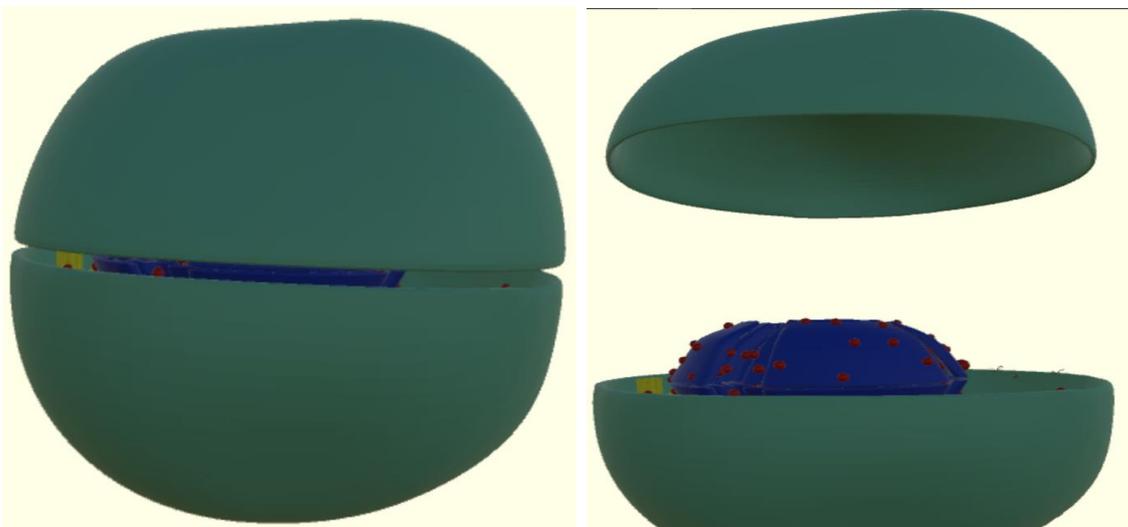
Figura 35 - Integração dos substratos glicolíticos ao Unity 3D



Fonte: autora, 2019.

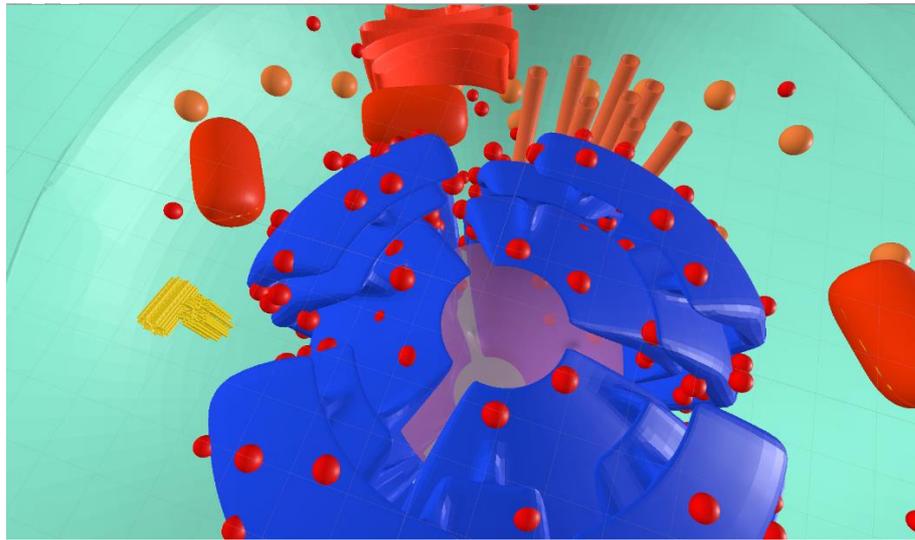
Ao ingressar no meio celular em ambiente de RV, o usuário tem dispersas ao seu redor as organelas citoplasmáticas, tais como: Mitocôndrias, Complexo de Golgi, Núcleo, Retículo Endoplasmático Rugoso, Retículo Endoplasmático Liso, Centríolos, Lisossomos e Ribossomos, além dos substratos da via glicolítica citados anteriormente. Na figura 36 é possível visualizar o exterior da célula modelada, já integrada ao ambiente em RV, já a figura 37 fornece uma visão superior dos componentes celulares modelados.

Figura 36 - Visualização da célula no ambiente de RV



Fonte: autora, 2019

Figura 37 - Visualização superior da célula no ambiente em RV

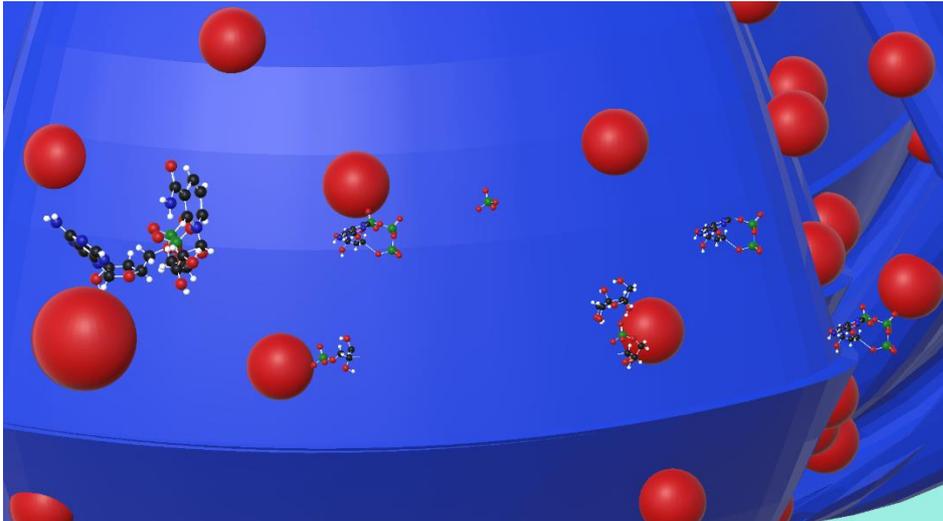


Fonte: autora, 2019.

O discente poderá navegar pelo meio celular, atravessar estruturas, visualizá-las de diferentes ângulos e participar do processo bioquímico da glicólise. Ademais, é possível ao usuário manusear todas as moléculas do processo de glicólise e conduzir as reações entre os substratos.

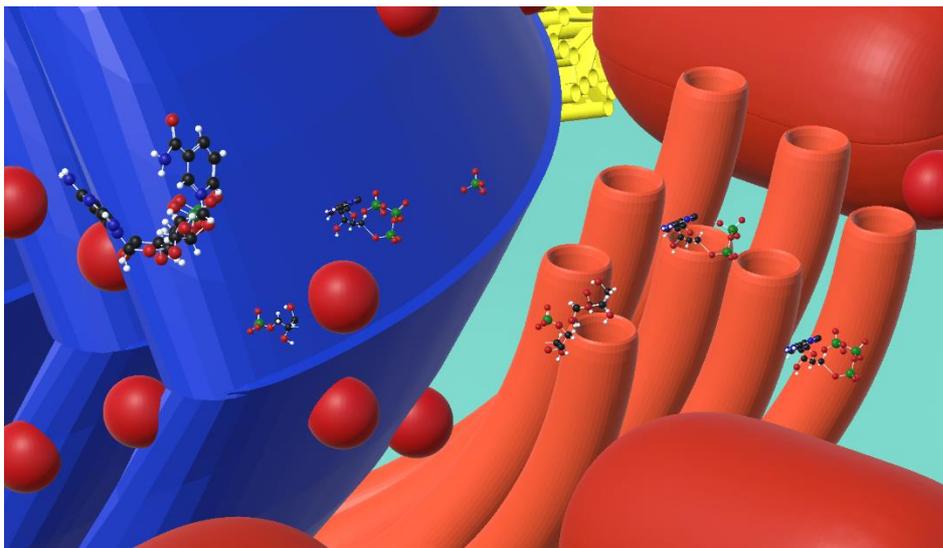
Finalizada a primeira versão do simulador, foi observado que agrupar todas as moléculas da via glicolítica em um único cenário tornava a visualização do processo mais complexa e confusa, figuras 38 e 39, pois a junção de todos os substratos em um único ambiente dificultava a diferenciação destes. Assim, na versão seguinte, as etapas foram separadas em cenas, as quais são iniciadas por quadros que apresentam o processo desenvolvido em cada fase, e explicam como o usuário pode interagir com a molécula, conforme observado nas figuras 40 e 41.

Figura 38 – Via Glicolítica na 1ª versão do simulador em RV



Fonte: autora, 2019.

Figura 39 – Substratos glicolíticos reunidos em um único ambiente



Fonte: autora, 2019.

Figura 40 - Janela de apresentação das etapas



Fonte: autora, 2019.

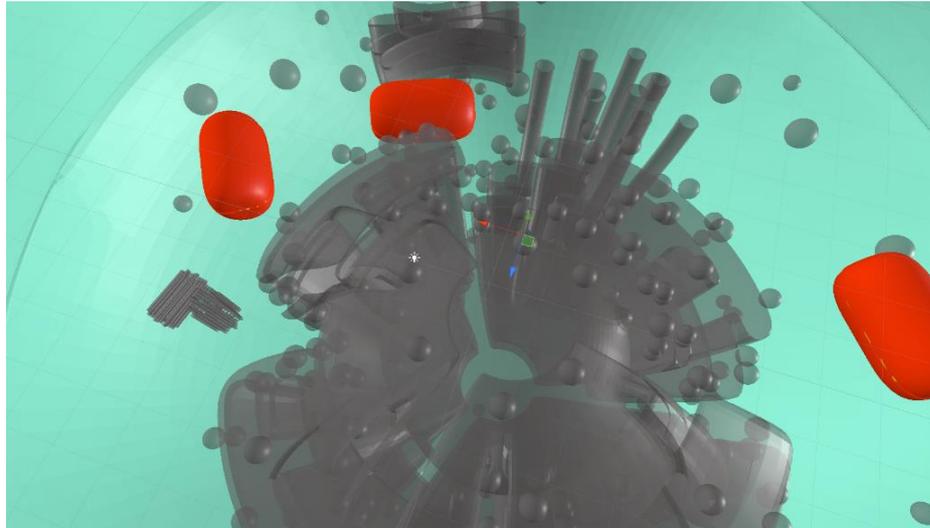
Figura 41 - Apresentação do processo desenvolvido



Fonte: autora, 2019.

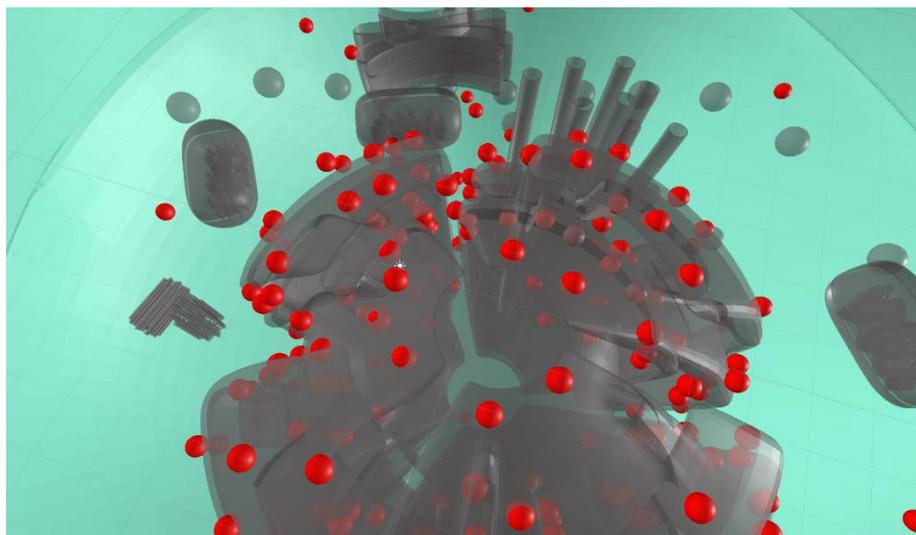
Na segunda versão do simulador, também foram atribuídos comandos para que os estudantes possam destacar uma organela específica, a fim de observá-la mais atentamente. Nas figuras 42 e 43, são apresentados exemplos de como as organelas podem ser observadas no ambiente em RV.

Figura 42 - Visualização das mitocôndrias no ambiente celular em RV



Fonte: autora, 2019.

Figura 43 - Visualização dos Ribossomos no ambiente celular em RV



Fonte: autora, 2019.

3.4 SIMULADOR DA VIA GLICOLÍTICA

A via glicolítica pode ser dividida em 10 fases, e cada uma destas é apresentada em uma cena no simulador. Cada fase conta com uma forma diferente de interação do usuário com o meio glicolítico, assim, são apresentadas a seguir como a via glicolítica se desenvolve no simulador, e de que forma o usuário pode interagir em cada fase.

- 1) Para a primeira reação da glicólise o estudante deve aproximar as moléculas de ATP e glicose, permitindo que estas reajam e um grupo fosforil seja transferido, pela ação da enzima hexocinase, do ATP para a glicose. O resultado do processo é uma molécula de glicose 6-fosfato e um ADP, além da liberação energia;
- 2) Na Fase 2, por animação, a partir do comando do usuário, a glicose 6-fosfato sofre isomerização, catalisada pela enzima fosfoglicose isomerase, reestruturando-se em frutose 6-fosfato. É possível ao usuário visualizar a reação e modificação da molécula;
- 3) Na Fase 3 o usuário é orientado a aproximar uma nova molécula de ATP, a frutose 6-fosfato. Catalisada pela enzima fosfofrutocinase, pode-se observar a fosforilação da frutose-6-fosfato pelo ATP, resultando em um ADP e frutose-1,6-bifosfato;
- 4) A enzima adolase, quando indicado pelo usuário atua na Fase 4, promovendo a cisão da molécula de frutose 1,6-bifosfato em gliceraldeído-3-fosfato e di-hidroxiacetona-fosfato, o processo todo se dá através de animações, e ao usuário é possível acompanhar o processo de quebra e reorganização estruturais das moléculas, originando uma aldose e uma cetose;
- 5) Na fase 5, o usuário possibilita que a enzima triose fosfato isomerase converta di-hidroxiacetona em gliceraldeído-3-fosfato;
- 6) Até a Fase 5 o usuário deve identificar que houve o investimento de duas moléculas de ATP, mas não há produção de energia. O estudante deve identificar que estas fases se configuram como as etapas de preparação da glicose para a produção de energia;
- 7) Na Fase 6 o usuário deve aproximar o gliceraldeído-3-fosfato e o NAD⁺, que sob ação da enzima gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase reagem e um fosfato inorgânico do meio celular liga-se ao gliceraldeído-3-fosfato. Como produtos da reação tem-se a formação de 1,3-bifosfoglicerato e NADH, além da liberação de uma molécula de hidrogênio no meio. Nessa fase o usuário deve perceber que se inicia a etapa de pagamento do processo glicolítico;
- 8) Aproximando o substrato 1,3-bifosfoglicerato de uma molécula de ADP, na Fase 7 os compostos reagem e por intermédio da enzima fosfoglicerato cinase, resultam em 3-fosfoglicerato e ATP. Como o processo acontece com as duas moléculas de 1,3-bifosfoglicerato, no simulador o estudante pode observar a formação de duas moléculas de ATP, e que estas devem pagar o investimento energético inicial na via;

- 9) Na Fase 8 a enzima fosfoglicerato mutase, sob comando do usuário, catalisa a reação do 3-fosfoglicerato que se modifica formando o 2-fosfoglicerato;
- 10) Novamente por animação, o usuário na Fase 9, observa a retirada de uma molécula de água do substrato 2-fosfoglicerado, sob ação da enzima enolase, transforma-se em fosfoenolpiruvato;
- 11) Na Fase final da via glicolítica o usuário atua na formação de mais duas moléculas de ATP a partir de ADP, e duas de piruvato sob ação da enzima piruvato cinase.

A molécula final, o piruvato, dará seguimento ao processo de respiração celular, participando das demais fases dentro da mitocôndria. Após a simulação o usuário pode perceber que se tem como produtos da reação duas moléculas de NADH e duas de ATP como rendimento energético.

3.5 MUSEU GLICOLÍTICO

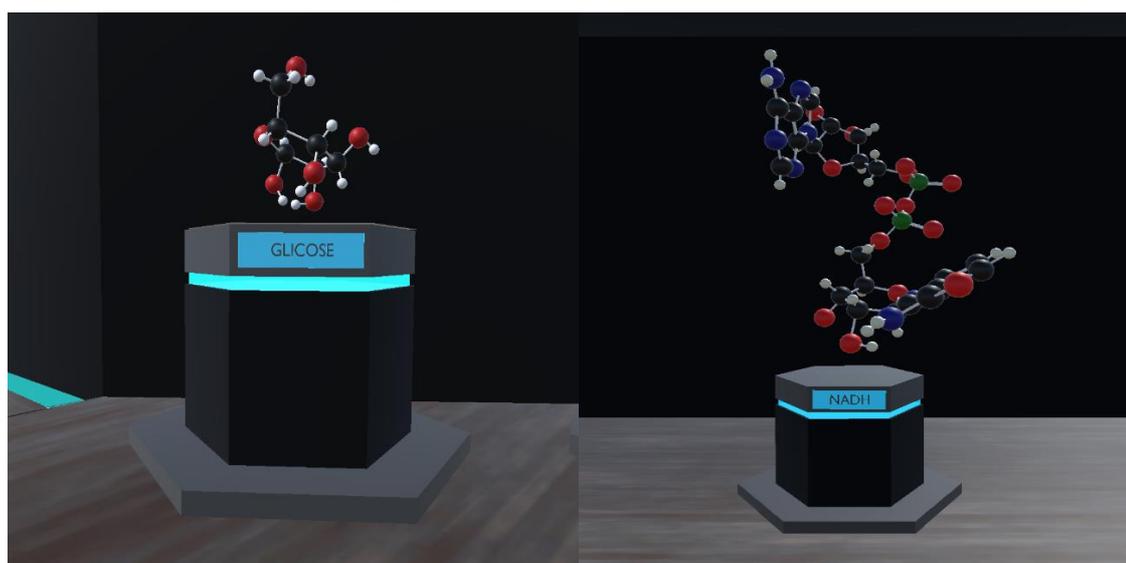
A simulação é dividida em cenas que conduzem a molécula de glicose por sucessivas transformações que resultam em duas moléculas de piruvato. Assim considerou-se importante um ambiente em que o usuário pudesse observar todas as etapas da via glicolítica e mudanças estruturais nas moléculas de glicose, assim como as funções químicas formadas durante o processo glicolítico. Assim, desenvolveu-se o Museu Glicolítico onde cada fase da molécula de glicose até o produto piruvato são apresentadas em pedestais.

A figura 44 apresenta uma visão geral do ambiente de exposição, assim a figura 45 demonstra dois exemplos de como as moléculas estão dispostas no meio, posicionadas em suportes separados. O ambiente também possibilita que o aluno manuseie os compostos no ambiente.

Os alunos podem observar as estruturas moleculares tridimensionais, como também as representações estruturais planas, observadas na figura 46, modelos comumente trabalhados pelos livros didáticos.

Figura 44 - Museu Glicolítico

Fonte: autora, 2019.

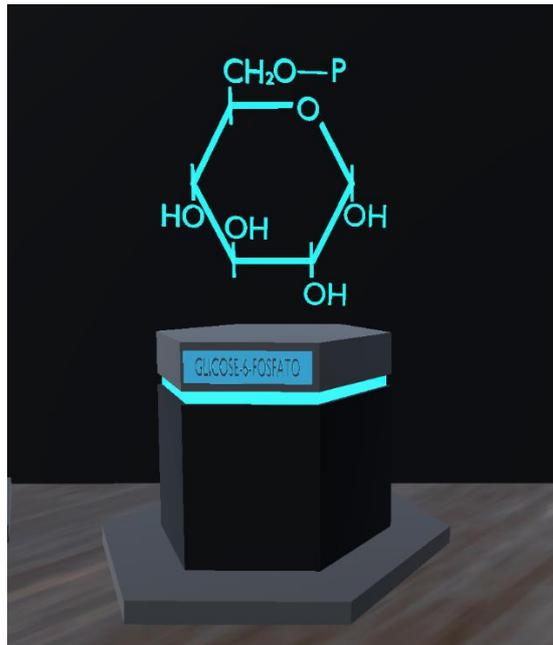
Figura 45 - Glicose e NADH

(a)

(b)

Fonte: autora, 2019.

Figura 46 - Fórmula molecular estrutural plana da Glicose-6-fosfato



Fonte: autora, 2019.

O Museu Glicolítico é o local de início do simulador, onde o usuário tem acesso a um menu em que pode decidir entre explorar a célula, ou simular a via glicolítica. Também é possível ao usuário selecionar uma fase específica da via glicolítica para simular, assim, estes podem realizar mais de vez uma única etapa, caso sintam necessidade, em compreender seu desenvolvimento. As figuras 47 e 48 retratam o menu principal e menu da via glicolítica apresentado aos usuários no ambiente em RV.

Figura 47 - Menu principal do simulador em ambiente de RV



Fonte: autora, 2019.

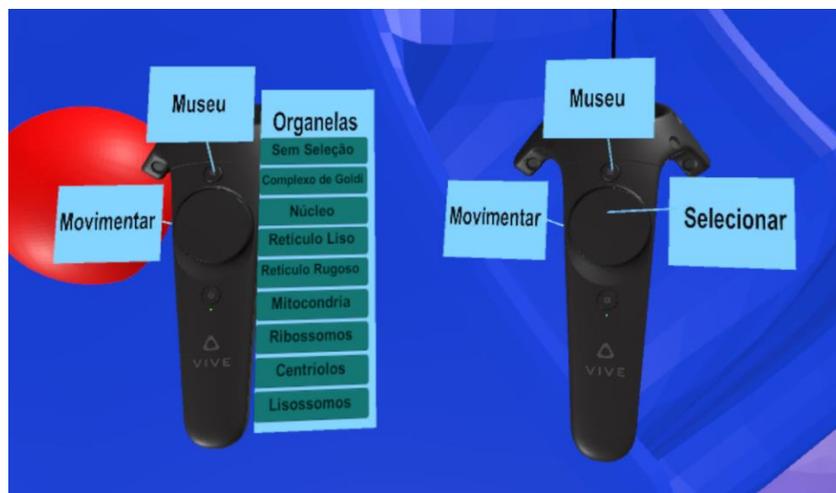
Figura 48 - Menu da Via Glicolítica



Fonte: autora, 2019.

Os controles de movimento são fundamentais para que o usuário se sinta realmente imerso no ambiente em RV e possa interagir com os objetos presentes no meio. Portanto é fundamental que o participante entenda seus comandos e como manuseá-los. Cada um dos ambientes apresentados (célula, via glicolítica ou museu glicolítico) possuem comandos de interação diferenciados, assim em cada cenário foram adicionados aos controles placas de identificação indicando a funcionalidade de cada botão de acordo com o cenário em que está inserido. Nas figuras 49, 50 e 51 são apresentados os diferentes tipos de comandos atribuídos a cada controle.

Figura 49 - Comandos definidos para movimentação e interação com o meio celular



Fonte: autora, 2019.

Figura 50 - Comandos definidos para movimentação e interação no museu glicolítico



Fonte: autora, 2019.

Figura 51 - Comandos definidos para a simulação da via glicolítica



Fonte: autora, 2019.

Após finalizada, a etapa seguinte da pesquisa foi o processo de validação da ferramenta. Dessa forma, no próximo capítulo será descrito o processo de validação do recurso didático e analisada a percepção dos alunos sobre o uso do simulador para trabalhar as temáticas moleculares.

4 VALIDAÇÃO E RESULTADOS

Como metodologia de validação e coleta de dados quanto ao uso da ferramenta optou-se pela escolha de questionários buscando aferir a percepção dos alunos sobre o uso de recursos didáticos tecnológicos no ensino e o efeito do simulador como ferramenta didática das disciplinas Bioquímica e Biologia I, onde as temáticas abordadas pelo simulador são trabalhadas.

Nas próximas seções é descrito o processo de validação da ferramenta com graduandos do curso de Bacharelado em Biotecnologia, UFPA campus Belém - PA e Licenciatura em Ciências Naturais, da UFPA, pelo PARFOR, em Ponta de Pedras - PA e Mãe do Rio - PA. Serão analisados os resultados obtidos por meio da observação do participante durante a validação da ferramenta, e dos questionários, avaliando aspectos como empenho do estudante ao manusear o recurso, contato prévio e afinidade com instrumentos tecnológicos, utilização de tecnologias direcionadas ao ensino, além das percepções dos discentes quanto as funcionalidades do simulador e uso deste como recurso didático.

4.1 QUESTIONÁRIO PRÉVIO

O questionário prévio, Apêndice I, foi estruturado com o objetivo de investigar o contato e familiaridade do público-alvo com as TICs, além de seus conhecimentos quanto ao conteúdo explorado pelo simulador. O instrumento de coleta de dados foi dividido em 4 partes que investigam: o contato dos alunos com as TICs e interesse tecnológico; a utilização de recursos didáticos durante a formação dos estudantes; conhecimentos prévios dos discentes sobre RV; e por fim, a via glicolítica, investigando com os graduandos conceitos básicos trabalhados nessa temática, e principais dificuldades na abordagem dos conteúdos.

Para saber quanto a presença das TICs no cotidiano dos graduandos e as principais atividades desenvolvidas por estes com instrumentos tecnológicos, o questionário inicia sua exploração com as perguntas “Você tem acesso a computadores? Onde?”. Sendo que cada estudante poderia marcar mais de uma alternativa, no que se refere a localidade de acesso aos computadores. As respostas para o questionamento são apresentadas no Quadro 4

Quadro 4 - Acesso a computadores pelos alunos

Perguntas	Respostas	Alunos
Você tem acesso a computadores?	Sim	41
	Não	3
	Branco	1
Onde?	Casa	31
	Universidade	8
	Trabalho	7
	Cybers	7
	Outros	0
	Branco	1

Fonte: autora, 2019.

A maior parte dos discentes possui contato com computadores em suas residências, informação que pode indicar a presença deste instrumento no dia a dia dos alunos, e que estes possam estar abertos a aceitar novas tecnologias.

Para os questionamentos “Você possui acesso à Internet? Onde?”, a maioria dos discentes, 43 alunos, assinalaram ter acesso à Internet, sendo que 31 em suas residências, Quadro 5.

Quadro 5 - Acesso à Internet pelos alunos

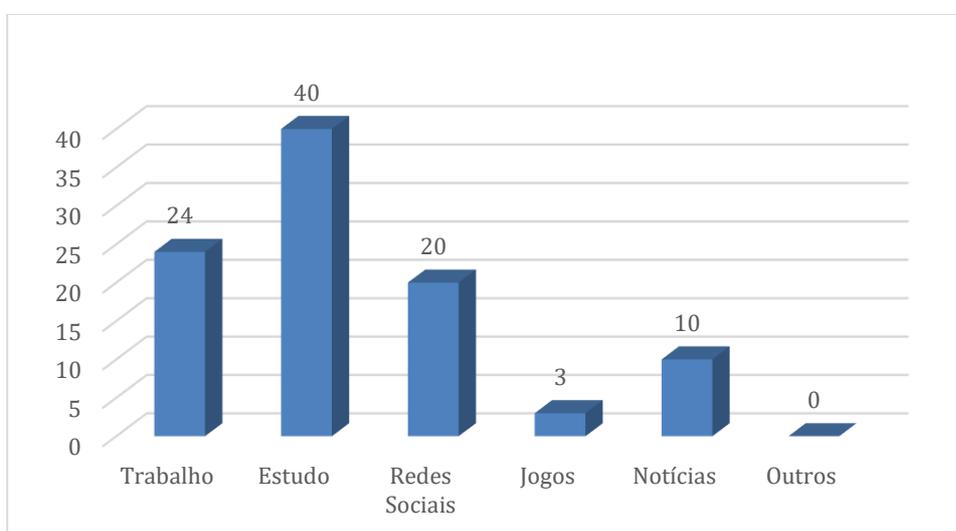
Perguntas	Respostas	Alunos
Você possui acesso à Internet?	Sim	43
	Não	1
	Branco	1
Onde?	Casa	31
	Universidade	12
	Trabalho	11
	Cybers	6
	Outros	5

Fonte: autora, 2019.

Assim como na pergunta anterior, o questionamento buscou investigar a presença das TICs no dia a dia dos estudantes. Os resultados registrados no quadro apresentam a Internet uma das principais fonte de informações e comunicação e como uma ferramenta presente nas vivências da maior parte dos alunos.

Ao serem questionados sobre as principais tarefas desenvolvidas no computador, a atividade mais assinalada foi “estudo” e “trabalho”, Gráfico 1. Os dados nos fornecem indicadores quanto a empregabilidade dessa ferramenta como um instrumento de ensino, direcionado a formação acadêmica dos discentes.

Gráfico 1 - Atividades mais realizadas pelos alunos no computador



Fonte: autora, 2019.

Além dos computadores, os celulares tornaram-se componentes indispensáveis na vida da população. Tais dispositivos, evoluíram para os “telefones inteligentes”, os *smartphones*, e hoje reúnem uma variedade de aplicações, permitindo utilizá-lo para entretenimento, informação, trabalho, estudo, dentre outras atividades (FONSECA 2013). Assim, investigou-se o contato dos estudantes com esta tecnologia, principais atividades desenvolvidas e relação com o processo de ensino-aprendizagem, a fim de identificar se os discentes estão abertos a utilizarem recursos educacionais tecnológicos.

Nas perguntas “Você possui aparelho celular?” e “Para qual (ais) atividade (s) você mais utiliza seu celular?”, aferiu-se sobre a presença destes recursos no dia a dia dos graduandos, assim como suas funcionalidades. Da mesma forma que nas perguntas anteriores, buscou-se verificar a abertura dos alunos para a utilização de recursos tecnológicos direcionados à educação.

Como respostas, apenas um estudante afirmou não possuir celular e as funcionalidades “ligações” e “redes sociais” teve o maior número de indicações, apontadas por 25 e 24 alunos, respectivamente. O Quadro 6 apresenta as respostas para o questionamento e número de alunos que assinalou cada opção.

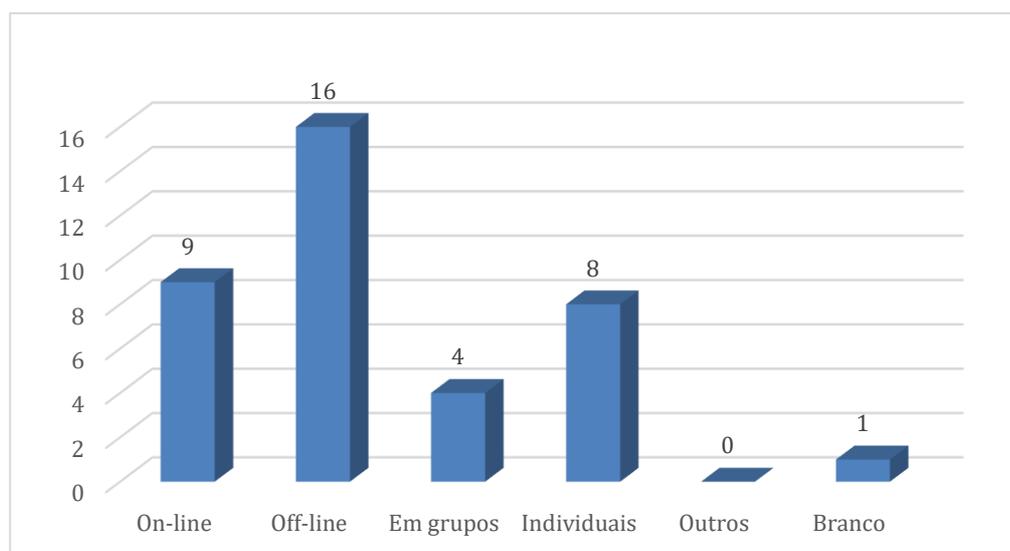
Quadro 6 - Atividades mais desenvolvidas pelos alunos no celular

Perguntas	Respostas	Alunos
Você possui aparelho celular?	Sim	44
	Não	1
Para qual (ais) atividade (s) você mais utiliza seu celular? (Ligações, mensagens, redes sociais, jogos, etc.).	Ligações	35
	Mensagens	23
	Redes Sociais	34
	Jogos	8
	Notícias	11
	Estudo	27
	Outros	0

Fonte: autora, 2019

É possível perceber que um número significativo de alunos já utiliza o instrumento como recurso de estudo, somado ao fato de uma parcela representativa dos grupos pesquisados também utilizar computadores e Internet como ferramenta direcionadas para o estudo. Pode-se aferir sobre a boa aceitação e interesse dos estudantes por associar tecnologias como facilitadoras do processo de ensino-aprendizagem.

Os jogos despertam o lado lúdico, a criatividade, concentração, entre outras características de seus participantes, por isso, é comum associá-los como recursos educacionais, que tem por objetivo a aprendizagem de forma prazerosa e mais fácil. Por estas características também serem contempladas pela RV, investigou-se o empenho dos graduandos por jogos de celulares, de diferentes tipos, no intuito de medir o interesse dos discentes por ferramentas com tais características, o que pode contribuir para melhor aceitação do simulador em RV desenvolvido. Na pergunta “Você possui jogos para celular?”, a maior parte, 24 alunos, indicou que não tem acesso a esses jogos. Dos alunos que tem contato com jogos para celular, questionou-se “Que tipo (s) de jogos?”, as respostas são apresentadas no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Jogos mais utilizados pelos graduandos

Fonte: autora, 2019.

Somado as observações da pesquisadora, os alunos relataram que os jogos *off-line* eram mais simples e práticos de serem utilizados, não necessitando de muitos recursos para sua execução.

Para a pergunta “Você se interessa por lançamentos de novos recursos tecnológicos? Quais?” 39 alunos assinalaram que sim, tem interesse, sendo o recurso que despertou maior interesse dos graduandos foram os aplicativos tecnológicos, indicado por 19 alunos. No Quadro 7 são apresentados os interesses tecnológicos apontados pelos alunos.

Quadro 7 - Interesse tecnológico dos alunos

Perguntas	Respostas	Alunos
Você se interessa por lançamentos de novos recursos tecnológicos?	Sim	39
	Não	6
Quais? (Aplicativos educacionais, programas, computadores, celulares, games, óculos de realidade virtual, etc.).	Organizar atividades	1
	Aulas experimentais	1
	Jogos, dinâmicas	4
	Pesquisas	1
	APP Educacionais	19
	Celulares	13
	Computadores	8

	Branco	6
--	--------	---

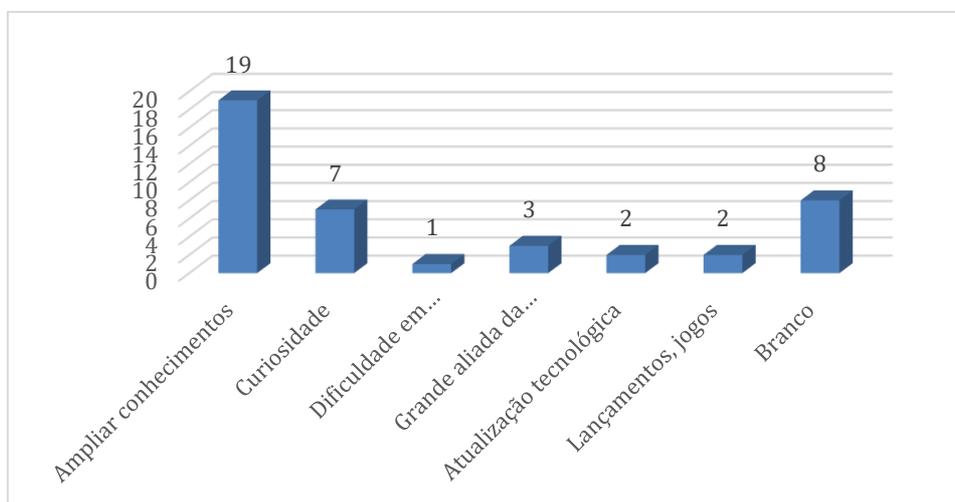
Fonte: autora, 2019.

Como apresentado no Quadro 7, há um maior interesse dos estudantes por tecnologias associadas a educação. Os dados podem ser indícios de tais recursos como facilitadores do processo de ensino-aprendizado, considerando as tecnologias como ferramentas diferenciadas e poderosas, que se tornaram de fácil acesso, e inovam nas metodologias de ensino (PEREIRA e COELHO 2017).

Nos questionamentos “Você participa ou gostaria de participar de feiras tecnológicas? Por quê?” 38 alunos participam ou gostariam de participar desse tipo de evento, 16 assinalaram que não participam ou não gostariam de participar e 1 pessoa não respondeu.

No Gráfico 3 são apresentadas as justificativas fornecidas pelos graduandos sobre qual aspecto mais desperta seu interesse por eventos tecnológicos. A justificativa mais indicada pelos discentes, 19 alunos, aponta que estes buscam ampliar seus conhecimentos sobre o assunto sobre conteúdos tecnológicos.

Gráfico 3 - Motivação dos estudantes por explorar recursos tecnológicos



Fonte: autora, 2019.

De acordo com o gráfico, o interesse dos alunos por “ampliar seus conhecimentos”, seguido da “curiosidade” são as principais características responsáveis por impulsionar os estudantes a participar de eventos tecnológicos. Sendo a RV uma tecnologia que ganhou força nos últimos anos, principalmente após o lançamento dos *headsets* de RV, mais simples, menores, e de fácil utilização, a presença de novos recursos e *softwares* direcionados nessa área

tem crescido, e pode despertar o interesse dos alunos para manusear, e utilizar o recurso que será apresentado a eles.

Visto que a ferramenta apresentada aos alunos é inovadora, com comandos e objetivos específicos, é necessário que estes adaptem-se e sintam-se motivados por manuseá-la, explorar o meio e suas funcionalidades. Dessa forma, é importante questionar os graduandos sobre o interesse que estes possuem em utilizar, e interagir com ferramentas tecnológicas, fator que pode interferir na receptividade do simulador em RV. Assim, por meio da pergunta “Ao entrar em contato com uma nova tecnologia, você tem curiosidade quanto as funcionalidades do recurso, vontade de manuseá-lo?” obteve-se que a maior parte do grupo, 42 alunos, tem curiosidade e interesse em manusear novas tecnologias, Quadro 8.

Quadro 8 – Curiosidade em manusear novas tecnologias

Pergunta	Respostas	Alunos
Ao entrar em contato com uma nova tecnologia, você tem curiosidade quanto as funcionalidades do recurso, vontade de manuseá-lo?	Sim	42
	Não	1
	Branco	2

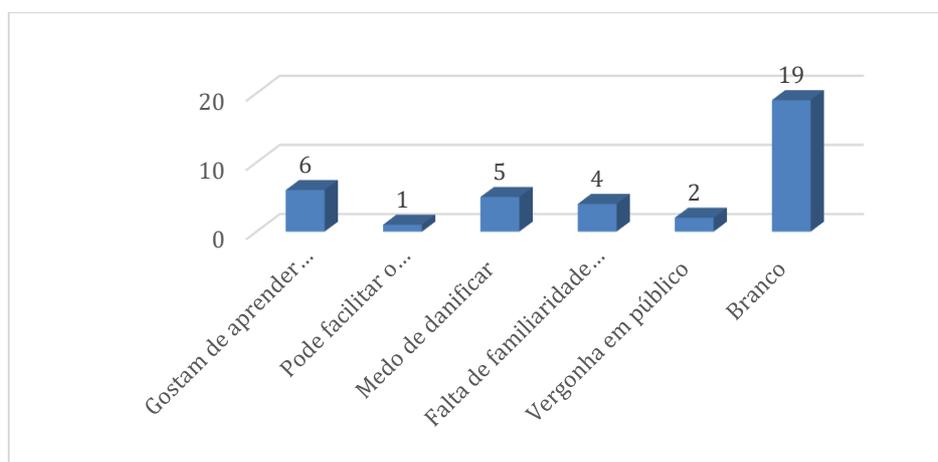
Fonte: autora, 2019

Ainda buscando investigar quando a receptividade do grupo por tecnologias, questionou-se “Você tem receio de manusear novas tecnologias? Por quê?”, e apesar do elevado número de estudantes indicar na pergunta anterior que possui curiosidade e vontade de manusear novas tecnologias, 19 alunos assinalaram possuir receio de trabalhar com estas ferramentas, 23 indicaram não possuir receio de manejar novos recursos, 3 pessoas não responderam, Quadro 9. Entre as justificativas apresentadas pelos alunos, destaca-se o “medo de danificar” os instrumentos, Gráfico 4.

Quadro 9 – Alunos que possuem receio de manusear novas tecnologias

Pergunta	Respostas	Alunos
Você tem receio de manusear novas tecnologias?	Sim	19
	Não	23
	Branco	3

Fonte: autora, 2019.

Gráfico 4 – Justificativas dos alunos que possuem receio em manusear novas tecnologias

Fonte: autora, 2019.

Após explorar com os grupos pesquisados o contato que estes possuem com ferramentas tecnológicas, como as TICs estão presentes no cotidiano dos graduandos e principais atividades desenvolvidas por eles, a segunda seção do questionário investiga sobre a utilização de recursos didáticos pelos graduandos.

Na pergunta “O uso de recursos didáticos em sala de aula pode facilitar o processo de ensino aprendizagem?” os resultados obtidos indicam que 44 alunos acreditam que o uso de recursos didáticos pode facilitar o processo de aprendizagem, e uma pessoa indicou não saber responder à questão.

Os recursos didáticos podem ser de vários tipos, dentre eles, encontram-se as TICs cada vez mais frequentes no processo de ensino. Considerando a ferramenta desenvolvida como uma tecnologia voltada para o ensino, é importante saber a percepção dos alunos sobre o uso desta. Assim, na busca por saber a importância, para os alunos, destas tecnologias como recursos de ensino, foi elaborado o questionamento “A utilização de Tecnologias da informação e comunicação – TICs, como recurso didático pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem?”. As respostas são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Percepção dos alunos sobre o uso de recursos didáticos

Pergunta	Respostas	Alunos
A utilização de Tecnologias da informação e comunicação – TICs, como	Sim	33
	Não	0
	Não sei responder	9

recurso didático pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem?	Branco	3
--	--------	---

Fonte: autora, 2019.

Da mesma forma que os questionamentos anteriormente apresentados, no Quadro 9 é possível perceber a abertura dos estudantes para adoção de instrumentos tecnológicos como recursos de ensino, considerando que a maior parte do grupo investigado, 33 alunos, assinalaram que sim, as TICs podem auxiliar no processo de ensino aprendizagem.

No ensino de Biologia os alunos tem contato com processos, estruturas difíceis de serem visualizados e compreendidos, assim, o uso de instrumentos que permitam a visualização, simulação e experiências, tem muito a favorecer para o ensino-aprendizagem dos estudantes (BÔAS, NASCIMENTO Jr e MOREIRA 2018). Sendo a ferramenta desenvolvida como um recurso que objetiva possibilitar aos alunos explorar mais detalhadamente a via metabólica, glicólise, assim como uma visão mais ampla de todo o processo, e os cursos selecionados para validação da ferramenta, Biotecnologia, e Ciências Naturais, tornou-se pertinente averiguar a presença de recursos didáticos na abordagem dos processos biológicos.

Como respostas para o questionamento “Recursos didáticos audiovisuais podem facilitar a compreensão de conceitos e processos biológicos? Como?” é possível presumir que na visão dos graduandos o uso de ferramentas audiovisuais pode favorecer a compreensão de conceitos biológicos. As respostas para a pergunta são apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Uso de recursos didáticos audiovisuais para o ensino de biologia

Pergunta	Respostas	Alunos
Recursos didáticos audiovisuais podem facilitar a compreensão de conceitos e processos biológicos?	Sim	35
	Não	0
	Não sei responder	9
	Branco	1
Como?	Entender melhor o conteúdo	6
	Facilitar a aprendizagem	9
	Compreender na prática os processos estudados	3

	Maior interação com os alunos	1
	Ensino-aprendizagem mais atrativo	1
	Branco	16

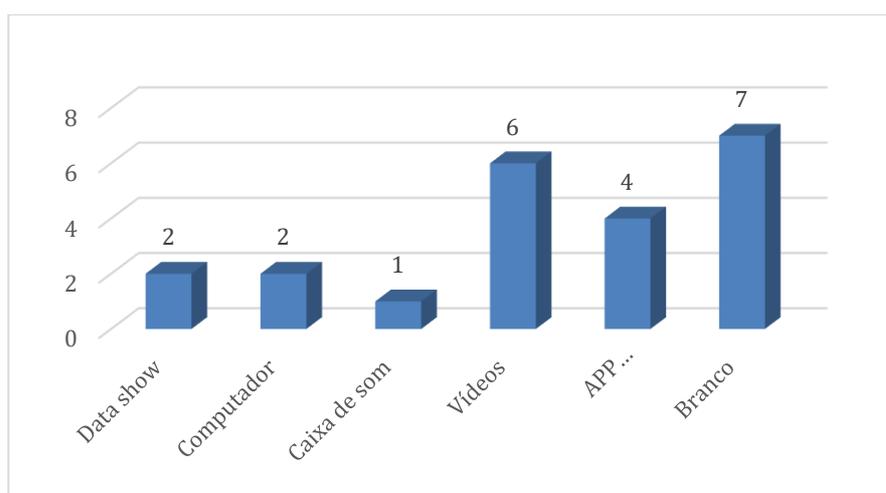
Fonte: autora, 2019.

Na pergunta “Você já teve contato com recursos tecnológicos de ensino (Educação básica ou cursos externos)?” 24 estudantes assinalaram não ter contato com tais recursos, seguidos de 19 alunos, que afirmaram ter contato com ferramentas tecnológicas de ensino, e 2 pessoas não responderam.

Um aspecto a ser questionado através dos resultados obtidos na questão anterior é a percepção dos alunos sobre recursos tecnológicos, que abrangem todos os recursos, produtos, processos, ferramentas provenientes do raciocínio e inquietações humanas por busca de inovações (KENSKI 2007). Dessa forma, todos os instrumentos desenvolvidos pela sociedade para auxiliar em suas atividades, são tecnologias, visto que foram criadas a partir da inquietação e raciocínio humano.

Os recursos nomeados pelos alunos, como mais utilizados durante sua formação são apresentados no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Recursos tecnológicos aplicados ao ensino

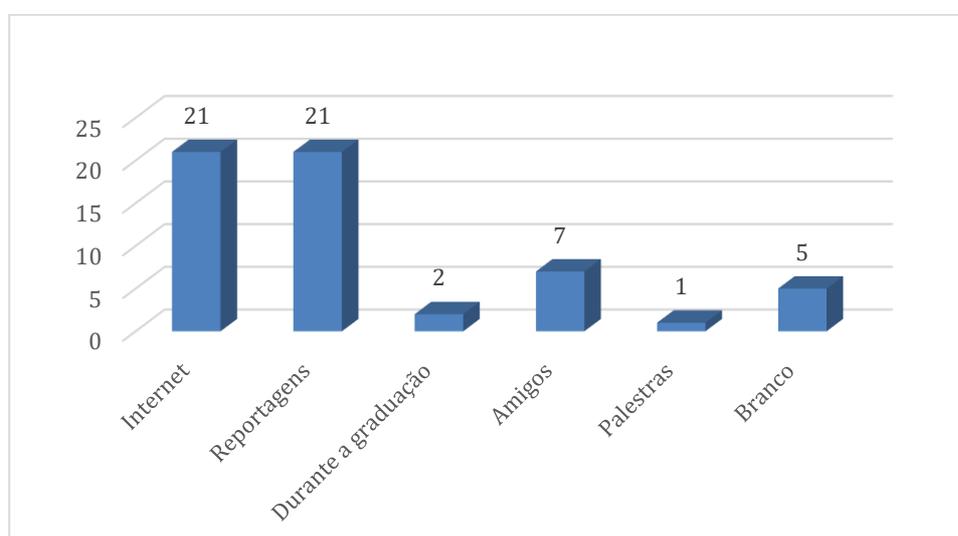


Fonte: autora, 2019.

Dos alunos que relataram ter contato com recursos tecnológicos de ensino durante sua formação, 7 não especificaram quais instrumentos foram utilizados. O recurso mais indicado foi o vídeo, apontado por 6 alunos, seguido de aplicativos educacionais, com 4 alunos.

Na pergunta “Já ouviu falar sobre recursos didáticos tecnológicos na educação? Onde?” dos 45 graduandos participantes da pesquisa, 38 assinalaram sim. O principal meio de informação sobre recursos tecnológicos direcionados a educação é, de acordo com os alunos, a Internet, e reportagens, ambos indicados por 21 estudantes, Gráfico 6.

Gráfico 6 - Contato dos estudantes com recursos tecnológicos na educação



Fonte: autora, 2019.

Estando as tecnologias diretamente ligadas ao repasse de informação, a presença das TICs como recursos no ensino são indispensáveis no desenvolvimento de estratégias de ensino diferenciadas, com foco na aprendizagem dos estudantes. É importante que os discentes tenham contato e se familiarizem com estas tecnologias, estando abertos a explorá-las e empregá-la em sua formação (KOHN e MORAES 2007).

Após investigar os estudantes sobre seus conhecimentos e contato com tecnologias, além da utilização de recursos educacionais tecnológicos como ferramentas de ensino, a terceira seção dos questionários é direcionada para a RV. Na pergunta “Você já ouviu falar em Realidade Virtual (RV)? Onde?”, é possível perceber que a maior parte dos estudantes já conhecem essa tecnologia e tiveram contato com esta principalmente por meio da Internet, Quadro 12. Neste questionamento o estudante possui liberdade para indicar mais de um meio de informação através do qual teve contato com a RV.

Quadro 12 - Contato dos estudantes com RV

Pergunta	Respostas	Alunos
Você já ouviu falar em Realidade Virtual (RV)?	Sim	33
	Não	12
Onde?	Escola	2
	Reportagens	11
	Internet	14
	Amigos	3
	TV	9
	Jogos 3D	2
	Palestras	1
	Branco	2

Fonte: autora, 2019

Os dados podem ser indicadores de que os alunos têm acesso a notícias a respeito desta tecnologia, porém não está presente no dia a dia dos alunos, não tendo estes familiaridade com a ferramenta.

Quando questionados sobre a utilização de recursos em RV, por meio da pergunta “Você já vivenciou uma experiência em RV? Se sim, você diria que essa experiência foi positiva, negativa ou mediana?” a maior parte do grupo nunca teve contato com essa tecnologia. Como indicado no Quadro 13

Quadro 13 - Contato dos alunos com experiências em RV

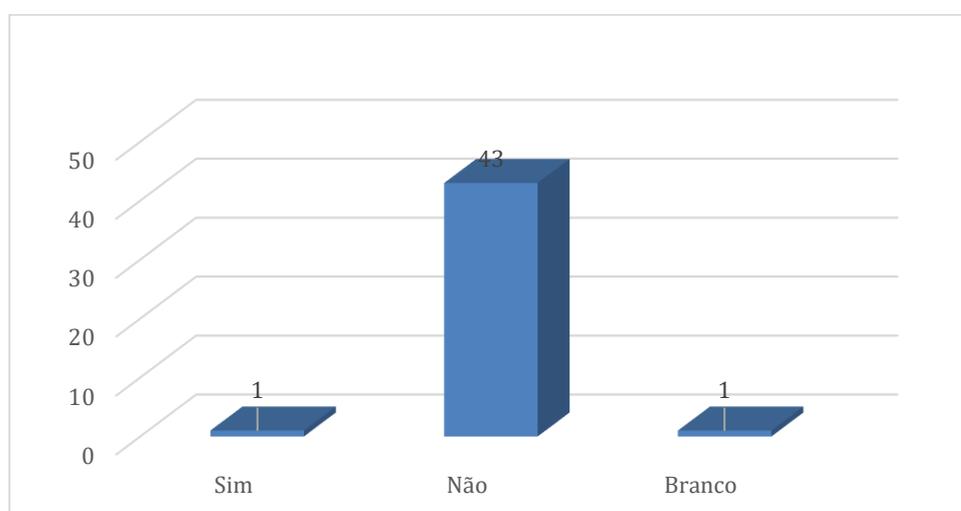
Perguntas	Respostas	Alunos
Você já vivenciou uma experiência em RV?	Sim	5
	Não	40
Se sim, você diria que essa experiência foi positiva, negativa ou mediana?	Positiva	3
	Negativa	0
	Mediana	1
	Branco	1

Fonte: autora, 2019

Considerando os aspectos da RV, que proporcionam imersão e interação com o meio, os dados possibilitam visualizar o recurso desenvolvido como uma ferramenta inovadora, com potencial para atrair o interesse dos alunos e facilitar o processo de ensino-aprendizado, aproximando o aluno e os conceitos trabalhados.

Ao questioná-los sobre o uso da RV no ensino na pergunta “Você já participou de alguma atividade de ensino em que a RV foi aplicada?” as respostas ratificam a pergunta anterior, pois 43 alunos nunca tiveram contato com esse recurso, Gráfico 7.

Gráfico 7 – Uso de ferramentas em RV durante a formação dos estudantes



Fonte: autora, 2019.

O conteúdo explorado no simulador, a via glicolítica, é trabalhado na disciplina Bioquímica, para os alunos de Biotecnologia, e Biologia I, para as turmas de Ciências Naturais. Nestas áreas de estudo, são trabalhados os processos celulares de metabolismo energético para obtenção de energia. Assim, estruturas, nomenclaturas e reações são exploradas nestas disciplinas, e são de difícil compreensão para os alunos, restringindo estes a imaginação, para entendimento do conteúdo.

Dessa forma, para verificar a percepção dos alunos sobre o uso de RV como ferramenta didática, questionou-se “Você acredita que a aplicação desse recurso na disciplina Bioquímica pode favorecer o processo de ensino-aprendizagem? Como?”. Sendo a pergunta apresentada subjetiva, para aferir a opinião dos estudando sobre a aplicabilidade do recurso no processo de ensino-aprendizagem, as respostas foram analisadas seguindo a abordagem qualitativa, através do método de análise de conteúdo (BARDIN 1997). As respostas fornecidas pelos estudantes são agrupadas nas categorias apresentadas no Quadro 14.

Quadro 14 - RV como recurso para o ensino de bioquímica

Perguntas	Respostas	Alunos
Você acredita que a aplicação desse recurso na disciplina Bioquímica pode favorecer o processo de ensino-aprendizagem?	Sim	31
	Não	1
	Não sei responder	10
	Branco	2
Como?	Aproxima os alunos do conteúdo	4
	Facilita o entendimento	11
	Aprendizado agradável	2
	Valoriza o processo de ensino	3
	Foge das aulas tradicionais	5
	Branco	10

Fonte: autora, 2019.

Mais da metade dos alunos considera a RV como um bom instrumento auxiliar para a disciplina. Esse ponto de vista dos alunos pode contribuir para a boa aceitação da ferramenta desenvolvida.

A principal vantagem, no ponto de vista dos estudantes, é que a ferramenta pode facilitar no entendimento do conteúdo, resposta apresentada por 11 alunos. O tamanho das mídias, e tipos de interação que estas permitem dos estudantes com o conteúdo influenciam de maneira direta no processo de despertar o interesse e motivar os usuários para utilizar um recurso (TORI 2010). Dessa forma, um recurso que possibilite aos estudantes contato direto com o conteúdo, possibilitando um contato a nível molecular, pode facilitar a compreensão dos processos celulares.

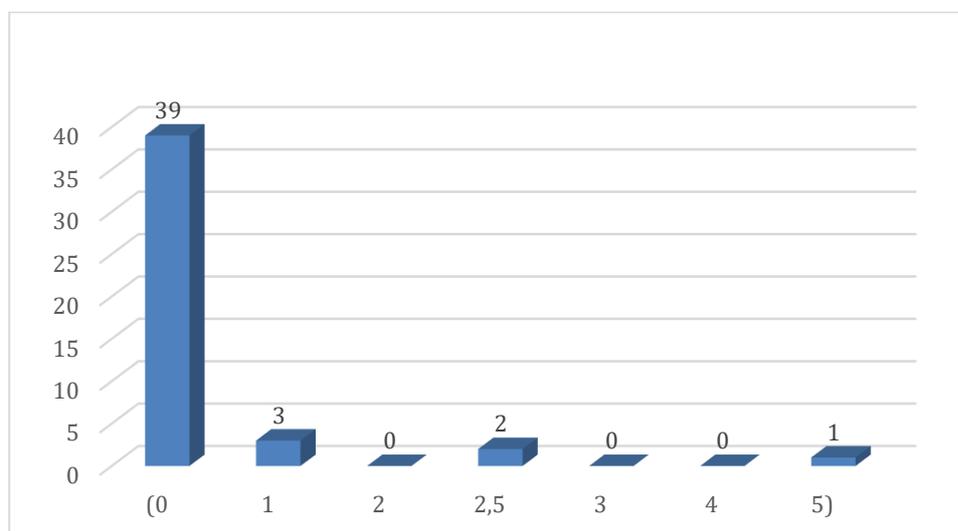
A quarta e última seção do questionário investiga os conhecimentos dos estudantes sobre o conteúdo abordado nas disciplinas, mais especificamente, a via glicolítica, que é

trabalhada no simulador em RV. Busca-se através das perguntas finais a influência da ferramenta para compreensão dos conteúdos.

Nas três perguntas finais, “Quais as funções desempenhadas pelas enzimas durante a via glicolítica?”, “Ao final do processo glicolítico qual o rendimento energético do processo?” e “Qual a função do NAD^+ na via glicolítica?” investiga-se alguns conceitos importantes trabalhados na via glicolítica, e como dados, a maior parte dos alunos não conseguiram responder as questões. As perguntas foram corrigidas e pontuadas com notas de 0 a 5.

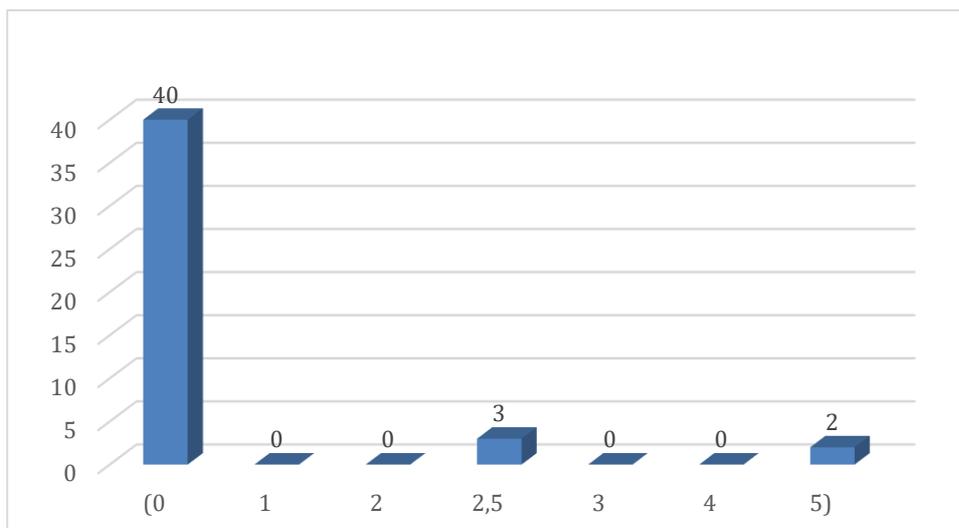
Quando questionados sobre as funções das enzimas na via glicolítica, 39 alunos obtiveram notas 0, três alunos notas 1, dois alunos notas 2,5 e apenas um aluno notas 5, as pontuações dos estudantes são apresentadas no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Respostas dos alunos sobre a atuação das enzimas na via glicolítica



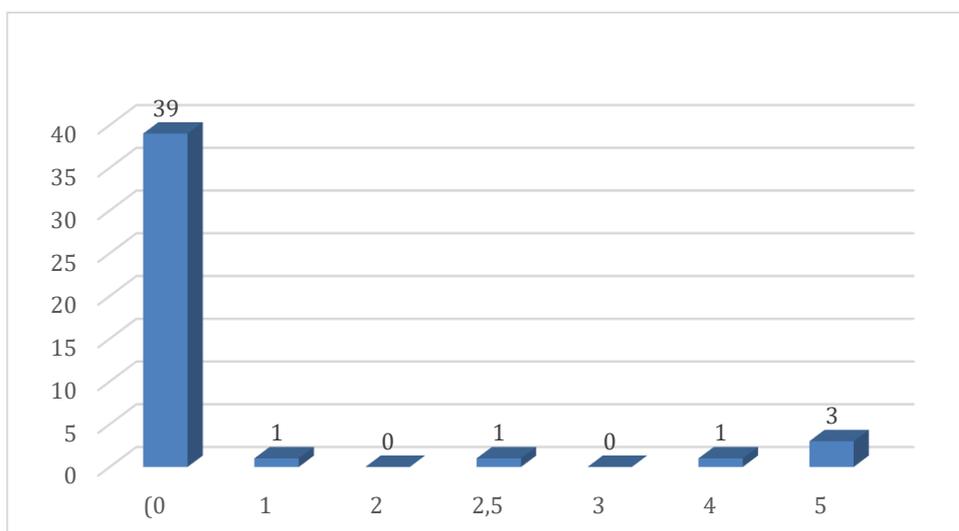
Fonte: autora, 2019.

Na pergunta sobre o rendimento energético do processo, 40 alunos obtiveram nota 0, 3 alunos notas 2,5 e 2 alunos notas 5, como demonstrado no Gráfico 9.

Gráfico 9 - Respostas dos alunos sobre o rendimento energético do processo glicolítico

Fonte: autora, 2019.

Já na questão que abordou a função do NAD⁺ para o processo, 39 alunos não conseguiram responder à pergunta, obtendo assim, média 0, 3 alunos responderam parcialmente, recebendo notas 1, 2,5 e 4, e três estudantes conseguiram responder corretamente, tendo notas 5, os resultados são apresentados no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Respostas sobre a função do NAD⁺ na via glicolítica

Fonte: autora, 2019.

Por meio de conversas com os graduandos e da observação, foi possível concluir que a maior parte dos alunos, principalmente dos cursos de Ciências Naturais, não se lembrava do

conteúdo. Muitos estudantes afirmaram que os assuntos eram muito complexos, e tinham pouco tempo para aprender tudo.

Ademais, os estudantes de Biotecnologia participaram da validação do produto logo após terem trabalhado a temática metabolismo energético, onde é explorada a via glicolítica na disciplina Bioquímica, diferentemente dos alunos de Ciências Naturais, que se encontram no término da graduação, e tiveram o processo da respiração celular lecionado no início de sua formação. Assim, estes últimos relataram com maior frequência, não recordar a via glicolítica.

Pode-se concluir a necessidade de uma abordagem de ensino que proporcione aos estudantes saírem da memorização do conteúdo, e compreendam de forma significativa o assunto. Buscou-se na RV uma ferramenta de apoio para instigar os estudantes a participarem da construção de seus conceitos e facilitar o entendimento dos processos celulares.

Ainda utilizando a abordagem de (BARDIN 1997), para análise da pergunta “O que você entende por Realidade Virtual?”, as principais respostas apresentadas pelos alunos foram divididas em “Ambiente ficcional”, “Simulações da realidade que possibilitam imersão”, “Projeção de um espaço real, no meio virtual”, “Realidade/espaço, criada por computadores”, “Não sei responder” e “Branco”. O Quadro 15 apresenta as respostas dos alunos.

Quadro 15 - Percepção dos alunos sobre RV

Pergunta	Respostas	Alunos
O que você entende por Realidade Virtual?	Ambiente fictício	2
	Simulações em realidade que possibilitam imersão	8
	Projeção de um espaço real, no meio virtual	5
	Realidade (espaço) criada por computadores	6
	Não sei responder	6
	Branco	19

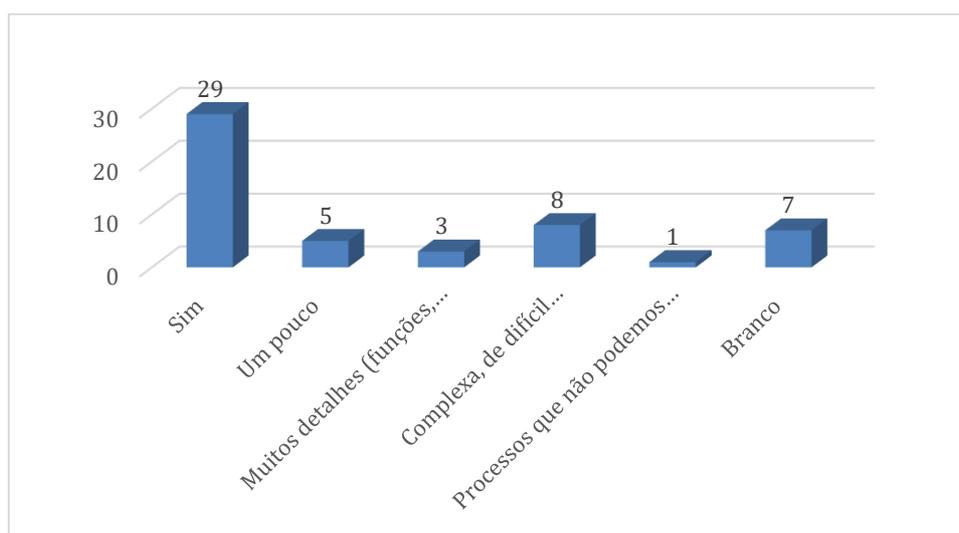
Fonte: autora, 2019.

É possível perceber que muitos alunos nunca tiveram contato, nem ouviram falar dessa tecnologia. Somado as respostas anteriores, e aporte teórico sobre a importância do uso de recursos didáticos diferenciados e tecnologias na educação, o fato da RV ser pouco conhecida

e explorada pelos alunos pode agregar positivamente na aceitação desta pelas turmas, visto que tem potencial de despertar o interesse e apresentar a via glicolítica através de uma abordagem diferenciada que envolva os estudantes durante no processo de ensino-aprendizagem.

Foram elaboradas perguntas subjetivas para o questionário, com objetivo de investigar a percepção dos alunos sobre suas principais dificuldades com os conteúdos bioquímicos e abstração dos temas relacionados a Biologia celular e molecular. No questionamento “Você considera os conteúdos de Bioquímica abstratos e de difícil entendimento?”, a maior parte dos usuários, 29 alunos, respondeu de forma direta que sim, considera essa disciplina difícil. As demais respostas se dividiram entre as dificuldades enfrentadas nessa disciplina, como uma disciplina com “Muitos detalhes”, “Complexa e de difícil entendimento”, “Processos que não podemos ver” e “Branco”. O Gráfico 11 ilustra o número de alunos que respondeu de acordo com cada categoria.

Gráfico 11 – Dificuldades dos alunos com os conteúdos bioquímicos



Fonte: autora, 2019.

As respostas apresentam como principal dificuldade enfrentada pelos alunos, na abordagem dos temas bioquímicos, a compreensão dos processos, visto que se desenvolvem a nível molecular, o que torna difícil sua visualização. Algumas falas que destacam a complexidade da disciplina, do ponto de vista dos estudantes, são:

Aluno 1: Sim, pois se trata de algo que não se pode ver.

Aluno 2: Sim, são várias funções, de vários compostos que confundem muito os alunos.

Aluno 3: São bastante complexos, e precisam de bastante repetição para lembrar e fixar.

A última pergunta subjetiva foi “Qual sua maior dificuldade durante a disciplina Bioquímica?”. Nessa questão as respostas dos alunos puderam ser classificadas em mais de uma categoria, resultando assim, em uma variedade de soluções, apresentadas no Quadro 16.

Quadro 16 - Principais dificuldades na disciplina Bioquímica

Pergunta	Respostas	Alunos
Qual sua maior dificuldade durante a disciplina Bioquímica?	Diferenciar os processos	2
	Tempo insuficiente	3
	Entender os processos	11
	Imaginar os processos	2
	Pouca didática	1
	Muito conteúdo	9
	Muitos detalhes	3
	Entender a função de cada composto	2
	Falta de atividades práticas e outros métodos para facilitar o entendimento	2
	Nomenclaturas dos compostos e estruturas estudados	1
	Branco	13

Fonte: autora, 2019.

Como respostas para o questionamento acima, obteve-se que as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos são, “Entender e imaginar os processos” e “Muito conteúdo”. Assim como na pergunta anterior, as principais dificuldades apresentadas pelos discentes estão

relacionadas a quantidade e complexidade dos conteúdos, além da escassez de recursos ou métodos que possam contribuir para facilitar o entendimento dos destes. São apresentadas a seguir algumas repostas fornecidas pelos estudantes.

Aluno 1: Imaginar o processo acontecendo.

Aluno 2: Muito conteúdo na disciplina, muitas vias e reações.

Aluno 3: Diferenciar onde está ocorrendo as fosforilações, isomerias etc. E também ao final de um ciclo, saber pra que e por quê foi feito tudo.

Após responderem aos questionamentos prévios, deu-se início ao processo de experimentação do simulador, o qual será descrito na próxima seção.

4.2 EXPERIMENTAÇÃO

O processo de validação do simulador foi realizado em quatro seções, duas na turma de Biotecnologia, da UFPA campus Belém, uma na turma de Ciências Naturais de Ponta de Pedras da UFPA, e uma na turma de Ciências Naturais de Mãe do Rio da UFPA, as duas últimas pelo PARFOR. No início de cada seção, a pesquisadora apresentou aos alunos a ferramenta, os objetivos da pesquisa, e como se desenvolveria o processo de validação do instrumento.

O primeiro aspecto observado pela pesquisadora que ressalta a importância da implementação de estratégias e recursos didáticos para os conteúdos bioquímicos, foi a reação dos alunos, ao serem informados sobre o conteúdo trabalhado pela ferramenta didática. Nos cursos de Ciências Naturais, a maior parte dos estudantes relatou não recordar a temática, comentando que os processos eram muito complexos, e difíceis de lembrar. Na turma de Biotecnologia, onde o simulador foi aplicado durante a disciplina de Bioquímica, e os conceitos glicolíticos haviam sido trabalhados mais recentemente, os estudantes mostraram-se empolgados em poder observar de forma mais concreta e próxima o desenvolvimento das vias metabólicas da glicólise.

O local de aplicação foi organizado no formato de um semicírculo, possibilitando que o centro da sala ficasse livre. Assim, os discentes puderam se movimentar no ambiente real e virtual, e dessa forma, aumentar a sensação de imersão no meio em RV. Ademais, a organização da sala também permitiu que durante a realização da simulação por um estudante, os demais pudessem acompanhar o processo através do monitor do computador. As figuras 52 e 53 retratam os alunos durante a simulação da via glicolítica e o processo sendo apresentado aos demais discentes na tela do computador.

Figura 52 – Alunos durante a simulação da Via Glicolítica



Fonte: autora, 2019.

Figura 53: Visualização da via glicolítica na tela do computador



Fonte: autora, 2019.

O simulador objetiva auxiliar professores e alunos no processo de ensino-aprendizagem, facilitando a abordagem dos temas glicolíticos. Como apresentado na figura 53 o recurso permite que o estudante explore o meio e durante a simulação se aproxime dos compostos, observando suas reações e interagindo com eles, com o intuito de compreender melhor os conceitos e processos. Também é possível ao docente questionar os estudantes sobre as vias desenvolvidas e esclarecer, quando necessário, as reações desenvolvidas.

Para validar a ferramenta quanto as suas funcionalidades, experiência proporcionada e utilização como recurso didático, esta foi testada com cada discente separadamente. Um ponto comum relatado pela maior parte dos grupos, foi a curiosidade despertada nos estudantes por ingressar em um meio virtual e poder interagir com estruturas moleculares, que comumente são analisadas somente através de imagens e animações.

Percebeu-se que os estudantes se divertiram explorando o meio celular e manuseando os compostos glicolíticos. Nas figuras 54 (a), 54 (b), 55 (a) e 55 (b) é possível intuir que as simulações foram agradáveis para os discentes e que estes realmente alcançaram a sensação de imersão ao movimentarem-se livremente pela sala, para locomover-se também no ambiente virtual.

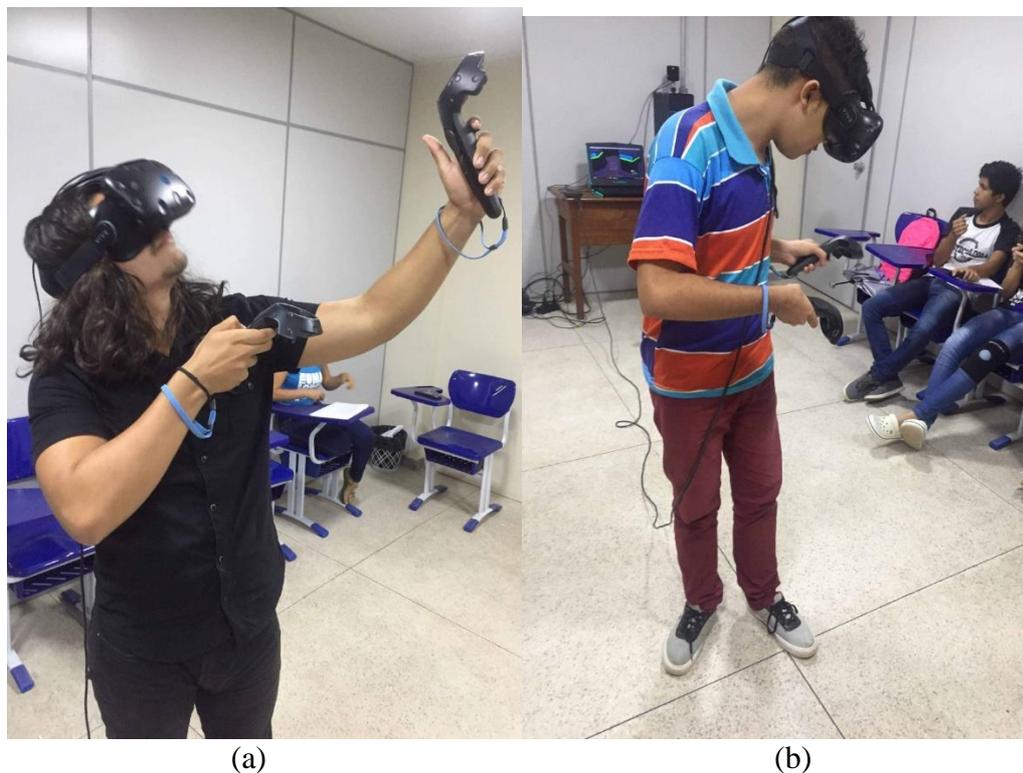
Figura 54: Alunos explorando o ambiente celular



(a)

(b)

Fonte: autora, 2019.

Figura 55: Alunos imersos no ambiente em RV

Fonte: autora, 2019.

Um aspecto observado pela pesquisadora durante a utilização do simulador pelos discente foi o período de adaptação destes com a ferramenta. Em um primeiro momento estes demoravam a situarem-se no espaço e acostumar aos comandos de movimentação e interação no ambiente em RV. Porém, ao longo das fases que constituem a via glicolítica, a medida que adquiriram maior familiaridade com o instrumento, e se apropriaram de suas funcionalidades, interagiram mais facilmente no meio.

No entanto, apesar da curiosidade despertada pela ferramenta nos alunos, e adaptação gradual aos comandos do simulador, durante a utilização do instrumento, outro ponto observado pela pesquisadora foi que apesar de existirem placas explicando a funcionalidade de cada botão, como por exemplo, movimentação, trocar de fases e selecionar estruturas, os discentes, em diversos momentos, esperavam que lhes fossem dito como realizar cada tarefa. Tal atitude configurou-se como um desafio para a pesquisadora ao tentar motivar os discentes a interagir livremente, investigando o meio e suas formas de interação e pode indicar o fato de os estudantes terem a necessidade de seguir comandos pré-estabelecidos em seu processo de formação.

Por fim, a experiência configurou-se satisfatória, a medida que foi observado o envolvimento dos alunos durante o uso do simulador, e que, assim como apresentado ao longo do trabalho, as características da RV configuraram-se atrativas e interessante para os discentes, impulsionando-os a utilizar o recurso didático. No questionário posterior, discutido na seção seguinte, os alunos apresentam suas avaliações quanto as funcionalidades e utilização da ferramenta como recurso de ensino para a via glicolítica.

4.3 QUESTIONÁRIO POSTERIOR

Após a experiência com o simulador em RV da via glicolítica, os alunos responderam a um questionário posterior, Apêndice II, com objetivo de avaliar a ferramenta quanto as suas funcionalidades, usabilidade, motivação, aplicação como recurso de ensino, dentre outros aspectos.

Três alunos não finalizaram a atividade, por tanto, o grupo que respondeu ao questionário posterior foi de 42 estudantes. Para obter a percepção destes sobre a ferramenta, os graduandos responderam alguns questionamentos quanto as funcionalidades da ferramenta, utilizando para isso a escala de Likert (CUNHA 2007), (FRANKENTHAL s.d.), por meio da qual as respostas são avaliadas de acordo com o grau de concordância do participante, às perguntas apresentadas. A escala fornecida aos discentes possui variação de 1 a 5, com os conceitos “Muito pouco”; “Pouco”; “Regular”; “Muito” e “Completamente”.

Sendo um recurso novo, com comandos e tarefas diferentes das habituais, além de imergir o aluno em um novo cenário, considerou-se importante avaliar a dificuldade dos alunos para manusear a ferramenta. Como resposta para o questionamento “Quanto você sentiu de dificuldade ao utilizar o recurso?” obteve-se que a maior parte dos alunos não teve dificuldades em utilizar o simulador, Quadro 17. O resultado pode ser um indicador quanto a facilidades dos alunos em manusear as funcionalidades apresentadas na ferramenta.

Quadro 17 - Dificuldade em utilizar o simulador

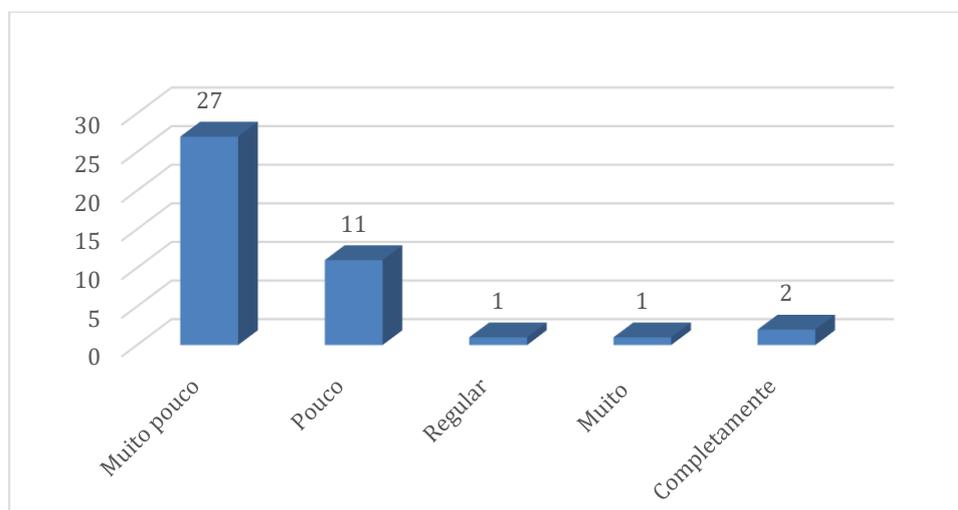
Pergunta	Respostas	Alunos
Quanto você sentiu de dificuldade ao utilizar o recurso?	Muito pouco	13
	Pouco	21
	Regular	5
	Muito	2

	Completamente	1
--	---------------	---

Fonte: autora, 2019.

Nos questionários prévios alguns alunos assinalaram ter receio de manusear novas tecnologias por medo ou vergonha de não saberem como utilizá-las. Portanto é interessante investigar o conforto e bem-estar dos estudantes ao manusearem o recurso apresentado. Para isso foram elaboradas indagações que questionassem os estudantes quanto as sensações ao explorar o simulador. No questionamento “Quanto você se sentiu pressionado durante a experiência em RV?”, Gráfico 12, buscou-se identificar quanto os alunos se sentiram confortáveis, livres para explorar a ferramenta, sem receio de “errar”, ou não conseguir.

Gráfico 12 – Experiência de uso em relação ao simulador em RV



Fonte: autora, 2019.

No gráfico percebe-se que alguns usuários ainda sentem-se muito, ou completamente pressionados durante o manuseio da ferramenta, sendo necessário pensar em maneiras diferenciadas de interagir com os participantes, que permitam a estes mais conforto em utilizar o recurso.

A RV é uma tecnologia que ganhou força a partir de 2016, com o desenvolvimento dos óculos de RV, menores, acessíveis e fáceis de manusear, como *HTC VIVE Óculus*, e *Óculus Rift*. Alguns dos *softwares* utilizados nesses instrumentos podem resultar ao usuário em enjoos e desequilíbrio durante ou após a experiência em RV, por isso, é importante investigar como a experiência com esta ferramenta se configurou para os discentes. Como resposta à pergunta “Quanto a experiência em RV foi agradável?”, quase a totalidade dos alunos considerou a

ferramenta “muito” ou “completamente” agradável de ser utilizada. Dados que se mostram favoráveis a boa receptividade do produto pelos alunos, Quadro 18.

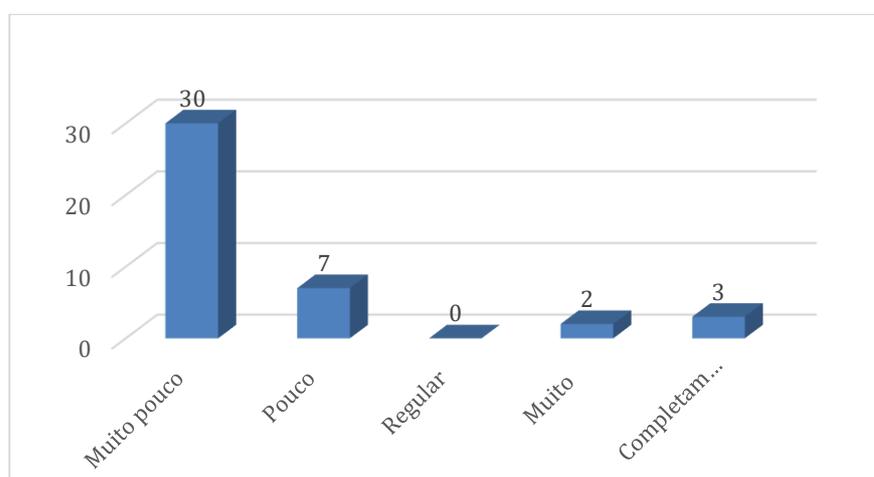
Quadro 18 – Bem-estar do usuário ao utilizar o simulador

Pergunta	Respostas	Alunos
Quanto a experiência em RV foi agradável?	Muito pouco	0
	Pouco	0
	Regular	0
	Muito	12
	Completamente	29

Fonte: autora, 2019.

Considerando que a motivação dos alunos durante o desenvolvimento das atividades, e envolvimento com as tarefas é fator que influencia diretamente no processo de ensino-aprendizagem, é importante que o simulador desperte o interesse dos estudantes, envolva-os no processo de construção dos conceitos. Assim, investigou-se com os discentes aspectos relacionados a sua satisfação ao manusear a ferramenta. Na pergunta “Quanto você se sentiu entediado durante a utilização do recurso?”, a maioria dos alunos assinalou a alternativa “pouco”, como indicado no Gráfico 13. O elevado envolvimento dos alunos com a ferramenta pode ser um indício do potencial positivo do recurso, como estratégia de ensino, a medida que são atrativos para os estudantes.

Gráfico 13 - Envolvimento dos alunos ao utilizar o simulador



Fonte: autora, 2019.

Na pergunta “Quanto você se sentiu estimulado a desenvolver a atividade?” e “Quanto você gostou de participar de uma experiência em RV?”, as respostas mais assinaladas pelos alunos foram “muito” e “completamente”, indicadas no Quadro 19. As respostas assinaladas pelos graduandos possibilitam constatar que o produto foi bem aceito pelo público investigado quanto ao conteúdo, funcionalidades, formas de interação, entre outros aspectos.

Quadro 19 - Estímulo e satisfação do aluno ao utilizar o simulador

Perguntas	Respostas	Alunos
Quanto você se sentiu estimulado a desenvolver a atividade?	Muito pouco	0
	Pouco	0
	Regular	1
	Muito	11
	Completamente	30
Quanto você gostou de participar de uma experiência em RV?	Muito pouco	1
	Pouco	0
	Regular	0
	Muito	6
	Completamente	35

Fonte: autora, 2019.

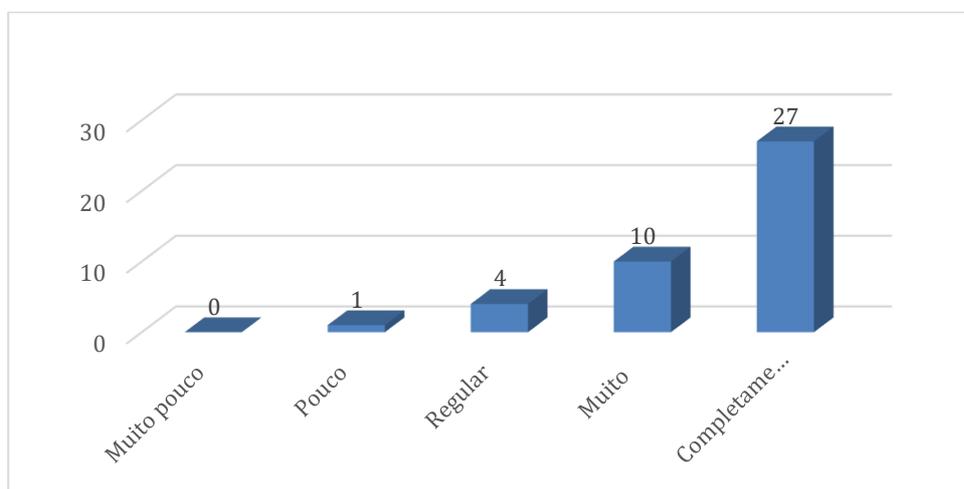
Com base nas respostas fornecidas pelos graduandos às indagações anteriores, o simulador em ambiente de RV foi avaliado positivamente, despertando interesse e motivação, e configurou-se como uma tarefa agradável de ser realizada. A RV quando associada a educação possibilita descobrir, explorar, e construir conhecimento sobre locais pouco ou inacessíveis. Assim, buscou-se com a produção da ferramenta, permitir ao aluno, maior contato com o conteúdo, facilitando o acesso a este, e instigando-o a explorar as temáticas através da RV, e tendo a partir das respostas obtidas sobre a visão dos alunos quanto a ferramenta, está se mostrou um instrumento de apoio positivo para o processo de ensino aprendizagem, instigando os estudantes a se envolverem na construção dos conceitos.

Em ferramentas que utilizam a RV os controles possuem grande importância para possibilitar a sensação de imersão do usuário no meio, visto que são os responsáveis por estabelecer a comunicação entre o usuário e o ambiente em RV. Assim, é fundamental que o usuário tenha domínio das funções atividades que pode realizar, e como interagir na célula, os

controles devem ser programados de forma a facilitar a experiência e interação do participante com o ambiente virtual (MARTINS, et al. 2017). Por tanto, é necessário que as funções e informações pertinentes ao manuseio da ferramenta sejam repassadas de forma simples e clara, que possibilite aos estudantes liberdade e a sensação de imersão ao explorar o ambiente virtual.

Dessa forma, buscou-se inquirir com os graduandos a percepção dos estudantes quanto ao manuseio da ferramenta. Na pergunta “Quanto as instruções fornecidas, estas foram suficientes para utilização e manuseio do recurso?” obteve-se como respostas, em sua maioria, as alternativas “completamente” e “muito”, indicadas no Gráfico 14. A partir das respostas e observação da pesquisadora constatou-se que os alunos tiveram pouca ou nenhuma dificuldade em manusear a ferramenta, após familiarizarem-se com seus comandos.

Gráfico 14 - Instruções de uso do simulador



Fonte: autora, 2019

De maneira igual, no questionamento “Quanto você se sentiu satisfeito com seu desempenho durante a atividade?”, muitos estudantes consideraram seu desempenho satisfatório, assinalando as opções “muito” e “completamente”. No Quadro 20 é apresentado a percepção dos estudantes sobre seu desempenho durante o uso da ferramenta.

Quadro 20 - Desempenho do aluno ao utilizar o simulador

Pergunta	Respostas	Alunos
Quanto você se sentiu satisfeito com seu desempenho durante a atividade?	Muito pouco	1
	Pouco	2
	Regular	3
	Muito	15

	Completamente	21
--	---------------	----

Fonte: autora, 2019.

Por meio dos dados, é possível inferir que os estudantes conseguiram manusear o recurso e suas funcionalidades, a partir das orientações fornecidas. Uma das possíveis causas para baixa satisfação apresentada por alguns alunos, com relação as duas últimas perguntas podem estar relacionadas a falta de familiaridade com a ferramenta, visto que muitos estudantes expressaram desejo de um tempo maior para se habituar com o instrumento.

Após apresentar aos estudantes indagações sobre as funcionalidades, e desempenho da ferramenta, foi investigado, através do questionário a satisfação destes quanto ao emprego de um recurso em ambiente de RV, para trabalhar os processos celulares, assim como sua mediação no processo de compreensão dos conceitos celulares.

As perguntas “Quanto você achou interessante a realização dessa atividade na disciplina bioquímica?” e “Após a aplicação do recurso, quanto você compreendeu melhor o tema?”, objetivavam investigar o efeito da ferramenta como um recurso didático para abordagem dos temas bioquímicos, e como respostas, os alunos demonstraram-se satisfeitos com os resultados obtidos através do uso da ferramenta, assinalando em sua maioria as opções “muito” e “completamente” como respostas aos questionamentos, Quadro 21.

Quadro 21 - RV como recurso didático para a bioquímica

Perguntas	Respostas	Alunos
Quanto você achou interessante a realização dessa atividade na disciplina bioquímica?	Muito pouco	0
	Pouco	0
	Regular	0
	Muito	8
	Completamente	33
	Branco	1
Após a aplicação do recurso, quanto você compreendeu melhor o tema?	Muito pouco	0
	Pouco	1
	Regular	9
	Muito	17
	Completamente	15

Fonte: autora, 2019.

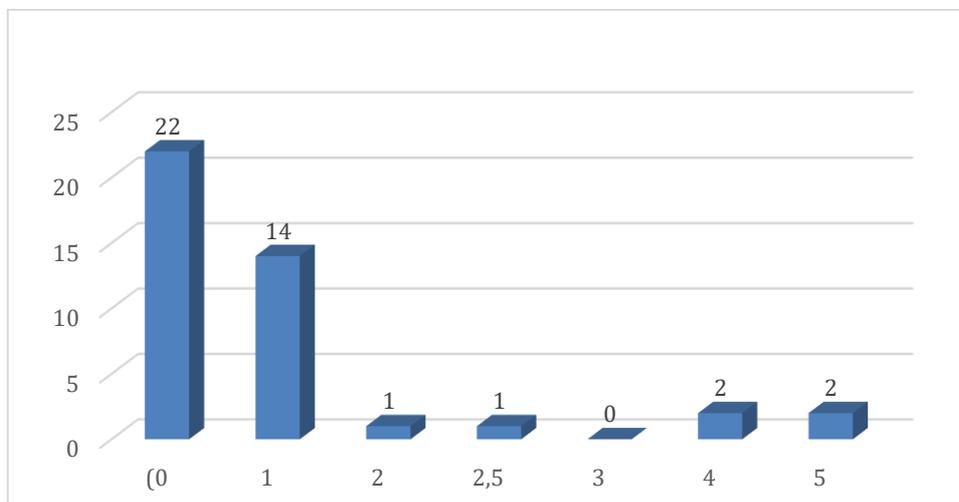
As respostas dos alunos nos apresentam a satisfação destes quanto a utilização do simulador em ambiente de RV como uma ferramenta de ensino. Para a maior parte dos alunos, a ferramenta foi bem recebida quando aplicada nas disciplinas de Bioquímica e Biologia I. Os estudantes também expressaram que o recurso auxiliou de maneira “muito” ou “completamente” satisfatória na compreensão do processo celular trabalhado, a via glicolítica.

Dividido em duas seções, a pergunta que finalizou a primeira parte dos questionários inquiriu a respeito da disposição dos alunos em realizar mais atividades relacionadas a RV, com objetivo de indagar se a atividade despertou interesse, dos alunos. No questionamento “Você gostaria que essa atividade fosse realizada outras vezes?”, 41 alunos responderam que sim, e 1 aluno não assinalou nenhuma opção. O que confirma os dados anteriores, nos quais, segundo os grupos investigados, a ferramenta despertou o interesse dos discentes, estimulou sua participação, e facilitou a compreensão do conteúdo.

A segunda parte do questionário foram colocadas aos alunos perguntas abertas quanto ao funcionamento da ferramenta, para que estes pudessem expressar de forma livre seu ponto de vista, principais dificuldades e sugestões, possibilitando o aperfeiçoamento da ferramenta. Ademais, as perguntas finais, referentes a conhecimentos específicos da via glicolítica, presentes no questionário prévio, são apresentadas novamente aos estudantes. Assim, busca-se avaliar o efeito da ferramenta no processo de compreensão do assunto.

As questões referentes ao processo glicolítico foram corrigidas em uma escala de 0 a 5. Para a pergunta “Quais as funções desempenhadas pelas enzimas durante a via glicolítica?”, as notas obtidas pelos graduandos são apresentadas no Gráfico 15.

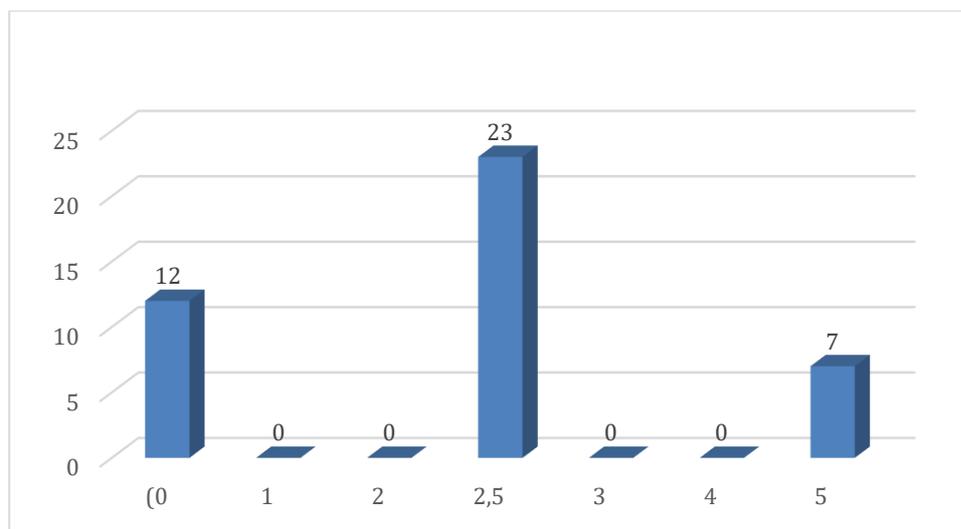
Gráfico 15 - Análise posterior referente a atuação das enzimas na via glicolítica



Fonte: autora, 2019.

No Gráfico 16 são apresentadas as pontuações obtidas pelos graduandos para a pergunta “Ao final do processo glicolítico qual o rendimento energético do processo?”.

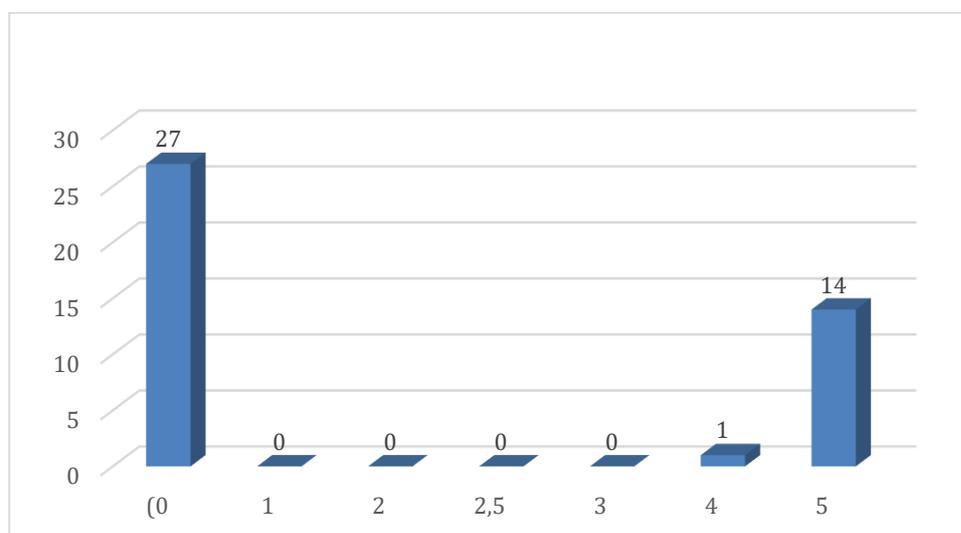
Gráfico 16 - Análise posterior do rendimento energético do processo glicolítico



Fonte: autora, 2019.

Na última pergunta teste sobre a via glicolítica, “Ao final do processo glicolítico qual o rendimento energético do processo?” as pontuações obtidas pelos graduandos são apresentadas no Gráfico 17.

Gráfico 17 - Análise posterior referente a função do NAD+ na via glicolítica



Fonte: autora, 2019.

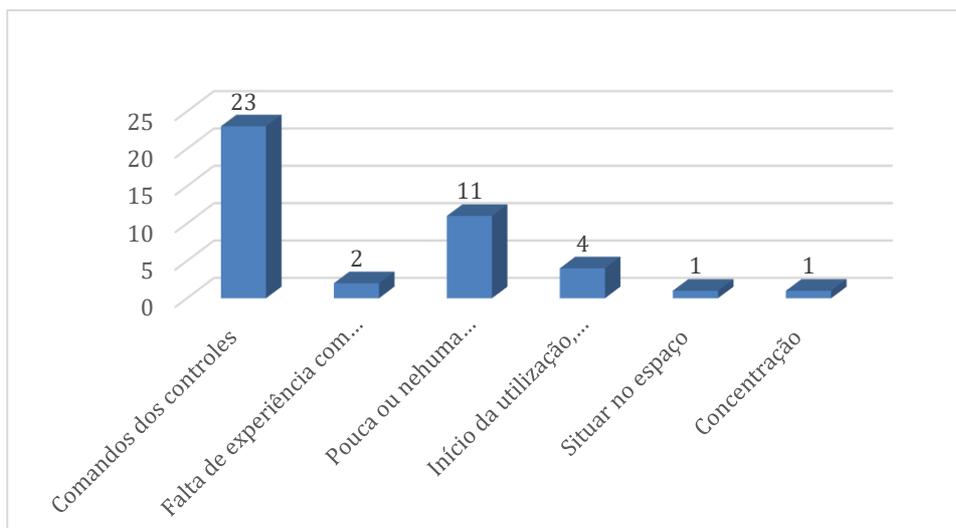
As respostas apresentadas nos Gráficos 15, 16 e 17 permite verificar, mesmo após a aplicação do simulador, a dificuldade de muitos alunos em responder as questões relacionadas a via glicolítica. Porém, o número de discentes que conseguiu compreender o conteúdo, e teve um desempenho satisfatório, teve um importante crescimento, levando-se em consideração que no questionário prévio, as turmas, em quase sua totalidade não conseguiram resolver as questões, deixando-as em branco, ou declarando de forma direta, não lembrar do conteúdo.

Outro aspecto a ser considerado é o período de validação da ferramenta. Com os alunos de Ciências Naturais a via glicolítica foi trabalhada em um período bem anterior a utilização da ferramenta e foi possível observar que estes apresentaram mais dificuldades em recordar as vias metabólicas. Sendo a ferramenta para ser utilizada como um recurso didático auxiliar para professores e alunos, não dispensando a abordagem teórica do conteúdo, o fato de os estudantes terem tido contato com a temática a mais tempo, pode influenciar no desempenho destes ao manusear o simulador, e compreender os processos.

Os alunos de Biotecnologia, que tiveram contato mais próximo com o conteúdo no período de validação do simulador, puderam visualizar com maior clareza as vias metabólicas desenvolvidas, e utilizar o simulador, como mecanismo auxiliar para compreender melhor a via glicolítica.

Da mesma forma que nos questionários prévios, nos posteriores foram elaboradas perguntas subjetivas, possibilitando aos estudantes liberdade para expressarem sua opinião quanto ao uso da ferramenta. As respostas também foram agrupadas em categorias, de acordo com suas semelhanças as quais serão apresentadas adiante (BARDIN 1997).

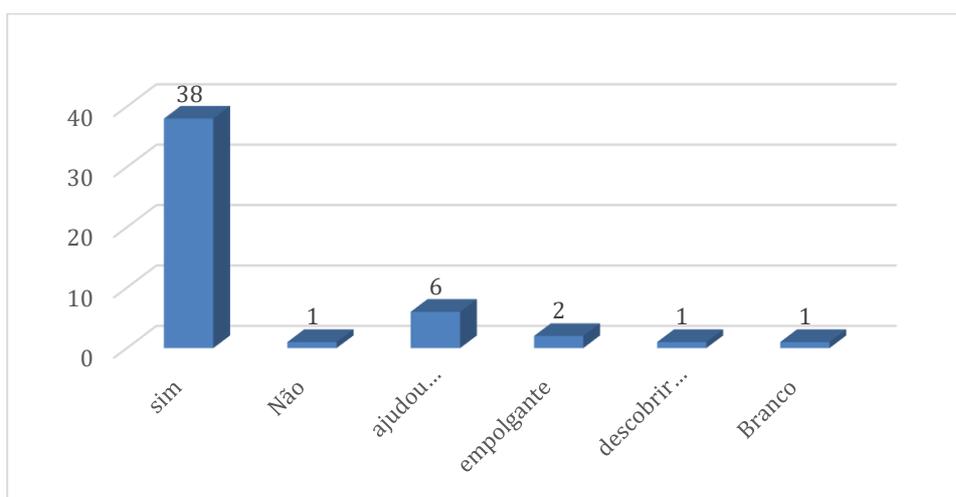
Na pergunta “Qual sua maior dificuldade ao utilizar a ferramenta?” obteve-se como respostas “Comandos dos controles”, “Falta de experiência com a ferramenta”, “Pouca ou nenhuma dificuldade”, “Início da utilização, adaptação a ferramenta”, “Situar-se no espaço” e “Concentração”. As respostas são apresentadas no Gráfico 18.

Gráfico 18 - Dificuldades ao utilizar o simulador em ambiente de RV

Fonte: autora, 2019.

A maior parte dos alunos alegou dificuldade em manusear os controles da ferramenta. Através de conversas e da observação do pesquisador dos grupos onde a atividade foi aplicada, esse fato poderia ser solucionado se os alunos tivessem mais tempo para se familiarizar. O período de adaptação a tecnologia é importante para medir a sua aceitação.

O questionamento seguinte foi “Após a experiência em RV, você se sentiu motivado a se aprofundar na temática metabolismo energético?”, as respostas apresentadas pela maior parte dos alunos foi “Sim”, seguida de “Ajudou a entender melhor”, Gráfico 19.

Gráfico 19 - Motivação despertada pelo uso do simulador

Fonte: autora, 2019.

Algumas justificativas apontadas pelos estudantes na pergunta anterior foram:

Aluno A: Sim, pois a experimentação reforça o aprendizado que as vezes não fica claro só nas aulas.

Aluno B: Eu diria que após a experimentação eu tenho mais conhecimento sobre como ocorre o processo. Quando for estudar saberei de fato o que acontece.

Aluno C: Sim, é empolgante.

As respostas ratificam como as características do simulador em RV podem contribuir no processo de ensino-aprendizagem, visto que o recurso permite reforçar os conteúdos apresentados teoricamente, desenvolvendo a via como um experimento e desperta o interesse dos estudantes em manusear uma ferramenta nova durante o processo de compreensão dos conteúdos.

Apesar de muitos estudantes alegarem dificuldades com os comandos dos controles, estes apresentaram interesse pelo projeto, e se aprofundar na temática, visto que segundo os alunos, possibilitou que estes compreendessem melhor o conteúdo. Assim, pode-se entender que a ferramenta foi satisfatória ao despertar o interesse e instigar os alunos a participar ativamente da construção dos conceitos trabalhados.

Após a validação do produto e comparar os dados obtidos, foi possível observar que os estudantes dos cursos de Biotecnologia, em Belém e Ciências Naturais, em Mae do Rio, apresentaram maior facilidade em manusear o produto e dominar os comandos da ferramenta. Um fato que pode ser influenciado pela facilidade de acesso a recursos tecnológicos que estes grupos possuem, quando comparados a turma de Ponta de Pedras.

Em ponta de Pedras, apesar de a maior parte da turma alegar ter contato com TICs, notou-se que recursos como Internet sofriam limitações. Havia apenas uma operadora telefônica disponível na região, a qual não apresentava bom alcance em toda a localidade, deixando alguns pontos da cidade sem sinal ou com uma rede disponível muito baixa. Já os estudantes das demais turmas utilizavam o celular a todo momento. Durante a aplicação do produto compartilharam fotos, pesquisaram sobre RV, demonstrando a maior familiaridade destes com os mecanismos. Assim, o melhor desempenho dos alunos de Ciências Naturais, em

Mãe do Rio e Biotecnologia, em Belém, pode ser influenciado pelo contato mais próximo destes discentes com TICs em seu cotidiano.

Com base nestes dados, é importante ressaltar a importância da implementação de estratégias didáticas que levem diferentes mecanismos e recursos tecnológicos para os estudantes com intuito de aproximar e demonstrar a importância da utilização de novas tecnologias como aliadas do processo de ensino.

4.4 ENTREVISTAS

O produto desenvolvido apresenta conceitos e processos complexos, abstratos, que devem ser apresentados de forma clara, buscando atender aos objetivos da ferramenta, como recurso didático.

Tendo o aluno como centro do processo e agente participativo na construção dos conceitos, é fundamental que o recurso seja desenvolvido de forma a impulsionar o envolvimento do graduando na construção de seu conhecimento, além de proporcionar bem estar e satisfação ao utilizá-lo. Para isso alguns aspectos da ferramenta devem ser observados e avaliados, como por exemplo, a escolha das cores presentes no ambiente, elaboração dos textos instrucionais, fontes selecionadas, estruturas presentes no ambiente, entre outras características. Ademais, o conteúdo do simulador em ambiente de RV é outro tópico que deve ser observado buscando assegurar confiabilidade ao produto desenvolvido.

Dessa forma, o recurso além de aplicado e validado com alunos dos cursos de Biotecnologia e Ciências Naturais, também foi validado por dois estudantes da Pós-Graduação em Biotecnologia, e uma bióloga, doutora em Biologia Ambiental.

A primeira pergunta da entrevista foi “Você já teve contato com algum recurso em Realidade Virtual? Onde?” na qual apenas dois participantes alegaram já ter tido contato com a RV, sendo que para ambos a experiência foi através de jogos em RV. O que nos ratifica a presença e maior divulgação dessa tecnologia para áreas relacionadas ao entretenimento.

Aos participantes que responderam já ter tido contato com experiências em RV, foi lhes apresentada a pergunta “Com base na experiência em RV vivenciada, você acredita que essa tecnologia é um bom recurso para ser aplicada a educação? Por quê?”.

Como respostas os dois participantes consideram que a RV como um recurso positivo para ser aplicado a educação, apresentando como justificativas as respostas a seguir:

Participante A: Ele vai facilitar o entendimento das pessoas, né, ela vai tá imersa. Vai poder tá entendendo melhor o que se passa, como se passa.

Participante B: Só com o vídeo que a gente “tá” vendo, já auxilia bastante a trabalhar o conteúdo, acho que a Realidade Virtual, acho que daria “pra” auxiliar com um passo a mais para o ensino.

Na pergunta seguinte “Você considera o simulador um bom recurso para ser utilizado no ensino da via glicolítica? Por quê?”, todos os participantes responderam que sim, e como justificativas apresentaram as seguintes respostas:

Participante A: Ele (o produto) é bem detalhado.

Participante B: Dá “pra” ver bem o que tá acontecendo, o que “tá” indo, “pra” onde “tá” indo. Na fosforilação, por exemplo.

Participante C: Porque, assim, o aluno “tá” interagindo com as moléculas, ele “tá” participando, ele “tá” vendo o que “tá” acontecendo. Então não “tá” naquele “esqueminha” só colocando ligações químicas. Na RV tu estás participando do processo.

Através das falas apresentadas, na visão dos usuários a ferramenta configura-se como um recurso positivo para o ensino da via glicolítica, na medida em que as características da RV, imersão, interação, proximidade com o meio virtual, proporcionam ao aluno maior riqueza de detalhes do processo, assim como fogem do padrão de ensino comumente empregados.

Na pergunta “A ferramenta foi eficaz no repasse do conteúdo? Por quê?” as respostas obtidas foram:

Participante A: Sim, mas eu acho que seria interessante ter um professor, né, “pra” auxiliar no entendimento (dos processos).

Participante B: Sim, é bom ter alguém “pra” auxiliar, por exemplo, a questão da isomerização da di-hidroxiacetona, né, dá ‘pra” saber o

que tá acontecendo, mas tem que entender o porque “tá” acontecendo aquilo. Eu acho que ter alguém auxiliando seria mais interessante.

Participante C: A meu ver, sim.

Com base no apresentado, a ferramenta atende aos objetivos de atuar como um recurso didático, visando repassar o conteúdo de forma diferenciada e facilitar o processo de ensino, no entanto, na visão dos participantes, é necessário um acompanhamento do professor durante a realização da atividade tecendo comentários, questionando e direcionando os estudantes durante o manuseio do produto.

Ainda avaliando os conceitos apresentados na ferramenta, a pergunta seguinte foi “Os conceitos trabalhados na ferramenta estavam corretos?”, a qual todos os usuários responderam afirmativamente, indicando que as reações e compostos estavam representados de forma correta.

Busca-se com o produto desenvolvido, além de apresentar uma forma diferenciada para abordar conteúdos moleculares, buscando facilitar o entendimento dos estudantes, almeja-se também impulsionar o desenvolvimento de pesquisas que explorem o potencial oferecido pela RV para o ensino. Assim, questionou-se “A ferramenta tem potencial para ser utilizada na abordagem de outros conteúdos?”, e as respostas apresentadas obtidas foram:

Participante A: “eu acredito que sim, principalmente na química. de hibridização, seria muito bacana, das nuvens eletrônicas, acho que seria ótimo. Na micro (microbiologia) também”.

Participante B: “Acho que sim, uma outra aplicação seria a imunologia, que tem o contato célula com célula. Questão de fagocitose, essas coisas, que é uma coisa visual. Eu acho que seria legal”.

Participante C: É perfeito, como eu te falei, acho que “pras” disciplinas onde tem os conteúdos mais complexos. É... por exemplo, dentro da bioquímica, que tu trabalhou, quanto a fisiologia vegetal, seria ótimo.

As respostas nos permitem perceber que cada participante, durante a utilização do recurso conseguiu associar e imaginar possíveis áreas e conteúdos onde a RV poderia atuar e tem muito a oferecer para melhorar a exploração dos conceitos. As sugestões apresentadas são todas de disciplinas que envolvem muitas estruturas e processos complexos, difíceis de serem visualizados no cenário real, sendo a RV uma alternativa.

O desenvolvimento de um simulador em ambiente de RV para a via glicolítica não visa apenas ser um recurso diferente, atrativo, mas sim atuar positivamente facilitando aos estudantes compreenderem o conteúdo. Dessa forma, perguntou-se “A ferramenta facilitou na compreensão do conteúdo? Como?”. Para a indagação as respostas obtidas foram:

Participante A: Sim, porque as vezes você vê a foto e você não sabe o que aconteceu, aí você fica um tempão pensando o que aconteceu naquele momento. E aqui (na ferramenta em RV) não, você tá vendo etapa por etapa.

Participante B: Sim, acho que ela instiga mais, tu tá dentro do ambiente. No vídeo tu só fica parado olhando, e não dá pra interagir muita coisa, não.

Participante C: Achei muito bom.

Nas respostas observa-se que o efeito visual e interativo da ferramenta, foram diferenciais para facilitar a abordagem e compreensão do processo. Os estudantes tem a possibilidade de fugir do cenário de telespectador, e ter de assumirem papéis ativos e centrais no processo de aprendizagem.

A pergunta seguinte apresentada foi “Quanto ao *design* do simulador, você considerou apropriada a escolha das: Cores? Formas? Textos? Fonte e tamanho dos textos?”. Como respostas os participantes afirmaram que a experiência foi agradável, textos legíveis e com informações corretas. Apenas um usuário apresentou incômodo quanto as cores do ambiente o que pode apresentar-se como um caso particular, visto que nenhum dos demais usuários do produto apresentou reclamações quanto as meio celular desenvolvido. As respostas dos participantes são apresentadas a seguir.

Participante A: pra mim tava tudo tranquilo, as cores, tava tudo bem explicativo, agradável.

Participante B: pelo menos pra mim, quando eu selecionei a célula, algumas organelas estavam fortes, e tava doendo um pouco a visão. Mas eu não sei se é dos óculos (participante usa óculos).

Participante C: Foi muito bonitinho, pra mim foi perfeito. Não incomodou, deu pra ler.

Como último questionamento, considerou-se importante indagar se os participantes fariam uso da ferramenta em aula, palestras ou outras atividades que pudessem necessitar, para assim, verificar se estes sentiram-se à vontade com o recurso e vontade de aplicá-lo as suas práticas. Assim, a pergunta “Utilizaria esse recurso em suas aulas, palestras, trabalhos, para explicar o conteúdo?” obteve-se como respostas:

Participante A: Ah, sim.

Participante B: Com certeza.

Participante C: Usaria, sem dúvida.

Portanto, baseado na entrevista conseguiu-se aferir que os temas apresentados na ferramenta, na visão dos professores e pós-graduandos estão corretos, e que a ferramenta apresenta um grande potencial para ser explorado principalmente em áreas do ensino que envolvam processos biológicos, e possibilitando visualizar e interagir com estruturas, presentes no mundo real, apenas a nível microscópico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a formação da pesquisadora, licenciada em Ciências Naturais – Biologia, em parceria com o Laboratório de Inteligência Artificial Aplicada (LAAI) através do Programa de Pós-Graduação Criatividade e Inovação em Metodologias do Ensino Superior, desenvolveu-se como produto desta dissertação um recurso didático visando inovar e facilitar a relação aluno-professor-conteúdo durante o processo de ensino-aprendizagem.

Assim, o Glicoliseum foi construído com o intuito de apresentar e estimular o desenvolvimento de novos métodos e recursos de ensino, utilizando a tecnologia como aliada a educação. Durante o percurso, fez-se uso de diferentes abordagens teóricas e metodologias para o desenvolvimento da ferramenta, assim como foi necessário explorar novas áreas e programas que possibilitassem a construção do simulador em ambiente em RV.

Entre as maiores dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores durante o percurso de construção da ferramenta, destaca-se o caráter interdisciplinar da ferramenta, o qual obrigou os autores a saírem de suas zonas de conforto e explorarem novos contextos. Desde o aprofundamento nos conceitos biológicos abordados no ambiente virtual, para que estes fossem apresentados com a maior clareza possível, modelagem tridimensionais para construção dos ambientes e suas estruturas moleculares, e trabalhar com um grupo de profissionais com formações diferentes possibilitou o desenvolvimento de habilidades diferenciadas, foram aspectos enfrentados por toda a equipe e reforçaram a importância da realização de pesquisas interdisciplinares para o desenvolvimento de produtos e processos direcionados a educação, permitindo assim, explorar diferentes áreas de um mesmo assunto.

Quanto ao conteúdo abordado com base nos dados analisados anteriormente, é possível concluir que a ferramenta contribuiu para que os estudantes pudessem compreender melhor a via metabólica explorada, visto que ao comparar as respostas finais dos questionários prévios e posterior, referentes a via glicolítica, houve um aumento expressivo no número de alunos que conseguiram responder de maneira total ou parcialmente satisfatória as perguntas. Durante validação do produto observou-se também que os estudantes, quando questionados sobre o que estavam visualizando, muitas vezes conseguiam expressar seus conhecimentos sobre o conteúdo.

Quanto a satisfação dos alunos em utilizar a RV como um recurso didático, conclui-se que esta foi bem aceita pelos estudantes, que indicaram em suas respostas ter pouca ou nenhuma dificuldade em manusear a ferramenta, conseguir compreender melhor os processos e almejar

novas atividades envolvendo experiências em RV, ou outros recursos para trabalhar os conteúdos moleculares. Ademais como apresentado nos questionários prévios, os estudantes tem interesse por recursos didáticos tecnológicos, e consideram que a utilização destas ferramentas pode facilitar o processo ensino-aprendizagem.

A ferramenta foi bem avaliada pelos discentes, que a consideraram um instrumento facilitador para a abordagem da via glicolítica, e mostraram-se entusiasmados com futuras aplicações da RV para o ensino dos processos celulares. Vários estudantes ressaltaram que visualizar as reações mostrou-se bem mais interessante do que a memorização de fases que lhes eram apresentadas pelos livros acadêmicos. Sendo assim, o simulador configurou-se um recurso com potencial positivo para o processo de ensino-aprendizagem, e inovador, a medida que buscou uma nova forma de trabalhar as vias metabólicas, explorando além da visualização, a interação dos estudantes com os conteúdos.

Para concretização do Glicoliseum, foi necessário a atuação de uma equipe que atuou conjuntamente em busca do sucesso desse produto. Dessa forma, com o esforço de toda a equipe desenvolveu-se um simulador com diversas funcionalidades e que busca além de despertar o interesse dos estudantes, facilitar a compreensão destes com relação as reações trabalhadas.

Espera-se que este trabalho sirva de estímulo e apoio para o desenvolvimento de mais produtos e processos que tomem o aluno como ser ativo durante seu processo de ensino-aprendizado, e favoreçam a relação professor-aluno-conteúdo, almejando o maior envolvimento do aluno e conseqüentemente melhorar a qualidade da educação.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

O término de uma pesquisa não deve ser considerando o fim do trabalho desenvolvido. O projeto deve fomentar o desenvolvimento de novas tarefas, despertar inquietações e estimular avanços e a produção científicas nas áreas a que se destina.

Como apresentado durante o trabalho, a RV tem potencial para desenvolver aplicabilidades em diferentes áreas da biologia, possibilitando assim a criação de mecanismos que facilitem a abordagens de diversos conteúdos biológicos, em muitos casos difíceis de serem visualizados e compreendidos. Assim, além de dar seguimento ao processo da respiração celular, como continuação deste projeto, almeja-se explorar as vias metabólicas seguintes a via glicolítica. A Fermentação láctica, um dos destinos do piruvato, já começou a ser desenvolvida.

Além da ampliação do produto para explorar os demais caminhos da via metabólica almeja-se adequar o Glicoliseum para ser utilizado em *smartphones* e explorado através de modelos de óculos de RV que se adequem a essa mídia, visto que como apresentado no questionário prévio, os estudantes em sua maioria possuem telefones celulares, smartphones, e um número expressivo de alunos utiliza esse recurso para estudo. Desta forma, o acesso por parte dos graduandos ao produto desenvolvido seria facilitado.

Observando o quanto a ferramenta despertou o interesse, motivou os alunos e apresentou uma nova maneira de explorar os conceitos celulares, buscando facilitar o entendimento dos processos, é possível visualizar outras aplicações deste recurso para o ensino de Biologia.

Como destacado pelos participantes que validaram a ferramenta quanto ao conteúdo e funcionalidades, a RV apresenta diferentes possíveis aplicabilidades, uma destas pode ser na química, para trabalhar o processo de hibridização e comportamento das nuvens eletrônicas. Outra possível aplicação da ferramenta é na microbiologia, que se dedica ao estudo dos microrganismos patogênicos, na qual a RV pode atuar demonstrando como estes agentes agem e interferem nas funções e processos do corpo humano.

Também foi indicado pelos participantes explorar a RV como recurso para o ensino de fisiologia vegetal. Assim como a via metabólica apresentada neste trabalho, a RV tem potencial para explorar o funcionamento e funções dos organismos vegetais, detalhando processo e permitindo aos estudantes maior contato com os mecanismos desenvolvidos por cada ser vivo.

Como destacado pelos participantes e exposto durante o trabalho, para o ensino de Biologia, a RV apresenta-se como uma ferramenta com elevado potencial para favorecer a abordagem dos temas biológicos. É importante o desenvolvimento de pesquisas e ferramentas que fomentem o desenvolvimento desta área e sua relação com o ensino, visando facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Considerando os temas biológicos base para muitos cursos, como os da área da saúde, por exemplo, a RV virtual tem potencial para tornar-se uma ferramenta de grande ajuda na abordagem de temas em que a visualização dos conteúdos não é possível e os estudantes recorrem a penas a imaginação ou imagens dos processos.

Outras temáticas que podem ser exploradas por essa tecnologia são temas relacionados a virologia, por exemplo, permitindo a visualização da atuação dos vírus nas células, e como estes afetam diferentes organismos, ou para a farmacologia, possibilitando a testagem e combinação de diferentes compostos para criação e/ou aperfeiçoamento de medicamentos,

possibilitando aos pesquisadores visualizarem como diferentes organismos poderiam reagir a determinados compostos.

Assim, é possível perceber que, na Biologia, a RV possui um vasto campo de aplicabilidades, podendo auxiliar na abordagem de inúmeros processos que regulam a vida. É necessário explorar mais este recurso para o ensino e utiliza-lo como uma ferramenta de apoio no processo de formação dos graduandos.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTS, Bruce, et al. "Bioenergética e química celular." Chap. 2 in *Biologia molecular da célula*, by Alberts BRUCE, et al., translated by Ardala Elisa Breda Andrane, et al. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- AMARAL, Carmem Lúcia Costa, Rubens César Lopes FIGUEIRA, and Marcelo Paes de BARROS. "A utilização de ambientes virtuais no ensino de bioquímica. Um estudo de caso na UNICSUL." *Revista de Ensino de Bioquímica*, 2006: 1-7.
- ARAÚJO, Dionata Martins de, and Nayara da Silva VIEIRA. "Uso de Realidade Virtual e Aumentada como ferramenta complementar ao ensino das principais ligações entre átomos." *VII Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*. São Paulo, 2010.
- AYRES, Claudia, Rodrigo CONSOLI, Gustavo N. CRUZ, Camila A. T. CICUTO, and Guilherme A. MARSON. "Desenvolvimento de uma metodologia para caracterização da resolução de problemas envolvendo representações visuais da estrutura tridimensional de moléculas." *XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - XI ENPEC*. Florianópolis, 2017.
- BAINES, A. T., M. MCVEY, B. RYBARCZYK, J. T. THOMPSON, and H. r. WILKINS. "Mystery of the toxic flea dip: An Interactive Approach to Teaching Aerobic Cellular Respiration." *Cell Biology Education*, no. 3 (2004): 62-68.
- BARBOSA, Pérsia Paiva, Marina MACEDO, Caroline Arcanjo BUENO, and Suzana URSI. "As Tecnologias de Informação e Comunicação e o ensino: como professores de Biologia têm utilizado animações?" *X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC*. Águas de Lindóia, 2015.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. 70. Translated by Luís Antero RETO and Augusto PINHEIRO. São Paulo, 1997.
- BARILLI, E. C. V. C, EBECKEN, N. F. F., and G. G. CUNHA. "A tecnologia de realidade virtual como recurso para a formação em saúde pública á distância: uma aplicação para a aprendizagem dosprocedimentos antropométricos." *Ciência e Saúde Coletiva*, 2011: 1247-1256.
- BARRET, Kim E., Susan M. BARMAN, Scott BOITANO, and Heddwen L. BROOKS. "Bases celulares e moleculares da fisiologia médica." In *Fisiologia Médica de Ganong*, by Kim E. BARRET, Susan M. BARMAN, Scott BOITANO and Heddwen L. BROOKS. Porto Alegre: AMGH, 2014.

- BERMUDES, Wanderson Lyrio, Bruna Tomaz SANTANA, José Hamilton Oliveira BRAGA, and Paulo Henrique SOUZA. "Tipos de escalas utilizadas em pesquisas e suas aplicações." *Vértices*, 2016: 7-20.
- Blender Inc. *Site inicial do Blender*. 06 15, 2018. www.blender.org (accessed março 08, 2019).
- BÔAS, Rogério, Antônio NASCIMENTO Jr, and Fátima MOREIRA. "Utilização de recursos audiovisuais como estratégia de ensino de microbiologia do solo nos ensinos fundamental II e médio." *Revista Práxis* 10 (2018): 79-90.
- BORGES, T. S., and G. ALENCAR. "Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias ativas como recurso didático an formação crítica do estudante do ensino superior." *Cairu em revista*, 2014: 119.
- BRAGA, Mariluci. "Realidade Virtual e Educação." *Revista de Biologia e Ciência da Terra*, 2001: 1-8.
- CUNHA, Luisa Margarida Antunes. "Modelos e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes." Dissertação, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007.
- FERREIRA, Luis, Liane TAROUÇO, and Fernando BECKER. "Fazer e compreender na Realidade Virtual: em busca de alternativas para o sujeito da aprendizagem." *Novas tecnologias na educação*, 2003: 1-11.
- FONSECA, Ana Graciela M. F. "Aprendizagem, mobilidade e convergência: Mobile learning com celulares e Smartphones." *Revista do programa de pós-graduação em mídia e cotidiano*, 2013: 163-181.
- FRANKENTHAL, Rafaela. n.d. <https://mindminers.com/pesquisas/entenda-o-que-e-escala-likert> (accessed janeiro 07, 2018).
- GODDARD, Thomas D., et al. "Molecular Visualization on the Holodeck." *Journal of Molecular Biology* 430, no. 21 (outubro 2018): 3982-3996.
- GODDARD, Thomas D., et al. "UCSF ChimeraX: Meeting modern challenges in visualization and analysis." *ProteinScience*, janeiro 2018: 14-25.
- GODOY, A. S. "Pesquisa quantitativa - Tipos fundamentais." *Revista de administração de empresas* 35 (1995): 20-29.
- HARTSHORN, Michael J., Pawel HERZYK, and Roderick E. HUBBARD. "Exploring molecular structure by virtual reality." *Trends in Biotechnology*, 1995: 83-85.
- JOHNSTON, Angus P. R., et al. "Journey to the centre of the cell: Virtual reality immersion into scientific data." *Traffic* 19, no. 2 (2017): 105-110.

- KENSKI, Vani Moreira. *Educação e Tecnologias: O novo ritmo da informação*. Campinas: Papirus, 2007.
- KOHN, Karen, and Claudia Herte de MORAES. "O impacto das novas tecnologias na sociedade: conceitos e características da sociedade da informação e da sociedade digital." *Intercom – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação*. Santos, 2007. 1-13.
- LIBARTI, P. L. O., and V. BARBOSA. "Métodos Ágeis." Monografia, Limeira/SP, 2010.
- MARTINS, Hiram, Lucas BENVENUTI, Ewerton ALONSO, Adriana ALVES, James BOMBASAR, and Thiago BERLIM. "Desenvolvendo aplicações em Realidade Virtual com o HTC VIVE em Unity C #." *Ciência e técnica Vitivinícola*, 2017.
- MARTINS, Valéria Farinazzo, and Marcelo de Paiva GUIMARÃES. "Desafios para o uso de Realidade Virtual e Aumentada de maneira efetiva no ensino." *Workshop de desafios da computação aplicada à educação*. São Paulo, 2012. 100-109.
- MINAYO, M. C. S. "O desafio da pesquisa social." In *Pesquisa Social: teoria, método e criatividade*, by M. C. S. MINAYO, 9-28. Petrópolis: vozes, 2016.
- NELSON, David L., and Michael M. COX. "Bioenergética e Metabolismo." In *Princípios de bioquímica de Lehninger*, by David L. NELSON and Michael M. COX, translated by Ana Beatriz Goroni VEIGA, et al., 505-731. Porto Alegre: Artmed, 2014.
- NICOLA, Jessica Anese, and Catiane Mazocco PANIZ. "A importância da utilização de diferentes recursos didáticos no ensino de." *Revista do núcleo de inovação a distância da Unesp 2* (2016): 355-381.
- OLIVEIRA, Isolina, and Henriqueta Silva COSTA. "O uso das tecnologias no ensino de ciências: resultados preliminares de um estudo no âmbito de cursos de natureza profissionalizante." *II Congresso Internacional TIC e Educação*. Lisboa, 2012. 1765-1782.
- OLIVEIRA, Simone kobe de, and Sandra Estrazulas FARIAS. "Bioenergética e Metabolismo." In *Princípios de Bioquímica de Lehninger*, by David L. NELSON and Michael M. COX, 505-731. Porto Alegre: artmed, 2014.
- OLIVEIRA, Zélia Maria Freire de, and Eunice Maria Lima Soriano ALENCAR. "A criatividade faz a diferença na escola: o professor e o ambinete criativos." *contrapontos 8*, no. 2 (2004): 62-68.
- PEREIRA, Gabriel Henrique de Faria, and Alexandre COELHO. "APLICATIVOS MÓVEIS PARA FINS EDUCACIONAIS: A UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO E-INST PARA

- CONTRIBUIÇÃO NO ENSINO DA INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL." *Revista Tecnologias na Educação* 19 (2017): 1-10.
- PIZZATO, Andréia, and Fátima NUNES. "Realidade Virtual aplicada à educação: reflexões sobre o estado da arte e o futuro." 2019.
- PRINS, Jan F., Jan HERMANS, Geoffrey MANN, Lars S. NYLAND, and Martin SIMONS. "A virtual environment for steered molecular dynamics." *Future Generation Computer Systems* 15 (1999): 485-495.
- RAMOS, Marli, and Neusa Ciriaco COPPOLA. "O uso do computador e da internet como ferramenta pedagógica." 2008. 1-16.
- RAVEN, Peter H., Ray F. EVERT, and Susan E. EICHHORN. "O Fluxo de Energia." In *Biologia Vegetal*, by Peter H. RAVEN, Ray F. EVERT and Susan E. EICHHORN. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- SANTOS, Aline Coelho dos, Fabiana Santos FERNANDES, and Juarez Bento SILVA. "O uso de laboratórios online no ensino de ciências: Uma revisão sistemática de literatura." *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS* 4 (jan/jun 2017): 143-159.
- SANTOS, Tessa Larissa de, and Diene Eire Melo Bortotti de OLIVEIRA. "O uso de recursos didáticos no ensino superior." *II Jornada de didática e I seminário de pesquisa do CEMAD*. Londrina, 2013. 546-549.
- SILVA, Dirceu, Evandro Luiz LOPES, and Sérgio Silva BRAGA Jr. "Pesquisa quantitativa: elementos, paradigmas e definições." *Revista de Gestão e Secretariado* 5 (2014): 1-18.
- SILVEIRA, Tolfo, and Fernanda Peixoto CORDOVA. "A pesquisa científica." In *Métodos de pesquisa*, by Tatiana Engel GERHARDT and Denise Tolfo SILVEIRA, 31-42. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.
- SOTRES, Rogelio Rodríguez, Mireya Rodríguez PENAGOS, Javier González CRUZ, Luis Rosales LEÓN, and Leão Patrício Martínez CASTILLA. "Simulated Site-Directed Mutations in a Virtual Reality Environment as a Powerful Aid for Teaching the Three Dimensional Structure of Proteins." *Educación Química* 20 (2009): 461-465.
- The Body VR*. dezembro 16, 2018. <https://thebodyvr.com/> (accessed abril 08, 2019).
- TORI, Romero. "A presença da tecnologia." In *Educação sem Distância: As tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem*, by Romero TORI, 107-236. São Paulo: Senac São Paulo, 2010.

- TORI, Romero, and Cláudio KIRNER. "Fundamentos de Realidade Virtual." In *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*, by Romero TORI, Cláudio KIRNER and Robson SISCOUTTO, 2-21. Belém, 2006.
- TORI, Romero, Marcelo da Silva HOUNSELL, and Cláudio KIRNER. "Realidade Virtual." In *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*, by Romero TORI and Marcelo HOUNSELL, 12-34. Porto Alegre: SBPC, 2018.
- Unity. Unity Technologies ApS. janeiro 16, 2019. <https://unity.com/pt> (accessed abril 08, 2019).
- VIANA, Micaela Ferreira, and Vidica BIANCHI. "Contribuições das disciplinas Bioquímica I e Bioquímica II para a formação docente em ciências biológicas." *VII Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia*. Criciúma: UNESC, 2015. 57-64.
- Vive. n.d. <https://www.vive.com/us/> (accessed março 28, 2018).
- WILSON, Christopher D., et al. "Assessing Students' Ability to Trace Matter in Dynamic Systems in Cell Biology." *CBE Life Sciences Education*, 2006: 323-331.

APÊNDICES

APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO PRÉVIO



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



Projeto: Simulador em ambiente de Realidade Virtual como recurso didático para o ensino da via glicolítica, primeira fase da Respiração Celular.

Sexo: Masculino Feminino

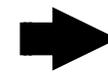
Idade:.....

Curso:.....

Disciplina:

Ensino médio: Público Privado

.		Sobre seu interesse tecnológico, responda:			
1	Você tem acesso a computadores? Onde?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> Trabalho	<input type="checkbox"/> Cybers
		<input type="checkbox"/> Casa	<input type="checkbox"/> Universidade		<input type="checkbox"/>
		Outros _____			



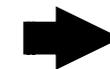
2	Você possui acesso à Internet? Onde?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Casa <input type="checkbox"/> Universidade <input type="checkbox"/> Trabalho <input type="checkbox"/> Cybers <input type="checkbox"/> Outros _____
3	Qual (ais) atividade (s) você mais desenvolve no computador?	<input type="checkbox"/> Trabalho <input type="checkbox"/> Estudo <input type="checkbox"/> Redes sociais <input type="checkbox"/> Jogos <input type="checkbox"/> Notícias <input type="checkbox"/> Outros _____
4	Você possui aparelho celular?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
5	Para qual (ais) atividade (s) você mais utiliza seu celular? (Ligações, mensagens, redes sociais, jogos, etc.).	<input type="checkbox"/> Ligações <input type="checkbox"/> Mensagens <input type="checkbox"/> Redes Sociais <input type="checkbox"/> Jogos <input type="checkbox"/> Notícias <input type="checkbox"/> Estudo <input type="checkbox"/> Outros _____
6	Você possui jogos para celular? Que tipo (s) de jogos? (On-line ou off-line, em grupo, ou individual, etc.).	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> On-line <input type="checkbox"/> Off-line <input type="checkbox"/> Em grupos <input type="checkbox"/> Individuais <input type="checkbox"/> Outros _____
7	Você se interessa por lançamentos de novos recursos tecnológicos? Quais? (Aplicativos educacionais, programas, computadores, celulares, games, óculos de realidade virtual, etc.).	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO _____ _____

8	Você participa ou gostaria de participar de feiras tecnológicas? Por quê?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	_____
9	Ao entrar em contato com uma nova tecnologia, você tem curiosidade quanto as funcionalidades do recurso, vontade de manuseá-lo?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	_____
10	Você tem receio de manusear novas tecnologias? Por quê?	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	_____

A SEGUIR, HÁ ALGUMAS QUESTÕES RELACIONADAS A VIA GLICOLÍTICA E AO USO DE RECURSOS DIDÁTICOS TECNOLÓGICOS ²DURANTE A SUA FORMAÇÃO.

Sobre a utilização de Recursos Didáticos, responda: utilize as linhas para adicionar breve comentário em cada pergunta				
.		<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	<input type="checkbox"/> NÃO SEI RESPONDER
11	O uso de recursos didáticos em sala de aula pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem?			_____

² OLIVEIRA, C.; MOURA, S. P.; SOUZA, E. R. TIC'S na educação: A utilização das tecnologias da informação e comunicação na aprendizagem do aluno. **Pedagogia em ação**. v. 7, n. 1, p. 75-95. Pucminas, Belo Horizonte/MG, 2015. Disponível em <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/pedagogiacao/article/viewFile/11019/8864>>. Acesso em 07 de dezembro de 2018.



12	A utilização de Tecnologias da informação e comunicação – TICs, “meios técnicos usados para tratar a informação e auxiliar na comunicação” (OLIVEIRA, 2015, p. 77) ¹ , como recurso didático pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> NÃO SEI RESPONDER <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
13	Recursos didáticos audiovisuais podem facilitar a compreensão de conceitos e processos biológicos? Como?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> NÃO SEI RESPONDER <hr/> <hr/> <hr/>
14	Você já teve contato com recursos tecnológicos de ensino (Educação básica ou cursos externos)? Quais (aplicativos, vídeos, simuladores...)?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <hr/> <hr/> <hr/>
15	Já ouviu falar sobre recursos didáticos tecnológicos na educação? Onde (Internet, reportagens, amigos)?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <hr/> <hr/> <hr/>



Sobre Realidade Virtual, responda:		
16	Você já ouviu falar em Realidade Virtual (RV)? Onde?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <hr/> <hr/>
17	O que você entende por Realidade Virtual?	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
18	Você já vivenciou uma experiência em RV? Se sim, você diria que essa experiência foi positiva, negativa ou mediana?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <hr/> <hr/>
19	Você já participou de alguma atividade de ensino em que a RV foi aplicada?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <hr/> <hr/> <hr/>

20	Você acredita que a aplicação desse recurso na disciplina Bioquímica pode favorecer o processo de ensino-aprendizagem? Como?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> NÃO SEI RESPONDER <hr/> <hr/>
----	--	---

Com base nas aulas teóricas sobre metabolismo de carboidratos, responda as seguintes questões:		
21	Vocês consideram os conteúdos de Bioquímica abstratos e de difícil entendimento?	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
22	Qual sua maior dificuldade durante a disciplina Bioquímica?	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
23	Quais as funções desempenhadas pelas enzimas durante a via glicolítica?	<hr/> <hr/> <hr/>

24	Ao final do processo glicolítico qual o rendimento energético do processo?	_____ _____ _____ _____
25	Qual a função do NAD^+ na via glicolítica?	_____ _____ _____

APÊNDICE II – QUESTIONÁRIO POSTERIOR



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

Projeto: Simulador em ambiente de Realidade Virtual como recurso didático para o ensino da via glicolítica, primeira fase da Respiração Celular.

Sexo: Masculino Feminino

Idade:.....

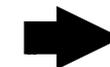
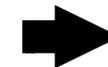
Curso:.....

Disciplina:

Ensino médio: Público Privado

A SEGUIR, HÁ ALGUMAS QUESTÕES RELACIONADAS A UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR EM REALIDADE VIRTUAL DA VIA GLICOLÍTICA E SUA INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM.

Quanto a utilização do simulador, responda as questões abaixo:	
Conforme a escala de 1 (muito pouco) a 5 (completamente) apresentada responda as questões abaixo. <input type="checkbox"/> 1 Muito pouco <input type="checkbox"/> 2 Pouco <input type="checkbox"/> 3 Regular <input type="checkbox"/> 4 Muito <input type="checkbox"/> 5 Completamente	
1	Quanto você sentiu de dificuldade ao utilizar o recurso? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
2	Quanto você se sentiu pressionado durante a experiência em RV? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
3	Quanto a experiência em RV foi agradável? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
4	Quanto você se sentiu 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"/>
5	Quanto as instruções fornecidas, estas 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"/>
6	Quanto você se sentiu estimulado a desenvolver a atividade? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
7	Quanto você gostou de participar de uma experiência em RV? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
8	Quanto você achou interessante a realização dessa atividade na disciplina bioquímica? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
9	Quanto você se sentiu satisfeito com seu desempenho durante a atividade? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>
10	Após a aplicação do recurso, quanto você compreendeu melhor o tema? 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/>



11	Você gostaria que essa atividade fosse realizada outras vezes?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
----	--	---

Com base no conteúdo abordado no simulador, responda as seguintes questões:		
12	Qual sua maior dificuldade ao utilizar a ferramenta?	<hr/> <hr/> <hr/>
13	Quais as funções desempenhadas pelas enzimas durante a via glicolítica?	<hr/> <hr/> <hr/>
14	Ao final do processo glicolítico qual o rendimento energético do processo?	<hr/> <hr/> <hr/>
15	Qual a função do NAD ⁺ na via glicolítica?	<hr/> <hr/> <hr/>
16	Após sua experiência em RV, você se sentiu motivado a se aprofundar na temática metabolismo energético?	<hr/> <hr/> <hr/>

